

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Ливанов Дмитрий Викторович  
Должность: Ректор  
Дата подписания: 04.10.2023 17:59:41  
Уникальный программный ключ:  
с6d909c49c1d2034fa3a0156c4eaa51e7232a3a3

## Annotation

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Basics of Semiconductor Electronics/Основы полупроводниковой электроники**

#### **Purpose of the course:**

The aim is to give students knowledge about the basic physical principles of description of semiconductor materials, the basics of mathematical and numerical modeling of processes occurring in semiconductors and semiconductor structures, review of standard (classical) semiconductor structures and devices based on them.

#### **Tasks of the course:**

- Knowing the necessary fundamentals of semiconductor theory;
- studying methods of describing electron transport in semiconductors;
- gaining knowledge of standard semiconductor devices.

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

- basic principles of describing charge transport in semiconductors
- basic principles of standard semiconductor devices operation

##### **be able to:**

- Calculate the volt-current characteristics of devices (diodes, field-effect transistors)

##### **master:**

- calculate characteristics of semiconductor structures
- Methods for calculating the characteristics of semiconductor nanoelectronic devices
- the basic methods of solving the equations of electrodynamics and electron transport (Boltzmann equation, diffusion-drift and hydrodynamic equations) as applied to semiconductor devices

-methods for estimating the parameters of charge carriers (energy spectrum, mobility, free path) in low-dimensional systems

**Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. Band structure and statistics of charge carriers in semiconductors

Band structure of semiconductors, electrons and holes. Effective mass and its origin. Direct-gap and indirect-gap semiconductors - examples of silicon, germanium and gallium arsenide. Carrier statistics and calculation of the Fermi level. Doped semiconductors, estimate of donor level energy. Carrier concentration in doped semiconductor vs temperature. Heavily doped semiconductors.

2. Low-dimensional systems

The concept of heterostructure. Dimensional quantization and quantum wells. Two-dimensional semiconductors based on mono- and bi-layers: graphene, bilayer graphene, transition metal chalcogenides. Band structure of basic two-dimensional materials. Application of the tight binding method for calculations of the band structure.

3. Kinetic theory of transport in semiconductors: general concepts

Boltzmann kinetic equation for the single-particle distribution function. Collisions of carriers with impurities, phonons, and with each other. Quantum mechanical calculation of the scattering probability. The collision integral in the kinetic equation for various scattering mechanisms.

4. Electrical conductivity of semiconductors

Transport relaxation time and its microscopic calculation for scattering by impurities and phonons. Calculation of conductivity in uniform fields and its dependence on temperature for semiconductors and metals. Electrical conductivity of graphene. Diffusion of charge carriers and electrochemical potential. Relation between mobility and diffusion coefficient.

5. Thermo- and galvano-magnetic phenomena

Kinetic equation in the presence of a temperature gradient. Calculation of electronic thermal conductivity and Seebeck coefficient (example of electrons in graphene). Operating principle of a thermoelectric generator and a Peltier element. Kinetic equation in a magnetic field. Hall effect and calculation of Hall resistance. Features of the Hall effect in a two-dimensional system. A method for measuring the carrier mobility using the Hall effect.

6. "Advanced" methods for solving the kinetic equation

Variational principle for the distribution function. Calculation of the graphene conductivity limited by electron-hole scattering using the variational principle. Hydrodynamic approach to kinetic equation. Analysis of electrical and thermal conductivity near the neutrality point in graphene.

7. Recombination of charge carriers in semiconductors

Origins of nonequilibrium electrons and holes: photoexcitation and electrical injection of carriers. The concept of quasi-Fermi levels. Microscopic mechanisms of recombination of electrons and holes: radiative recombination, Auger process, recombination with phonon emission. Calculation of the rate and characteristic time of radiative recombination.

8. Contact phenomena in semiconductors

P-n-junction and its band diagram. Calculation of the field distribution in the p-n-junction (Poisson's equation). Depletion layer width. Metal-semiconductor contact (Schottky contact), calculation of its band diagram. Features of screening in two-dimensional systems, features of two-dimensional p-n-junctions and Schottky contacts, methods of their calculation.

#### 9. Current-voltage characteristic of the p-n junction

Macroscopic equations of drift and diffusion for electrons and holes, their simplification for the doped and depleted regions. Shockley theory for the recombination-limited current. Behavior of p-n junction under reverse bias. Applicability limits of the drift-diffusion theory for ultrashort p-n-junctions. Application of p-n-junctions for rectification (detection) of radiation.

#### 10. Current-voltage characteristic of "metal-semiconductor" structure

Drift-diffusion theory for the transport of majority carriers. Microscopic boundary conditions at the contact with the metal (surface recombination). Current limitation by carrier injection and diffusion in a semiconductor. Applications of Schottky contacts.

#### 11. Metal-oxide semiconductor field-effect transistors (MOSFETs)

Electrostatics of MOS - structures, dependence of the carrier concentration on the gate voltage. Inversion layer. The principle of field-effect transistor operation. Drift-diffusion model of carrier transport in a field-effect transistor. Nonlinear section of current-voltage characteristic and current saturation mechanisms: velocity saturation and channel cutoff. Characteristics of a graphene-based field effect transistor.

#### 12. Miniaturization of MOS transistors and scaling laws

The cutoff frequency of the field-effect transistors as a logic switch mode and as a signal amplifier. External and internal factors affecting the cutoff frequency. Dependence of the cutoff frequency on the channel length for drift-diffusion and ballistic transport modes. Scaling laws for frequency and power dissipation. The problem of threshold voltage reduction. Effects of doping density fluctuations and structural parameters in nanoscale field-effect transistors.

## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Electronic Transport in 2D Materials/Электронный транспорт в двумерных материалах**

#### **Purpose of the course:**

1. To learn and master the modern solutions to problems of physics of 2D electronic systems.
2. To develop practical and creative skills for the independent organization of progressive experimental research.

#### **Tasks of the course:**

1. To study the electronic bandstructures of classical 2D crystals.
2. To introduce general research methodologies of an electronic state investigation in various 2D crystals and van der Waals heterostructures.
3. To introduce mechanisms of quantum electronic transport in various 2D crystals and various van der Waals heterostructures.
4. To hold theoretical knowledge of common fabrication methods of 2D crystals and van der Waals heterostructures.
5. To study the working principles of advanced electronic and optoelectronic devices based on 2D crystals and van der Waals heterostructures.

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

1. General research methodologies for studying electronic states and quantum phenomena in various 2D crystals, van der Waals heterostructures, and corresponding 2D systems.
2. Principal mechanisms of quantum electronic transport in various 2D crystals, van der Waals heterostructures, and corresponding 2D systems.
3. Working principles of advanced electronic and optoelectronic devices based on 2D crystals and van der Waals heterostructures.

##### **be able to:**

1. Derive dispersion laws, electronic densities of states and charge carrier densities of classical 2D crystals.
2. Derive electrostatic parameters of various van der Waals heterostructures consisting of classical 2D crystals.
3. Evaluate electronic characteristics (charge carrier mobility, mean free path, and so on) of classical 2D crystals integrated into various van der Waals heterostructures.

**master:**

1. General knowledge of research and technological advances in the field of electronic transport properties in 2D systems.
2. Theoretical knowledge of common fabrication methods of 2D crystals and van der Waals heterostructures.
3. Attainments necessary for solving current research and technological problems.

**Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. Solid State Fundamentals, towards 2D crystals

1. Introduction to the theory of electronic transport in 2D crystals. Classical Drude model of electrical conduction, Boltzmann transport equation, diffusive and ballistic transport regimes, notes on electron liquids, Euler and Navier-Stokes equations for kinetic-hydrodynamic transport regime.
2. Introduction to the theories of quantum tunnelling and capacitance in 2D crystals. The stationary point and effective transfer Hamiltonian approaches.

2. Graphene Fundamentals, an experimentalist perspective

3. Graphene monolayer. Tight-binding approach to the electronic band structure of monolayer graphene, Dirac cones and pseudospin degree of freedom, chiral electrons and Klein paradox, anomalous quantum Hall effect.
4. Graphene bilayer. Tight-binding approach to the electronic band structure of Bernal bilayer graphene, neutrality points and trigonal warping, electric field tunable electronic bandgap and Mexican hat of electronic band structure, Berry phase and unconventional quantum Hall effect.
5. Hexagonal and rhombohedral graphite. Tight-binding approach to the electronic band structure of rhombohedral graphite, bandgap induced by displacement field, electronic phase separation and stacking order of individual layers, surface and bulk states.

3. Hexagonal boron nitride for graphene, enabling remarkable electronic properties

6. Hexagonal boron nitride for graphene encapsulation. Notes on viscosity, Hall viscosity of electron fluid in graphene and its constrictions.
7. Graphene and hexagonal boron nitride twists. Electronic bandstructure and cloning of Dirac fermions, formation of superlattices and moiré patterns, notes on direct visualization methods: AFM and STM.

8. Graphene and hexagonal boron nitride twists at high magnetic fields, Hofstadter butterfly, mini-zone formation, recurring Bloch and high order fractal states.
  9. Graphene and hexagonal boron nitride for vertical tunnelling transistors. Phonon-assisted inelastic resonant tunnelling, impurity-assisted sequential and twist-controlled resonant tunnelling transitions. Valley tuning and chiral quantum state of graphene electrons.
  10. Graphene quantum dots. Single-electron charging, Coulomb blockade and size quantization, planar and vertical single-electron transistors based on graphene quantum dots.
  11. Graphene double-layers. Counterflow currents, Coulomb drag and magneto-Coulomb drag, indirect exciton condensation at high magnetic fields.
  12. Graphene p-n junctions. Electron flow focusing, Veselago lensing, transverse magnetic focusing, and electronic transport with snake trajectories.
4. Introduction to 2D Semiconductors, superconductors, and ferromagnets
13. Introduction to 2D semiconductors:  $\text{MoX}_2$  and  $\text{WX}_2$  ( $X = \text{S}, \text{Se}$ ). Electronic band structure, direct electronic bandgap monolayers, spin-orbit and -valley couplings, interlayer interactions and quantum Hall effect.
  14. Introduction to 2D superconductors:  $\text{NbX}_2$  ( $X = \text{S}, \text{Se}$ ). Electronic band structure, critical temperatures, and superconducting energy gaps.
  15. Introduction to 2D ferromagnets:  $\text{CrX}_3$  ( $X = \text{I}, \text{Br}$ ). Electronic band structure, interlayer coupling strength, magnetic anisotropy, Curie temperatures, and magnon states.
5. Special topics on today's frontier
16. Established fabrication methods of 2D crystals and van der Waals heterostructures.
  17. Introduction to electronic properties of the magic-angle twisted bilayer (MATBG) graphene systems\*.
  18. Introduction to electronic properties of the magic-angle twisted trilayer (MATTG) graphene systems\*.

## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **First Principles Simulations and Modeling/Первопринципные методы расчета свойств материалов**

#### **Purpose of the course:**

To form an idea of the features of calculations in multielectronic systems.

#### **Tasks of the course:**

Familiarity with the methodology of calculations, understanding the limitations and limits of the applicability of different approaches. Acquaintance with the concept of elementary excitations in the system, correlation energy. Introduction to optical excitations in a system of many electrons.

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

The concept of correlation energy, the concepts of elementary excitations in a system of many electrons.

##### **be able to:**

Evaluate electron-electron interaction effects; evaluate the effect of many-electron effects on the optical properties of a system.

##### **master:**

Fundamentals of numerical methodology in many-electron systems.

#### **Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

##### **1. The theory of the mean self-consistent field**

Introduction. Problem statement. The theory of the average self-consistent field. The Hartree and Hartree-Fock equations. The theory of the electron density functional. The main limitations of these approaches.

## 2. Coulomb interaction shielding and plasmons in metals

The Hartree-Fock approximation as the first order of perturbation theory. Screening of the Coulomb interaction in an electron gas. The long-range effect of the Coulomb interaction. Long-wave density perturbations, plasmons, and the RPA approximation.

## 3. Electron-optical excitations

Pairing of the electromagnetic wave with surface plasmons. Surface Plasmon Polariton. Surface plasmons on a structured surface.

## 4. Many-Body Perturbation Theory

The Green function and the basics of diagram technique. Diagram decomposition of the Green's function.

5. Numerical packages for calculations within the mean self-consistent field method and beyond  
Quanyum Espresso, VASP, BerkeleyGW, Octopus.

## 6. The Green's function

Free Green's function. The total Green function. Dyson's equation. Actually energy part. The vertex part. Spectral representation of the Green's function. A quasi-particle description of an electronic system.

## 7. Typical diagrams in solids. The GW method

The Hedin equations. The GW method. Plasma pole approximation.

## 8. System response

Definition. Causality. Kramers-Kronig relations. The system response function.

## 9. The DFT+U method

"Re-localization" of electrons in DFT. Mottov insulators. The Hubbard model. DFT+U (LDA+U).



## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Fundamentals of Optical Radiation Propagation and Scattering/Основы распространения и рассеяния оптического излучения**

#### **Purpose of the course:**

To provide students with a general understanding of the fundamental aspects of the propagation, radiation, and scattering of light in particular, and electromagnetic radiation in general. Teach students the universal methods of describing light scattering by objects and nanostructures, and demonstrate the universal patterns observed in the interaction of optical radiation with resonant nanostructures.

#### **Tasks of the course:**

- Mastering the basics of electromagnetism
- Teach methods for describing the propagation and emission of electromagnetic radiation in homogeneous space and waveguides
- Teach students the universal methods for describing the scattering of optical radiation by resonant nanostructures
- Gaining knowledge about the geometric and polarization characteristics of light and their transformation upon scattering by objects
- Teaching students the skill of employing the learned methods for solving practical problems

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

- Fundamentals of the mathematical apparatus for describing the electromagnetic field (Maxwell's equations, wave equation, Green's tensor, Poynting's theorem, scattering matrix)
- Basic approaches to describing the propagation and scattering of optical radiation
- Various classes of localized solutions (waveguide modes, leaky modes, resonances, bound states within the continuum) and classes of resonant optical effects observed in resonant nanostructures

##### **be able to:**

- Find the dispersion laws of optical modes of homogeneous media and waveguide structures
- Calculate the fields of the simplest radiating systems in a homogeneous medium
- Calculate eigenmodes and eigenfrequencies of basic nanostructures (layers, cylinders, spheres)
- Simulate light scattering by an arbitrary resonant nanostructure at a basic level

**master:**

- General methods for solving problems of propagation of radiation of electromagnetic waves (search for the spectrum of waveguide modes, calculation of radiation);
- Methods of searching for optical eigenmodes and natural frequencies of resonant nanostructures
- Analytical methods for describing the scattering of optical radiation by generalized resonant structures

**Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. Maxwell's equations, material relations, wave equation

Basic mathematical relations of electromagnetism: Maxwell's equations, wave equation, Helmholtz equation. Harmonic form of equations. Equivalence principle. Material relations, Lorentz and Debye models. Causality.

2. Radiation problem, Green's tensor, eigenmodes

Maxwell's equations with a source, formulation of the radiation problem. Green's function concept. Eigenmodes, expansion of the Green's function of closed structures in terms of eigenmodes.

3. Symmetries and conservation laws in optics

Poynting's theorem, Poynting's vector, energy conservation law. T-invariance and reciprocity of electromagnetic systems. Scaling invariance principle.

4. Plane waves in homogeneous media; isofrequencies

Solutions of Maxwell's equations in homogeneous isotropic space. Plane waves; evanescent waves. Waves in media with a negative refractive index. Dispersion of waves in anisotropic materials, Fresnel equation.

5. Scattering of waves at the interface; transfer matrix method

Transmission and reflection of a plane wave at the interface between two media, Fresnel's formula. Transfer matrix method for isotropic media.

6. Standing waves, cylindrical beams, spherical harmonics

Superposition of plane waves, standing waves. Non-diffracting beams, Bessel beams. Scalar and vector spherical harmonics.

7. Waveguiding structures; waveguide mode classes

The problem of waveguide modes. Classification of waveguide modes: localized, leaky, and anti-waveguide modes.

## 8. Waveguide modes of planar and cylindrical systems

Waveguide modes of a flat and cylindrical metal waveguide. Dielectric layer and cylinder modes.

## 9. Surface waves; waveguiding in a thin layer

Waveguide solutions at the interface between two media. Wave conduction by a thin conductive layer. Dyakonov waves.

## 10. Modes of periodic structures; photonic crystals

Waveguide modes of periodic structures, Bloch's theorem, photonic crystals, band gap.

## 11. Radiation problem; Green's tensor of free space; dipole radiation

Statement of the radiation problem. Finding the Green's tensor for a homogeneous isotropic space. Radiation of an electric and magnetic dipole.

## 12. Multipole decomposition; radiation near the surface

Decomposition of the field of the radiating system into spherical harmonics. Multipole decomposition of current. Radiation of a dipole near the interface between two media.

## 13. Radiation intensity, density of states

The power of the dipole radiation, the relationship with the density of states, the Purcell factor.

## 14. Scattering problem, Lippmann-Schwinger equation; scattering matrix

Statement of the scattering problem, Lippmann-Schwinger integral equation; scattering channels, scattering matrix.

## 15. Eigenmodes, resonances; zeros and poles of the scattering matrix

The concept of eigenmodes and resonances. Complex frequency plane, natural frequencies; zeros and poles of the scattering matrix.

## 16. Coupled mode theory

Phenomenological theory of coupled modes for describing the response of resonant systems. The case of several modes and several scattering channels.

## 17. Exactly solvable scattering problems

Scattering matrices of the interface, layer, eigenvalues and eigenmodes Connection of complex eigenmodes with the waveguide problem.

## 18. Non-Hermitian optics: absorbers and lasers

Physics of systems with attenuation and amplification; ideal absorbers, coherent absorbers; linear theory of lasers.

## 19. Bound states within the continuum

Physics of bound states in the continuum, methods of their occurrence, modeling within the framework of the theory of coupled modes.

## 20. Exceptional points

Singular points of Hamiltonians, examples of singular points in non-Hermitian systems. PT symmetry, laser absorber.

#### 21. Scattering by a compact object; scattering cross sections; sphere scattering

Description of field scattering by a compact object. Decomposition of a plane wave in spherical harmonics. Scattering cross sections, scattering amplitude. Optical theorem. The problem of scattering by a sphere, resonances of spheres.

#### 22. Cloaking and super-scattering

Suppression of scattering by a compact object; anapole. Super-scattering by nanoparticles.

#### 23. Coupled dipole method; diffraction by arrays

Coupled dipole method. Scattering by two bound atoms. Light scattering by a periodic array, diffraction orders, diffraction singularities.

#### 24. Light polarization; Jones matrices

Polarization of the electromagnetic field, polarization ellipse, Stokes parameters, Poincaré sphere. Jones matrices.

#### 25. Spin and orbital moment; chirality of light

Angular momentum of light, division into spin and orbital angular momentum. Spin-orbital coupling. Density of chirality, chirality operator. Dual structures. Relationship between chirality and spin.

#### 26. Polarization conversion; classification of polarization effects

Polarization effects in the interaction of light with planar periodic structures. Symmetry classification of periodic structures.

#### 27. Classification of magneto-electric media; simple chiral media

Classification of magneto-electric media. The case of a bi-isotropic chiral medium, rotation of polarization and circular dichroism.

## Annotation

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Introduction to Quantum Metrology/Основы квантовой метрологии**

#### **Purpose of the course:**

Provide students with knowledge of basics of the quantum metrology.

#### **Tasks of the course:**

Widen the scope of students in the field of quantum mechanics, introduce the physical platforms used for quantum sensors.

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

the foundations of quantum metrology and magnetometry, the physical platforms on which quantum calculators and sensors are implemented, the implementation of algorithms and measurements with them.

##### **be able to:**

explain the basic processes in quantum metrology and in the way quantum sensors work, estimate quantum sensor performance.

##### **master:**

the mathematical apparatus of quantum mechanics, especially related to quantum computing and measurement.

#### **Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

##### **1. Physical platforms**

Physical platforms: cold atoms, cold ions, artificial atoms, photons. Main physical platforms on which optical clocks, atomic interferometers and gravimeters are based. Methods for obtaining and preparing particles, n.o. laser cooling, pumping and polarization processes. The advantages and disadvantages of various platforms in a specific application.

## 2. Quantum logic operations

Basic operations performed on atoms (ions, photons) to prepare and read states. The method of quantum logic, which uses a sparing ion to read the internal state of a "clock" ion.

## 3. Optical clocks

Principles of operation of optical clocks. Existing clocks on single and ensembles of ions, on neutral atoms in lattices, nuclear transitions. Systematic shifts and errors of optical clocks. Stability and accuracy of optical clocks.

## 4. Atomic interferometers, gravimeters

The principles of operation of atomic interferometers and gravimeters. Atomic ensembles used for gravimetry. Sensitivity to various external fields and methods of their measurement. The achievable performance of interferometers and gravimeters. Limiting factors.

## 5. Non-classical states in quantum metrology

Examples of using nonclassical states of light or atomic ensembles to improve the characteristics of quantum sensors. Using squeezed states to overcome the standard quantum noise limit.

## 6. Magnetometry

Color centers in diamond (nitrogen-vacancy, silicon-vacancy), NV center ground state, spin optical polarization and readout. DC magnetometer operation principles, error estimation for NV-based magnetometer. Superconducting quantum interference device(SQUID). DC-SQUID, RF-SQUID magnetometers. Magnetometer error estimation. Rubidium vapor cell magnetometer.

## 7. Thermometry in nanoscale

Living cell thermometry via color centers in nanodiamonds. Measurement principle and error estimation.

## 8. Nuclear magnetic resonance gyroscopy

8. Gyroscope based on Xenon nuclear spin ensemble. Operation principle, continuous induced precession regime. Measurement errors and precision limits.

## 9. Electrometry

9. Electrometry with Rydberg atoms. Electrometry with color centers in diamond. Measurement errors and precision limits.

## 10. Methods of sensitivity improvement

Methods of sensitivity improvement. Quantum error correction. Non-demolition measurement.

## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Labs in Quantum Photonics and Cryptography/Лабораторный практикум по квантовой фотонике и криптографии (РКЦ)**

#### **Purpose of the course:**

To familiarize students with state-of-the-art laboratory instrumentation and standard operating procedures in quantum photonics and cryptography.

#### **Tasks of the course:**

- To develop practical skills of use of modern tools and device of quantum data processing based on photonics;
- to reinforce the theoretical knowledge acquired on preceding lectures.

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

Practical aspects of operating with photon emitters and detectors, fiber-optic interferometers, state-of-the-art instrumentation and computer system of the photonic lab.

##### **be able to:**

- Use modern instruments and data processing systems of the photonic lab;
- apply theoretical knowledge on quantum data processing to handle practical task.

##### **master:**

Basic skills to work in a photonic lab.

#### **Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. Lab #1. Single-photon detector.

Measurements of basic characteristics of a single-photon avalanche diode: quantum efficiency, linearity and maximum count speed, dead time of detection, post-pulses, and jitter.

2. Lab #2. Single-photon interferometry with fiber optics.

Obtaining light interference in a fiber-optic interferometer. Stabilization of the interferometer. Young's experiment (interference pattern from single photons).

3. Lab #3. Single-photon reflectometry and plug-and-play interferometer scheme.

An optical time-domain reflectometer (OTDR) for fiber-optic communication systems. Identification of components and measurement of their characteristics using a reflectogram. Switching to photon counting mode to increase sensitivity.

4. Lab #4. Fiber-optic quantum key distribution system.

Setting up and running a quantum key distribution system using autocompensation fiber-optic circuit. Testing its main characteristics.

5. Lab #5. Quantum-optical random number generator.

Setup and run of a hardware random number generator based on the phase of spontaneous emission of a semiconductor laser diode. Checking the correctness of its operation mode, reception and statistical testing of the resulting output sequence.

6. Lab #6. Bright-light control of a single-photon detector.

Demonstration of the blinding of a single-photon avalanche diode and of its classical control using bright light. Measurement of characteristics of single-photon avalanche diode under attack on the quantum key transfer system. Testing of a possible solution.



## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Laser Physics/Физика лазеров**

#### **Purpose of the course:**

to give students knowledge of the basic concepts of laser operation and laser physics.

#### **Tasks of the course:**

- Acquiring knowledge about methods of light source characterization
- Acquiring knowledge about the basic methods for describing the interaction of light and matter
- Learning how to describe laser action
- Studying the classification of lasers and their modes of action
- Studying applications of lasers in modern technology

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

1. Methods of describing the basic processes of interaction of light with matter
2. Methods of designing optical resonators
3. Description of laser dynamics via rate equations
4. Characteristics of radiation generated by laser source
5. Applications of laser physics

##### **be able to:**

1. Formulate equations of dynamics of lasers
2. Select the correct characteristics of an optical resonator for a particular application
3. Solve a system of coupled equations describing the dynamics of interaction between the active medium and light in the resonator
4. Evaluate the properties, including photon statistics, of radiation generated by a laser

**master:**

1. Methods of describing laser dynamics
2. Methods of design of laser resonators
3. Methods of describing interaction of light and medium
4. Methods of constructing models of complex physical processes

**Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. Introductory session: history of lasers and their development

History of the development of light sources. Major milestones in the development of laser technology and its applications. Review of course materials.

2. Sources of light and their characterization

Basic concepts of light source characterization, concept of coherence (spatial and temporal). Methods of coherence measurement. Significance of laser technology in nitrometry problems.

3. Interaction of light with matter (absorption, spontaneous and stimulated emission)

Introduction of basic concepts of absorption and radiation. Black body model. The concept of spontaneous radiation in the Planck model. Einstein's coefficients. Einstein's rate equations for description of spectrum of black body radiation.

4. Spectral characteristics of absorption and radiation processes, homogeneous and non-homogeneous line broadening

The concept of line width in spontaneous emission processes. Homogeneous and inhomogeneous line broadening. Spectral line broadening in gas and solid-state emitters.

5. Optical amplifiers, rate equations

Formulation of rate equations for three- and four-level systems. Solving equations in continuous and pulsed pumping modes. Formulation of conditions for population inversion.

6. Laser generation, generation threshold conditions, saturation and other effects

Formulation of rate equations for description of radiation in optical resonators. Coupled equations for description of laser generation. Formulation of conditions of laser generation.

7. Optimal conditions for laser operation

Analysis of transient effects in laser generation. Temporal laser modulation. Introduction of optimal laser generation conditions related to the design of the optical resonator. Fabry-Perot resonator analysis.

8. Single-mode and multi-mode operating lasers

Formulation of laser generation equations assuming one or many modes in the optical resonator. Discussion of homogeneous and inhomogeneous line broadening. Conditions for modal beating.

9. Characterization of laser sources

Continuous and pulsed lasers, Q-switching and modelocking. Analysis of active laser generation media. Overview of semiconductor lasers and nanolasers.

#### 10. Laser radiation statistics, generation threshold transition

Noise of laser sources, Schawlow-Townes line width model. Photon statistics below and above the laser generation threshold.

#### 11. Ray optics, ABCD matrix

Formulation of light propagation in ray optics. ABCD matrix for basic optical elements. Analysis of optical elements using the ABCD matrix.

#### 12. Stability conditions for optical resonators

Stability evaluation of optical resonators using the ABCD matrix. Design of the optical circuits.

#### 13. Gaussian beams, stability of optical resonators

Solution of diffraction problem in the formulation of Gaussian beams. Basic properties of Gaussian beams. Propagation of Gaussian beams in optical circuits in the ABCD matrix formulation. Stability conditions of optical resonators.

#### 14. Summary of material

Review of passed material. Solution of typical problems.

## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Machine Learning for Quantum and Statistical Physics/Машинное обучение для квантовой и статистической физики (РКЦ)**

#### **Purpose of the course:**

to give a brief introduction to the methods of modern deep machine learning, to give an overview of the existing approaches of machine learning tools utilization for experimental quantum physics and statistical physics.

#### **Tasks of the course:**

provide to students with the necessary knowledge and skills for independent interdisciplinary research at the intersection of machine learning and physics.

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

the basic methods of deep machine learning and existing methods of their application for research in the field of modern quantum technologies.

##### **be able to:**

select appropriate machine learning tools for experimental and theoretical research in the field of quantum physics and statistical physics, navigate in modern research at the intersection of quantum technology and machine learning.

##### **master:**

basic technologies and algorithms of deep machine learning, and methods for using them as tools for research in various fields of quantum physics and statistical physics.

#### **Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. Introduction.

Introductory lecture. Overview of modern methods of machine learning. Course overview.

## 2. Linear classification and fully-connected neural networks.

Linear classification, optimization objective, gradient descent, deep neural networks, forward and back propagation. Methods of automatic differentiation.

## 3. Diagnosing quality of trained models.

Diagnosing quality of trained models. Quality metrics of training, diagnosing overfitting and underfitting. Regularization.

## 4. Convolutional neural networks.

Convolutional neural networks. Examples of convolutions, stride, pooling, padding. Examples of convolutional neural network architectures.

## 5. Recurrent neural networks.

Recurrent neural networks. Different types of recurrent architectures. Backward propagation. Gradient vanishing and explosion. Gated Recurrent Unit (GRU), Long Short Term Memory (LSTM). Bidirectional recurrent networks.

## 6. Boltzmann machines for statistical physics.

Boltzmann machines for problems of statistical physics. Description of the Boltzmann machine, definition, problem statement, optimization functional, gradient derivation and gradient descent. Utilization for classification and statistical physics tasks.

## 7. Boltzmann machines for quantum state tomography.

Boltzmann machines for quantum state tomography. Tomography of pure and mixed quantum states. Maximum Likelihood Method. Utilization of Boltzmann machines for tomography. Comparison of methods.

## 8. Sampling methods

Two sampling algorithms from an arbitrary distribution are discussed: the Gibbs algorithm and Metropolis algorithm. These algorithms are used to train a Boltzmann machine.

## 9. Variational autoregressive neural networks for statistical physics.

Variational autoregressive neural networks for statistical physics and many-body physics. Problem statement, optimization objective derivation, method of model training, overview of possible neural network architectures. Possible applications for other tasks.

## 10. Overview of recent advance.

Overview of recent advance in machine learning.

## 11. Final project.

Presentation of the independent research projects of students.

## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Methods for the Synthesis of Nanomaterials/Методы синтеза наноматериалов**

#### **Purpose of the course:**

Introduction to basic methods of materials synthesis: deposition of thin films of metals, dielectrics, semiconductors (including analysis of thin film growth mechanisms, deposition methods and influence of various working parameters on film characteristics), synthesis of two-dimensional and quasi-dimensional materials (CVD, etc.), exfoliation of two-dimensional materials, atomic layer deposition, pulsed laser deposition, chemical vapor deposition, etc.

#### **Tasks of the course:**

To study:

1. Method of deposition of thin films of metals, dielectrics, semiconductors.
2. Method of synthesis of two-dimensional and quasi-two-dimensional materials (CVD, etc.).
3. Method of exfoliation of two-dimensional materials. 4.
4. Method of atomic layer deposition of thin films.
5. Method of pulsed laser deposition of thin films.
6. Methods of optical and electron-beam lithography.
7. Methods of local analysis, sputtering and etching of materials using a focused ion beam.

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

#### **know:**

1. Basic methods of synthesis of nanomaterials.
2. Basic methods for creating nanostructures.
3. Basic methods of analysis of nanomaterials and nanostructures.

#### **be able to:**

1. Use methods of nanomaterials synthesis to create thin-film structures.

2. Use methods of nanostructuring to create nanodevices.

**master:**

A set of skills and knowledge necessary for the synthesis of nanomaterials and the creation of nanostructures.

**Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. Nanoscale structures

Colloidal synthesis of nanoparticles. Laser ablation. Femtosecond laser ablation.

2. Fabrication of thin film structures

Thermal and electron-beam deposition in high vacuum. Pulsed laser sputtering. Ion-plasma methods of material deposition. Atomic layer deposition.

3. Investigation of nanostructures by scanning probe microscopy methods

Fundamentals of the method of scanning probe microscopy. Atomic force microscopy - working principles and measurement methods. Principles of operation of magnetic force microscopes.

4. Investigation of nanostructures by transmission electron microscopy

Transmission electron microscopy - principle of operation and measurement methods.

5. Synthesis of two-dimensional materials

CVD synthesis of graphene. CVD-synthesis of transition metal dichalcogenides. Growth of layered crystals.

6. Exfoliation of two-dimensional materials

Methods of preparation of crystal two-dimensional structures. Exfoliation of graphene, two-dimensional crystals of hexagonal boron nitride, exfoliation of transition metal dichalcogenides.

7. Manipulation of nano-objects and control of nano-movements

Laser transfer. Optical tweezers. Moving nanoobjects using an atomic force microscope.

8. Processing of structures and fabrication of devices using nanotechnology

Plasma chemical etching of substrate surfaces and nanoscale films. Optical lithography. Electronic lithography. Nanostructure fabrication using focused ion beam.

## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Nanomaterials Analysis and Research/Физические методы исследований наноматериалов**

#### **Purpose of the course:**

Training of the students on the experimental methods of researching natural and artificial nanomaterials, including materials such as graphene, other two-dimensional materials, carbon nanotubes, perovskites, as well as various metamaterials. Experimental techniques under study include optical research methods (optical microscopy, spectrophotometry, reflectometry, spectroscopy, including terahertz spectroscopy, spectral ellipsometry, Raman spectroscopy, Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS), scanning near-field optical microscopy, surface resonance spectroscopy and other plasmonic methods), atomic force microscopy, scanning tunneling microscopy, scanning and transmission electron microscopy, as well as X-ray diffractometry, electrophysical measurements and a number of other experimental techniques.

Students will receive basic skills in working with complex scientific equipment and will complete a series of practical exercises on educational experimental stands. It is planned to master the culture of modern experiment, as well as safety precautions when working with optical radiation and careful handling of optical equipment and other high-tech equipment. The consolidation of the lecture course materials is carried out within the framework of a laboratory workshop. All laboratory work is accompanied by lectures, where theoretical and practical aspects of equipment operation and measurements are considered. Within the framework of the lecture course and laboratory workshop, the features of the manufacture of nanostructures and the technique of working with two-dimensional materials (synthesis of materials - exfoliation and chemical vapor deposition, fabrication of nanostructures, including using optical and electron lithography), as well as measuring the main parameters of nanomaterials will be studied by various physical methods. When performing laboratory work, students will learn how to correctly formulate the results of experiments, their subsequent processing, as well as present the results for evaluation by the teacher. The tasks solved within the framework of the lecture course and laboratory workshop can be further adapted to study the properties of new nanostructures and nanomaterials for research activities of students. The laboratory work of the workshop will allow students to develop the skills of experimental work, which in the future will allow them to prepare for the implementation of research projects in scientific laboratories. The course is aimed at developing creative skills for setting promising scientific problems.

#### **Tasks of the course:**

Study of the theoretical and practical foundations of various physical methods for investigating nanomaterials: optical microscopy, spectrophotometry, reflectometry, spectroscopy, including terahertz spectroscopy, spectral ellipsometry, Raman scattering and Surface-enhanced Raman



spectroscopy, scanning near-field optical microscopy, surface plasmon resonance spectroscopy, atomic force scanning tunneling microscopy, scanning and transmission electron microscopy, X-ray diffractometry, electrophysical measurements and a number of other experimental techniques.

Experience in the characterization of nanomaterials, practice and study of the culture of working with nanomaterials. Study of safety precautions for working with nanomaterials.

Synthesis and manufacture of nanomaterials. Working with 2D materials - exfoliation and chemical vapor deposition. Transfer of nanomaterials to various substrates.

Determination of the most effective research methods for given nanomaterials and nanostructures.

### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

#### **know:**

- basic principles of spectroscopy and spectrophotometry
- basic principles of spectral ellipsometry
- basic principles of far-field optical microscopy
- basic principles of atomic force microscopy
- the basic principles of scanning tunneling microscopy
- basic principles of scanning near-field optical microscopy
- basic principles of Raman and Surface-enhanced Raman spectroscopy
- basic principles of surface plasmon resonance spectroscopy
- basic principles of scanning electron microscopy
- basic principles of transmission electron microscopy
- basic principles of terahertz spectroscopy
- basic principles of optical reflectometry
- basic principles of X-ray diffractometry
- basic principles of laser nanopolymerization (or two-photon polymerization)
- basic principles of photoluminescence microscopy
- basic principles of making samples (deposition of metal films, optical lithography (photolithography))
- the main objects and phenomena, the study of which is possible by optical methods
- safety precautions and rules for working with scientific equipment

#### **be able to:**

- work with a spectrophotometer
- work with an ellipsometer
- work with an atomic force microscope
- work with a scanning tunneling microscope
- work with a scanning near-field optical microscope
- work with a scanning Raman microscope
- work with a scanning electron microscope
- work with a photoluminescent microscope
- work with transmission electron microscopy
- work with a scanning electron microscope
- work with chemical solutions, determine the chemical composition of solutions.
- work with van der Waals materials. Determine the composition, properties, quality, and number of layers.
- to plan an experiment to solve a scientific problem using optical methods.
- collect, process and present the results of the experiment, taking into account possible errors and inaccuracies

**master:**

- methods of analysis and processing of experimental data.
- Skills in the presentation of experimental data.
- the skills of characterizing the manufactured samples using atomic force microscopy, scanning and transmission electron microscopy.
- the skills of solving scientific problems by experimental optical methods (Raman spectroscopy, Surface-enhanced Raman spectroscopy, spectrophotometry, near-field microscopy, ellipsometry, photoluminescence microscopy)

**Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. Artificial nanomaterials. Manufacturing technologies

Metamaterials, metasurfaces, photonic crystals. Hyperbolic metamaterials. Van der Waals heterostructures. Methods for the manufacture of artificial nanomaterials. Methods for the characterization of artificial nanomaterials.

2. Natural nanomaterials. Synthesis and manufacturing technologies

Graphene. Two-dimensional materials. Exfoliation of 2D materials. Synthesis methods using ultrasound and chemical vapor deposition. Transfer of nanomaterials to various substrates.

3. Review of physical methods for studying nanomaterials

Optical and electrophysical methods for studying nanomaterials. A review of methods of optical spectroscopy, atomic force, scanning tunneling, scanning electron and transmission electron microscopy.

#### 4. Optical properties of nanomaterials

Optical properties of bulk substance. Classical theories of optical constants. Lorentz model. Multi-oscillator model. Model of anisotropic oscillators. Drude's model. Optical characteristics of the substance. Optical properties of particles. Extinction, absorption, scattering.

#### 5. Optical microscopy

Modern microscopic technology. Confocal laser scanning microscopy. Multiphoton confocal microscopy. Quantitative fluorescence microscopy. Superresolution methods. Special optical methods.

#### 6. Spectroscopy and spectrophotometry

Optical spectroscopy. Spectral analysis. Spectroscopic methods. Photocolorimetry. Spectrophotometry. Photoluminescence spectroscopy.

#### 7. Terahertz spectroscopy

Continuous terahertz spectroscopy on backward-wave lamps (BWT). Time-resolved pulsed terahertz spectroscopy. Fourier transform infrared spectroscopy.

#### 8. Raman spectroscopy

Raman spectroscopy (Raman effect). Classical theory. Quantum theory. Empirical laws of Raman spectroscopy. Stimulated Raman Scattering. Raman spectroscopy techniques. The structure of the Raman spectrometer. Getting skills in working with a Raman spectrometer.

#### 9. Surface-enhanced Raman spectroscopy

Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS). Experimental techniques for obtaining spectra of SERS. Main characteristics and mechanisms of the effect of SERS. Application of SERS to the study of biological molecules. Possibilities and prospects for the development of the SERS method.

#### 10. Surface plasmon resonance spectroscopy

Surface electromagnetic waves. Surface plasmon resonance. Surface plasmon resonance spectroscopy. Sensitivity methods. Limitations of the method. Compact circuits. Biosensors based on surface plasmon resonance spectroscopy.

#### 11. Spectral ellipsometry

Light polarization. An introduction to spectral ellipsometry. Measurement scheme. Receiving data. Data analysis. Measurement of spectra of optical constants of materials, including thin films. Study of the structural properties of thin films and interphase boundaries. Determination of thicknesses and physical characteristics of multilayer structures.

#### 12. Spectral ellipsometry of anisotropic materials

An introduction to spectral ellipsometry of anisotropic materials. Muller Matrix. Measurement of the spectra of optical constants of anisotropic materials. Analysis of the spectra of optical constants of anisotropic materials.

### 13. Scanning near-field optical microscopy (aperture)

Diffraction limit. Introduction to scanning near-field optical microscopy. Resolution of scanning near-field optical microscopy. Schematic diagrams of scanning near-field optical microscopy. Practical measurements. Solution of applied problems.

### 14. Scanning near-field optical microscopy (apertureless)

Introduction to scattering scanning near-field optical microscopy. Resolution of scattering scanning near-field optical microscopy. Scheme. Practical measurements. Applied tasks. Plasmons in two-dimensional materials.

### 15. Electrophysical methods for the study of nanomaterials

Resistivity measurement methods. Four-probe method for measuring resistivity. Specific resistance and specific surface resistance. Measurement of surface resistance of relatively thin semiconductor wafers and thin conductive (semiconductor and metallic) layers isolated from conductive substrates. Two-layer structures. Self-compensation method for geometric effects. Modern installations for measuring surface resistance.

### 16. Atomic force microscopy

Principle of operation. Construction of an atomic force microscope. Features of work. Processing of the received information and restoration of the received images. Current state and development of scanning probe microscopy. Practical measurements. Thickness of 2D materials. Roughness of thin metal films.

### 17. Scanning tunnel microscopy

Principle of operation. Construction of a scanning tunneling microscope. Features of work. Processing of the received information and restoration of the received images. Current state and development of scanning tunneling microscopy. Practical measurements.

### 18. Scanning electron microscopy

Principle of operation. Construction and main components of a scanning electron microscope. Features of work. Processing of the received information and restoration of the received images. Practical measurements. Surface morphology of ultrathin metal films.

### 19. Transmission electron microscopy

Principle of operation. Design and main components of a transmission electron microscope. Features of work. Processing of the received information and restoration of the received images. Practical measurements. Transmission electron microscopy of two-dimensional materials.

### 20. Optical lithography (photolithography)

Principle of operation. Photolithography process. Photopolymers. Manufacturing of microstructures. Cleaning and surface preparation. Photoresist application. Exposure. Manifestation. Surface treatment.

### 21. Electronic lithography

Principle of operation. Electronic lithography process. Resolution in electronic lithography. Principles of writing a drawing on a sample. Systems for electronic lithography. Writing drawings on a sample.

## 22. X-ray diffractometry

Theoretical foundations of the method. X-ray structural analysis. X-ray diffractometric method. Phase identification and quantification (phase analysis). Practical measurements for thin metal films.

## 23. Laser nanopolymerization (or two-photon polymerization)

Theoretical foundations of the method. Two-photon polymerization. Polymers. Manufacturing of two-dimensional and three-dimensional structures. Resolution in typical laser nanopolymerization experiments.

## 24. Photoluminescence microscopy

Photoluminescence microscopy at room temperature and mapping. Photoluminescence absorption microscopy at room temperature. Low-temperature photoluminescence microscopy.

## 25. Raman spectroscopy of two-dimensional materials

Raman spectroscopy technique for two-dimensional materials: graphene and transition metal dichalcogenides. Practical measurements and processing of spectra.

## 26. Spectral ellipsometry of two-dimensional materials

Effective spectral ellipsometry models for the analysis of the optical properties of two-dimensional materials: graphene and transition metal dichalcogenides. Practical measurements and extraction of optical constants.

## 27. Optical reflectometry

Theoretical foundations of the method. Models for analysis. Modeling. Practical measurements for thin and ultra-thin metal films.

## 28. Far-field optical microscopy

Scattering of nanoparticles. Dark-field microscopy. Method resolution. Applications. Hybrid nanostructures. Practical measurements.

## 29. Van der Waals materials

Physics of van der Waals materials. Assembly of van der Waals heterostructures. Methods for studying van der Waals heterostructures. Two-layer structures and moire.

## 30. Review of synthesis technologies and research methods for nanomaterials

Analysis of synthesis technologies and research methods for nanomaterials. Theoretical and practical foundations.

## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Open Quantum Systems/Открытые квантовые системы**

#### **Purpose of the course:**

Introduction to the main theoretical methods of analysis of open quantum systems for the research in a wide range of scientific fields

#### **Tasks of the course:**

To study:

1. The Heisenberg-Langevin method.
2. The density matrix method (the Lindblad equation).
3. The cluster expansion approach.
4. Method of nonequilibrium Green's functions (Keldysh technique).

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

1. Basic equations describing the dynamics of an open quantum system.
2. Criteria by which the reservoir can be attributed to the Markov one.
3. Influence of a random phase accumulation on the density matrix.

##### **be able to:**

1. Calculate the dynamics of correlators of the operators of creation and annihilation of photons interacting with the heat reservoir.
2. Calculate diffusion coefficients (correlators of Langevin forces) using Einstein's equation.

##### **master:**

A set of skills and knowledge necessary to study timely scientific and technical problems.

**Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. State of open quantum systems

Density matrix. Occupation number representation. The von Neumann equation. The Gibbs distribution.

2. Density matrix method

Spontaneous emission as interaction with a zero-temperature reservoir. Lindblad's equation for a system interacting with a Markovian reservoir. Random accumulation of phase. Spontaneous emission from an emitter with a phase decoherence with a damped resonator in the weak coupling mode (Purcell effect).

3. The Heisenberg-Langevin method

Heisenberg representation in quantum mechanics. Dynamic equation for operators with Langevin forces. Dynamics of operator correlators of the second and higher orders. Quantum Regression Theorem.

4. Cluster-expansion approach

Bogolyubov's hierarchy. Determination of irreducible singlet, doublet, triplet correlators. Application to a single-mode laser.

5. Fundamentals of nonequilibrium diagrammatic technique

Evolution operator in interaction view. The Keldysh contour. Green's function. Partial summation, self-energy, the Dyson equation. The Kadanoff-Beim equations. Application to spontaneous and stimulated emission in a single-mode laser.

## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Optimization Methods/Методы оптимизации**

#### **Purpose of the course:**

- Learn the main theoretical foundations of widely used optimization methods and their limitations
- Gain essential experience in formulating, decomposing and solving various optimization problems
- Get familiar with various approaches optimization problems

#### **Tasks of the course:**

1. Solve medium-scale convex optimization problems with modern solvers
2. Convexity verification of the given optimization problem
3. Introducing stochasticity in the optimization methods
4. Understanding the pros and cons of the standard large-scale optimization methods

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

- necessary and sufficient conditions for the extrema of functions of several variables;
- methods of searching for extrema;
- the structure of the dynamic system;
- methods for finding optimal control.

##### **be able to:**

- to reduce the optimization problem to the canonical form;
- choose an optimization method based on the characteristics of the problem;
- build an algorithm for finding the optimal control



**master:**

- methods for finding the extrema of functions of many variables;
- numerical optimization approaches;
- the basics of the calculus of variations.

**Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. Convex sets and convex functions

Matrix calculus, automatic differentiation    Subgradient and subdifferential

2. Optimality conditions

Duality and conjugate things    Modeling in convex optimization

3. Intro to numerical methods, gradient descent

Accelerated modifications of gradient descent

4. Quasi-Newton optimization methods

SGD and its modifications in theory and in practice

5. Intro to discrete problems

Convex relaxations of combinatorial optimization problems

## Annotation

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Physics of Quantum Fluids/Физика квантовых жидкостей (РКЦ)**

#### **Purpose of the course:**

Provide students with the basic knowledge of ultracold quantum systems, which are one of the main topics of research around the world and at RQC.

#### **Tasks of the course:**

Provide understanding of the main results obtained in the physics of ultracold quantum systems.

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

Primary concepts of the physics of ultracold quantum systems: Bose-Einstein condensation, Superfluidity in Bose and Fermi systems etc.

##### **be able to:**

solve a large variety of problems related to the physics of ultracold quantum systems.

##### **master:**

mathematical techniques that are necessarily for solving these problems.

#### **Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. Key quantities. Elastic and inelastic interaction between atoms.

Key quantities. Elastic interaction between atoms. Weakly interacting regime. Two-body scattering problem. Inelastic collisions

2. Bose-Einstein condensation in an ideal gas.

Second quantization. Thermodynamics of an ideal Fermi gas. Particle and hole excitations.

3. Weakly interacting Bose gas. Gross-Pitaevskii equation.

Gross-Pitaevskii equation for the condensate wavefunction. Density-phase representation. Collapsing condensates. Stable condensates. Healing length. Bose-Einstein condensation in an external harmonic potential.

#### 4. Dynamics of Bose-Einstein condensates.

Exact scaling approach for a two-dimensional evolution of a trapped condensate. Scaling approach for evolving 3D trapped condensates. Fundamental frequencies of oscillating condensates.

#### 5. Elementary excitations of a Bose-condensed gas.

Bogoliubov transformation. Excitation spectrum of a uniform condensate. Non-condensed fraction. One-body density matrix and long range order. Quantum fluctuations of the density and phase. Quantum fluctuations and ground state energy.

#### 6. Bose-condensed gas at a finite temperature. Superfluidity in Bose systems.

Non-condensed fraction and the one-body density matrix at finite temperatures. Landau criterion of superfluidity. Superfluid and normal density. Beliaev damping of elementary excitations. Landau damping. Small parameter of the theory at finite temperatures.

#### 7. Vortices in Bose-condensed gases.

Vortices in rotating and non-rotating superfluids. Circulation. Gross-Pitaevskii equation for the vortex state. Excitations of the vortex state. Fundamental modes. Kelvin modes and vortex contrast.

#### 8. Ideal Fermi gas. Thermodynamics and excitations.

Second quantization. Thermodynamics of an ideal Fermi gas. Particle and hole excitations

#### 9. Repulsively interacting Fermi gas. Landau's Fermi liquid theory.

Weakly interacting Fermi gas with repulsion between particles. Quasiparticles in Landau's Fermi liquid theory. Hydrodynamic regime. Collisionless regime. Zero sound.

#### 10. Attractively interacting Fermi gas. Superfluid pairing.

Cooper problem. BCS approach. Gapped single-particle excitations. Order parameter and transition temperature.

#### 11. Superfluidity in Fermi gases.

Landau criterion in Fermi gases. Superfluid current. Bogoliubov-Anderson sound. Superfluid and normal density. Thermodynamic quantities near  $T_c$ .

#### 12. Ginzburg-Landau approach. Vortices in Fermi gases.

Landau-Ginzburg functional. Critical fluctuations. Vortex state. Vortices near  $T_c$

#### 13. Strongly interacting Fermi gases.

Anomalously large scattering length. Fano-Feshbach resonance. BCS-BEC crossover. Description of the strongly interacting regime. Unitarity limit.

## Annotation

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Probability Theory and Applications/Теория вероятностей**

#### **Purpose of the course:**

mastering the basic modern methods of probability theory.

#### **Tasks of the course:**

- students mastering basic knowledge (concepts, concepts, methods and models) in probability theory;
- acquisition of theoretical knowledge and practical skills in probability theory;
- providing advice and assistance to students in conducting their own theoretical research in probability theory.

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

- fundamental concepts, laws of probability theory;
- modern problems of the corresponding sections of probability theory;
- concepts, axioms, methods of proof and proof of the main theorems in the sections included in the basic part of the cycle;
- basic properties of the corresponding mathematical objects;
- analytical and numerical approaches and methods for solving typical applied problems of probability theory.

##### **be able to:**

- understand the task;
- use your knowledge to solve fundamental and applied problems;
- evaluate the correctness of the problem statements;
- strictly prove or disprove the statement;

- independently find algorithms for solving problems, including non-standard ones, and conduct their analysis;
- independently see the consequences of the results;
- accurately represent mathematical knowledge in probability theory in oral and written form.

**master:**

- skills of mastering a large amount of information and solving problems (including complex ones);
- skills of independent work and mastering new disciplines;
- the culture of the formulation, analysis and solution of mathematical and applied problems that require the use of mathematical approaches and methods for their solution;
- the subject language of probability theory and the skills of competent description of problem solving and presentation of the results.

**Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. Discrete probability spaces.

Discrete probability spaces. The classic definition of probability. Examples.

2. Independence of an arbitrary set of random variables.

Independence of an arbitrary set of random variables. Independence criterion, a theorem on the independence of Borel functions from disjoint sets of independent random variables.

3. Random variables in discrete probability spaces.

Random variables in discrete probability spaces. Independence of random variables. The mathematical expectation of a random variable, its basic properties. Dispersion, covariance and their properties.

4. Random elements, random variables and vectors.

Random elements, random variables and vectors. A sufficient condition for the measurability of a mapping, a corollary for random variables and vectors. Actions on random variables.

5. Carathéodory's theorem on the continuation of a probability measure (proof of uniqueness).

Carathéodory's theorem on the continuation of a probability measure (proof of uniqueness). Lebesgue theorem on distribution function

6. Conditional probabilities.

Conditional probabilities. The formula for total probability. Bayes formula. Examples

## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Quantum Information Processing/Обработка квантовой информации (РКИ)**

#### **Purpose of the course:**

to acquaint students with the basics of quantum information processing theory, necessary for starting their own research activities.

#### **Tasks of the course:**

give a general idea of the formalization of information concept from the view point of the probability theory;

introduce the basic ideas of classical information processing;

introduce the formalism of positive operator-valued measures;

introduce the basic concepts of quantum information transfer;

introduce the basic algorithms of quantum computing, as well as modern algorithms of quantum machine learning.

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

the basic concepts of quantum and classical information theory and the fundamental differences between quantum and classical information theory;

principles for constructing quantum algorithms and the functioning of quantum computers;

basic approaches to the transmission of information through quantum channels.

##### **be able to:**

calculate the entropy characteristics for classical probability distributions and quantum states;

perform operations on bra- and ket- vectors;

purify mixed quantum states;

calculate quantum states of the qubit register after applying a given set of quantum gates;

construct elementary quantum algorithms;  
to design the simplest quantum communication protocols.

**master:**

the mathematical apparatus of classical and quantum information theory;  
formalism of the quantum channels description.

**Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. Review of the foundations of quantum mechanics formalism for finite-dimensional spaces

Review of the foundations of quantum mechanics formalism for finite-dimensional spaces. Hilbert spaces, bra and ket vectors, unitary, Hermitian, semi-positive operator. Matrix multiplication, trace, eigen values and eigen vectors. Calculation of mean values of the observables. Pure and mixed states, tensor product and partial trace.

2. Quantum measurement and quantum evolution

Quantum measurement and quantum evolution. Quantum measurements and quantum evolution. Formalism of positive operator-valued measures. Naimark's theorem. Completely positive trace-preserving mappings. Representations of quantum channels in terms of Kraus operators. Stinespring representation.

3. Quantum entanglement

Quantum entanglement. The concept of quantum entanglement of pure and mixed states. Measures of quantum entanglement and witnesses of quantum entanglement. The use of entangled states in the protocol of quantum teleportation and super-dense coding.

4. Quantum information theory

Quantum information theory. Foundations of classical information theory. Generalization of classical information theory to quantum states. Information transmission through quantum channels, Holevo bound.

5. Universal quantum computing

Universal quantum computing. Basic quantum gates, universal set of quantum gates, Solovay-Kitaev theorem. Principles of constructing quantum algorithms. Deutsch's, Deutsch-Jozsa's, Simon's, Shor's, Grover's algorithms. Demonstration of "quantum supremacy".

6. Variational and adiabatic quantum computing

Variational and adiabatic quantum computing. The principle of constructing variational quantum algorithms. Examples of using variational quantum algorithms. Using variational algorithms for quantum simulation. The principle of constructing adiabatic quantum algorithms. The relationship between variational and adiabatic algorithms.

## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Quantum Communications/Квантовая связь (РКЦ)**

#### **Purpose of the course:**

to provide insights into modern applications of quantum mechanics to long-distance communication.

#### **Tasks of the course:**

to give the students proper background for work and research in the field of photonic quantum technologies, especially of long-distance communication.

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

theoretical basis of quantum communications and its common applications to date.

##### **be able to:**

understand recent advances in quantum communications and cryptography.

##### **master:**

basic ideas and techniques of analysis of quantum communication systems.

#### **Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

##### 1. Introduction

History of cryptography. Quantum cryptography. Demonstration that measurement changes a quantum state. Key distribution networks. Course overview. Sources of photons and coherent states. (Vadim)

##### 2. Components of quantum- optical systems



Transmission of light in free space and optical fiber. Beamsplitters, polarizers, attenuators, wavelength filters, isolators and circulators. Modulators of polarization, phase, and intensity. Interferometers in single-photon regime. Photodetectors and power meters. Single-photon detectors. Integrated optics. (Vadim)

### 3. Basics of quantum optics

Qubits. Dual- and single-rail qubits. How to encode states of light to make qubits. Discrete variables vs. continuous variables. Bloch sphere. Phase coding of single photon. (Yury)

### 4. Measurement in quantum mechanics

How to measure qubit. Measurement of non-orthogonal states. How to make annihilation operator with measurement. Application examples: quantum random number generator, interaction-free detection. (Yury)

### 5. Quantum key distribution (QKD)

BB84 protocol and post-processing. Intercept-resend attack. How to realise QKD protocols on physical level. How qubits are prepared and measured in experiment. Free-space and fiber realisations. Using entanglement in experimental QKD. Decoy-state protocol. Differential-phase-coding protocol. (Yury)

### 6. Applications of QKD

Main applications of QKD and how they work. Quantum key generation rate in experiments. Limits on QKD distance. Quantum networks. Trusted repeaters. Satellite QKD and its challenges. (Yury)

### 7. Quantum superposition

Pure and mixed states. Transition from pure states to mixed states and vice versa. Double-slit interference and quantum erasure. Quantum ensembles and density matrix. (Denis)

### 8. Quantum measurements

Measurement-induced transformations. Quantum Zeno paradox. Projective measurements. Generalized measurements and POVM. Examples of optical schemes for generalized quantum measurements. Accessible information. Holevo bound. (Denis)

### 9. Entangled states

Bell basis. Correlations of entangled states. Remote state preparation. Entangled photons. Heralded sources of single photons. “Ghost” imaging and “ghost” interference. Superluminal communication and the “no-cloning” theorem. (Denis)

### 10. Security of BB84 protocol

Equivalence of prepare-and-measure and entanglement-based QKD. Decoy state QKD. Detection of eavesdropping attempts. Intercept-resend attack. Optimal attack. Bell inequality. Examples of Bell's inequality violation. (Denis)

### 11. Bell measurement with linear optics

Bell measurement with linear optics. Quantum teleportation. (Denis)

## 12. Security and threat model of QKD

The use of quantum random number generator in QKD. The need to trust the manufacturer. Processing double-clicks. Optical Trojan-horse attack and countermeasures to it. (Vadim)

## 13. Paper seminar on quantum teleportation; Detector control attack

J.-G. Ren et al., “Ground-to-satellite quantum teleportation,” *Nature* 549, 70 (2017). Detector control attack and countermeasures to it. (Vadim)

## 14. Paper seminar on twin-field QKD; Countermeasures against imperfections and certification

M. Lucamarini et al., “Overcoming the rate–distance limit of quantum key distribution without quantum repeaters,” *Nature* 557, 400 (2018). Types of countermeasures against imperfections. Distinguishability of source states. Certification of cryptographic tools. (Vadim)

## 15. Discussion and question-and-answer session

Discussion and question-and-answer session. (all lecturers)

## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Semiconductor Nanoelectronic Devices/Полупроводниковые нанoeлектронные устройства**

#### **Purpose of the course:**

The aim of the discipline is gaining knowledge about physical principles, technology and modeling of concurrent semiconductor nanoelectronic devices, including those based on new materials - various quantum materials, including graphene, other two-dimensional materials and van der Waals heterostructures. Problems solved in the lecture course can be further adapted for further research activities of students. The course is aimed at development of creative skills of setting promising scientific problems in the field of semiconductor nanoelectronic devices and quantum materials.

#### **Tasks of the course:**

- Acquiring knowledge of modern semiconductor devices;
- acquiring knowledge about devices based on low-dimensional electronic systems;
- studying the problems of creating optoelectronic devices in the terahertz range;
- Gaining knowledge about the physics of two-dimensional materials;
- Study the problems of creating electronic, optoelectronic and photonic devices based on two-dimensional materials.

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

- basic principles of operation of modern semiconductor devices
- basic approaches to development of modern optoelectronic devices

##### **be able to:**

- Calculate the distribution of electrostatic potential and charge carrier density in semiconductor structures

**master:**

- calculate characteristics of semiconductor structures
- Methods for calculating the characteristics of semiconductor nanoelectronic devices
- the basic methods of solving the equations of electrodynamics and electron transport (Boltzmann equation, diffusion-drift and hydrodynamic equations) as applied to semiconductor devices
- methods for estimating the parameters of charge carriers (energy spectrum, mobility, free path) in low-dimensional systems

**Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

## 1. Tunnel transistors for low-voltage electronics

The problem of power dissipation in field-effect transistors. "Thermionic limit" of the subthreshold steepness of MOS FET. Tunneling in Schottky barriers and Schottky-barrier FET. Interband tunneling in semiconductors, calculation of the tunneling current for direct and phonon-assisted tunneling. Field-effect transistor with gate-controlled tunnel junction, its ultimate subthreshold slope. Interband tunneling in semiconductors in the presence of electric potential fluctuations. Influence of the channel dimensionality on the tunneling characteristic. Density of states effects in interband tunneling.

## 2. Field-effect transistors based on phase transitions

Ferroelectric phase transition: phenomenological description within the Landau theory. Features of the transition in hafnium dioxide. Negative differential capacitance and its effect on the switching voltage of MOSFETs. Current state of negative capacitance devices. Metal-insulator phase transition with a change in the electron density. The nature of the "metal-insulator" phase transition in vanadium dioxide.

## 3. Transistors with high electron mobility based on 2d electrons in III-V compounds

Methods for localization of electrons in two dimensions: quantum wells and heterointerfaces. Doping of two-dimensional systems, remote doping. High electron mobility transistor (HEMT) schematic and band diagram. Calculation of electron mobility limited by scattering by distant impurities. Distributed capacitance and inductance effects in high frequency transistors. Cutoff frequency and maximum oscillation frequency.

## 4. Resonant tunneling devices

Tunneling transport in two-barrier heterostructures, calculation of tunneling transparency and current-voltage characteristic of a resonant tunneling diode (RTD). Negative differential resistance and its applications for high-frequency generation. Excess current mechanisms in resonant tunneling diodes.

## 5. Graphene and its applications in analog and digital electronics

Effective Hamiltonian and energy spectrum of charge carriers in single- and bi-layer graphene. Influence of charge carrier chirality on transport properties: suppression of backscattering and strong interband tunneling. The problem of the minimum conductivity of graphene, the effect of potential fluctuations on the concentration of charge carriers and conductivity. Limiting factors for electron mobility in graphene: scattering by impurities, optical and acoustic phonons, grain

boundaries, and local lattice stresses. Features of charge carrier scattering in suspended and encapsulated graphene. Field effect in graphene and characteristics of a graphene transistor, ambipolar transport. Maximum switching frequency and off-state current problem. Current saturation mechanisms in graphene field-effect transistors.

## 6. Derivatives of graphene and their applications in electronics

Graphene-based structures with a finite band gap: bilayer graphene and nanoribbons. Relation between the band gap and the transverse field (bilayer graphene) and the nanoribbon width. Resolution of the off-state current problem in transistors based on graphene derivatives. Edge effects in transistors based on bilayer graphene and nanoribbons: current flow through edge channels and electron scattering at edges. Features of tunnel transport in bilayer graphene.

## 7. Electronic transport in one-dimensional systems

Calculation of coherent electron transport in a one-dimensional system: calculation of the electron density matrix in the channel upon maintaining constant states' filling in the leads. Level broadening effects caused by the presence of leads (concept of self-energy). Derivation of Landauer formula for conductance.

## 8. Field-effect transistors based on one-dimensional systems

Electronic spectrum and transport of charge carriers in graphene nanoribbons and nanotubes. Relation between geometric chirality of nanotubes and their band structure. Semiconductor and metal nanotubes. Relationship between the edge structure of nanoribbons and the energy spectrum of charge carriers. Ballistic conductivity of one-dimensional systems. Landauer formula and its application for characteristics of a ballistic FET with 1d channel. Interaction of charge carriers in 1d systems and its manifestations in transport.

## 9. Optical transitions in semiconductors: general theory

K-p Hamiltonian for bulk semiconductors. Matrix element of electron interaction with an electromagnetic wave. Interband and intraband transitions, their symmetry and conservation-law constraints. Density of states effects in optical absorption spectra. Light absorption by two-dimensional systems. Universal optical conductivity of graphene.

## 10. Semiconductor lasers

Lasing condition in semiconductors in terms of quasi-Fermi levels. Methods for creating interband population inversion. Laser based on a heavily doped p-n-junction. Heterostructure-based laser: effects of super-injection, optical confinement and carrier confinement. Quantum well lasers, their gain spectra, comparison with heterostructure lasers. Quantum cascade lasers and their principle of operation. The problem of terahertz lasing.

## 11. Semiconductor photodetectors

Main figures of merit for photodetectors: responsivity, noise equivalent power (NEP), detectivity. A "classical" photodetector based on p-n-junction. Principle of operation, calculation of voltage and current responsivity. Influence of recombination on the characteristics of p-n-junction based detector. Factors limiting the NEP: dark current and p-n junction noise. Thermal (Johnson-Nyquist) and generation-recombination noise. Problems for detection of far infrared radiation.

## 12. Photodetectors based on two-dimensional materials

Photoresponse mechanisms in graphene: photovoltaic, thermoelectric, bolometric, resistive mixing. Dependences of the current generated by these mechanisms on the charge carrier density, temperature, radiation polarization. Response time of graphene-based photodetectors and its limiting factors. Characteristics of a graphene-based thermoelectric photodetector with induced p-n junctions. Photo-gating effect in two-dimensional systems, origins of photoinduced charge. Formation time of photo-induced charge. Origins of anomalously high current responsivity of detectors based on two-dimensional transition metal chalcogenides.

## **Annotation**

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Software Development and Data Engineering/Разработка ПО и системы хранения данных**

#### **Purpose of the course:**

- Learn how to write effective and readable code
- Learn Software Development best practices
- Gain essential experience with Python
- Get used to testing and documenting the code
- Get ready to implement the Machine Learning and Deep Learning techniques

#### **Tasks of the course:**

- Software Development
- Python
- Testing
- Working with different environments

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

##### **know:**

- idea of the structure, functioning of the visual analyzer;
- understanding of psychophysiological and information models of binocular vision;
- principles of video interface functioning in relation to VR / AR systems.

##### **be able to:**

- principles of functioning and methodology for the development of distributed systems in relation to the tasks of creating VR / AR systems;
- the structure and principles of functioning of existing and future graphics API.

**master:**

- methodology for the development of software for all links of VR / AR systems (including the graphics core, virtual environment control subsystems, video interface, etc.);
- an object-oriented methodology for designing and developing software code for the entire range of tasks for creating VR / AR systems.

**Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. CLI / git

Introduction, Zen Python Installation python 3

2. Code-writing tools

Ipython Notebook IDE Pycharm Interactive cl mode

3. Virtual environment + conda + pip list / pip freeze / Requirements management

Troubleshooting Numbers, Strings, Lists

4. Objects, values and types

Flow control statements: if, for, while Python Data structures Multi-threading: Process Pool, Thread Pool, threading module, multiprocessing

5. PEP8, Style guides

Complex condition Functions: Declaration, Signature, Call by assignment, Call Stack, Closures, Recursions

6. Functional programming elements

Modules: imports, module search path, standard modules, dir() Packages: `__init__.py`, `__all__`, dotted imports

7. Scopes and Namespaces



Compilation and interpretation strategies (AOT, JIT) How to speed up the python code: numba, cython, joblib, dask, c++ extensions Data Science toolbox overview

8. Classes: Declaration, Inheritance, attributes, instances, instance variables, private section

Iterators, Generators, Generator Expressions, Context Managers, Decorators Exceptions: Built-In Exceptions, handling exception, raise exception, custom exceptions Standard Library, inspect Logging

## Annotation

Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика

specialization: Общая и прикладная физика

### Solid-State Quantum Computing/Твердотельные квантовые вычисления

#### Purpose of the course:

To introduce students to one of the main directions of the development of quantum technologies – quantum computing, in particular, solid-state quantum computing.

#### Tasks of the course:

teach students to navigate the basic physical platforms and algorithms for processing and transmitting quantum information.

#### List of the planned results of the course (training module)

As a result of studying the course the student should

##### know:

the basic concept of quantum information processing;

experimental implementations of qubits;

existing solid-state quantum platforms;

theoretical proposals for as yet unexplored types of qubits, using, for example, electrons on the surface of superfluid helium, impurity spins in fullerenes, and others;

realizations of superconducting quantum circuits.

##### be able to:

solve a broad spectrum of problems related to physical foundations of solid-state quantum computing.

##### master:

approaches to create the simplest one- or two-qubit schemes, such as semiconductor quantum dots, diamond vacancies, solid-state impurity spins, and other quantum two-level systems;

basic principles of functioning of various types of superconducting qubits, decoherence mechanisms, and strategies for increasing the coherence of superconducting qubits.

## **Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

### 1. Introduction: Basics of quantum computing

A general introduction to quantum computing. Physical limitations of existing classical computing platforms.

### 2. Microscopic qubits

Microscopic qubits: Atoms, Ions, Photons.

### 3. Condensed matter qubits

Solid-state qubits: semiconductor quantum dots, impurity spins, NV centers, impurity spins in fullerenes, electrons on the surface of liquid helium. The simplest one-or two-qubit schemes.

### 4. Superconductivity and Josephson junctions

The main focus of the course will be on superconductors. Therefore, we will devote a separate lecture to the basics of superconductivity and Josephson transitions..

### 5. Phase and flux qubits

With this lecture, we will begin to discuss superconducting quantum circuits in detail. Such schemes are currently used in existing quantum computers. In this lecture, we will discuss phase and flow qubits.

### 6. Charge qubit

The first type of superconducting qubit experimentally demonstrated in 1999 was charge qubits. We will discuss these pioneering experiments and talk about the problem of charge noise limiting the coherence time of such qubits.

### 7. Qubit readout and circuit QED

Quantum electrodynamics of circuits (circuit QED), the Janes-Cummings model, and qubit readout.

### 8. Transmon qubit

Transmons are currently the most widely used superconducting qubits in quantum processors. We will discuss the advantages of transmons, as well as their limitations and disadvantages.

### 9. Fluxonium, superinductance, g-flux qubit

The fluxonium is the result of the evolution of the streaming qubit and opens up new perspectives for the construction of quantum circuits. The most important element in such schemes is superinductivity, the properties of which we will discuss.

### 10. Qubit manipulation and gates

In this lecture, we will talk about manipulating the quantum states of qubits, about one- and two-qubit gates, and about tools for controlling the interaction between qubits.

### 11. Decoherence, two-level defects

We will talk about the sources of losses and the causes of dephasing of qubits, various decoherence mechanisms, and strategies for increasing the coherence of superconducting qubits.

## 12. Qubit readout electronics

Manipulating superconducting qubits requires the generation of short microwave pulses with precisely specified amplitude and phase. Qubit measurement involves amplifying weak microwave signals using parametric and low-noise cryogenic amplifiers. We will discuss the details of how practical schemes work.

## 13. Quantum processors, simulators, error correction

Quantum processors are divided into devices for executing universal quantum protocols and quantum simulators. We will discuss the advantages and practical limitations of different approaches. The second part of the lecture will be devoted to practical methods of error correction in quantum computing.

## Annotation

**Major: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**specialization: Общая и прикладная физика**

### **Statistical Data Analysis/Математическая статистика и анализ данных**

#### **Purpose of the course:**

studying the mathematical and theoretical foundations of modern statistical analysis, as well as preparing students for further independent work in the field of analysis of statistical problems in applied mathematics, physics and economics.

#### **Tasks of the course:**

- studying the mathematical foundations of mathematical statistics;
- acquisition of theoretical knowledge in the field of modern statistical analysis by students.

#### **List of the planned results of the course (training module)**

As a result of studying the course the student should

#### **know:**

- basic concepts of mathematical statistics;
- basic approaches to comparing estimates of parameters of an unknown distribution;
- asymptotic and non-asymptotic properties of estimates of parameters of an unknown distribution;
- basic methods for constructing estimates with good asymptotic properties: method of moments, method of maximum likelihood, method of sample quantiles;
- the concept of effective estimates and inequality of information by Rao-Cramer;
- definition and main properties of the conditional mathematical expectation of a random variable relative to sigma-algebra or other random variable;
- definition of a general linear regression model and least squares method;
- multivariate normal distribution and its basic properties;
- basic concepts of the theory of testing statistical hypotheses;
- Neumann - Pearson lemma and monotonic likelihood ratio theorem;
- Pearson chi-square test for testing simple hypotheses in the Bernoulli scheme..

**be able to:**

- substantiate the asymptotic properties of estimates using the limit theorems of probability theory;
- construct estimates with good asymptotic properties for the parameters of an unknown distribution for a given sample from it;
- find Bayesian estimates for a given prior distribution;
- calculate conditional mathematical expectations using conditional distributions;
- find optimal estimates using complete sufficient statistics;
- build exact and asymptotic confidence intervals and areas for the parameters of the unknown distribution;
- find optimal estimates and confidence regions in a Gaussian linear model;
- build uniformly the most powerful criteria in the case of a parametric family with a monotonic likelihood ratio;
- Build an F-test to test linear hypotheses in a linear Gaussian model.

**master:**

- the main methods of mathematical statistics for constructing point and confidence estimates: the method of moments, sample quantiles, maximum likelihood, the method of least squares, the method of central statistics.
- skills of asymptotic analysis of statistical tests;
- skills of applying the theorems of mathematical statistics in applied problems of physics and economics.

**Content of the course (training module), structured by topics (sections):**

1. F-test for testing linear hypotheses in a Gaussian linear model.

Binary search, Ternary search. Basic data structures: stack, queue, singly linked list, doubly linked list. Basic definitions of graph theory, DFS, BFS, topsort.

2. Probabilistic-statistical model.

Probabilistic-statistical model. Observation and sampling concepts. Parametric statistical model. Modeling a sample from an unknown distribution that belongs to a parametric family.

### 3. The main task of mathematical statistics.

The main task of mathematical statistics. Examples: sampling and linear model.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **(Не)точная наука: культурная и социальная история российской математики**

#### **Цель дисциплины:**

- создать у студентов комплексное представление о культурной и социальной истории математики как научной дисциплины в России и СССР в XIX-XX вв., во взаимосвязи с политическими и социально-экономическими процессами и в контексте научно-технического развития страны и всемирной истории математики; обеспечить возможность получения систематизированных знаний об основных закономерностях и особенностях исторического развития, значимых институциональных и социально-культурных формах российской математики в XIX-XX вв.

#### **Задачи дисциплины:**

- стимулировать развитие интереса и мотивации к изучению отечественного математического наследия;
- создать целостное комплексное представление об основных периодах, закономерностях и особенностях социально-культурной истории российской математики;
- обеспечить понимание взаимосвязей между социально-культурным развитием российской математики и становлением современной математической науки;
- выработать навыки выстраивания причинно-следственных связей между развитием математического знания и институциональными, социально-культурными формами математики в России и СССР;
- обеспечить понимание места и роли математики, математических методов и математического мышления в развитии других наук;
- выработать навыки получения, анализа и обобщения исторической информации, умения логически мыслить;
- выработать навыки устной и письменной аргументации, коммуникации и ведения дискуссии;
- выработать навыки критического мышления и самостоятельности суждений;
- познакомить с междисциплинарными исследованиями науки и технологий (Science and Technology Studies) и методами эмпирических исследований социальных наук.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны



**знать:**

- основные этапы истории математики в России и СССР, закономерности и особенности социально-культурной истории математики, роль математики в развитии других наук;
- основные понятия и термины истории науки, основные проблемы и концепции развития науки междисциплинарных исследований науки и технологий (Science and Technology Studies);
- основные методы эмпирических исследований социальных наук.

**уметь:**

- анализировать проблемы социально-культурной истории математики России, устанавливать причинно-следственные связи между событиями и процессами, между математическим знанием и институциональными, социально-культурными формами российской математики;
- устно и письменно представлять результаты анализа информации по выбранной тематике;
- устно и письменно формулировать, аргументировать и отстаивать свое мнение по заданной проблеме;
- оценивать и отбирать нужную информацию, анализировать, систематизировать и обобщать ее;
- планировать и осуществлять свою деятельность с учетом результатов этого анализа.

**владеть:**

- представлениями о ключевых событиях истории российской математики в контексте научно-технологического развития России и СССР;
- базовой терминологией и понятийным аппаратом в области истории науки;
- навыками анализа исторических источников;
- навыками устного и письменного аргументированного изложения собственной точки зрения, навыками ведения дискуссии;
- навыками критического восприятия и анализа информации.

**Темы и разделы курса:**

1. Развитие математики в социальном и культурной контексте: основные понятия, подходы к изучению

Введение: математика - “чистая” наука? Культурная вариативность и историческая специфичность математики. Математика как повседневная практика, как учебная дисциплина, как наука. Математика как профессиональное сообщество, система социальных практик, процесс культурного производства. Подходы к исследованию:

история, социология, антропология, этноматематика, междисциплинарные исследования науки и технологий (STS).

## 2. Формирование современной математики

Становление современной математики. Математика Нового времени. Математика и экспериментальное естествознание. Трансформация статуса и роли математики. Профессионализация и специализация. Идеал абстрактной, точной и строгой науки.

## 3. Математика в Российской империи

Математика в Российской империи (XVIII-XIX вв.). Математические знания и построение империи. Развитие национальной системы науки и высшего образования. “Центры” математической науки. Научные биографии Н.И.Лобачевского, П.Л.Чебышева.

## 4. Математика в СССР

Московская математическая школа. Мистицизм, политические идеологии и математика. Религия и математика. Н.В.Бугаев, Д.Ф.Егоров, Н.Н. Лузин. “Лузитания”: устройство сообщества и культурное влияние.

Математическая “суперсила” в послевоенный период: Холодная война, развитие ядерных технологий и кибернетики, математизация экономики.

Математический “интернационализм”. Участие советский математиков в международном научном сообществе. Международное сотрудничество. Академическая мобильность. Международное признание.

Позднесоветское математическое сообщество в СССР. Механизмы воспроизводства сообщества. Формальные и неформальные структуры. Профессиональная культура.

Практикум: анализ воспоминаний и мемуаров ученых-математиков.

Математическое образование в СССР. Между общедоступным и элитарным. Математические кружки. Олимпиадное движение. Физико-математические школы и интернаты. Журнал “Квант”.

Практикум “Физико-математические школы в СССР”:

## 5. Проблемные вопросы социально-культурной истории математики

Математическое (не)равенство. Женщины и мужчины в математике. Гендерный разрыв и гендерная сегрегация. Маскулинности и маскулинная культура.

Практикум “Женщины-математики в СССР и в России”

Анализ биографий и профессиональных траекторий женщин-математиков

Память о математиках. Исследования памяти (Memory studies). Практики коммеморации позднесоветского и постсоветского времени. Фильмы, сборники воспоминаний и другие публикации как источники для изучения социально-культурной истории науки.

Российская математика за границей: постсоветская интеллектуальная миграция в 1990-е-2000е гг. и переизобретение “русской” математики за рубежом.

Мини-конференция: выступления студентов с докладами по выбранной теме

**Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**Basics of Semiconductor Electronics/Основы полупроводниковой электроники**

**Цель дисциплины:**

The aim is to give students knowledge about the basic physical principles of description of semiconductor materials, the basics of mathematical and numerical modeling of processes occurring in semiconductors and semiconductor structures, review of standard (classical) semiconductor structures and devices based on them.

**Задачи дисциплины:**

- Knowing the necessary fundamentals of semiconductor theory;
- studying methods of describing electron transport in semiconductors;
- gaining knowledge of standard semiconductor devices.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

- basic principles of describing charge transport in semiconductors
- basic principles of standard semiconductor devices operation

**уметь:**

- Calculate the volt-current characteristics of devices (diodes, field-effect transistors)

**владеть:**

- calculate characteristics of semiconductor structures
- Methods for calculating the characteristics of semiconductor nanoelectronic devices
- the basic methods of solving the equations of electrodynamics and electron transport (Boltzmann equation, diffusion-drift and hydrodynamic equations) as applied to semiconductor devices
- methods for estimating the parameters of charge carriers (energy spectrum, mobility, free path) in low-dimensional systems

## **Темы и разделы курса:**

### 1. Band structure and statistics of charge carriers in semiconductors

Band structure of semiconductors, electrons and holes. Effective mass and its origin. Direct-gap and indirect-gap semiconductors - examples of silicon, germanium and gallium arsenide. Carrier statistics and calculation of the Fermi level. Doped semiconductors, estimate of donor level energy. Carrier concentration in doped semiconductor vs temperature. Heavily doped semiconductors.

### 2. Low-dimensional systems

The concept of heterostructure. Dimensional quantization and quantum wells. Two-dimensional semiconductors based on mono- and bi-layers: graphene, bilayer graphene, transition metal chalcogenides. Band structure of basic two-dimensional materials. Application of the tight binding method for calculations of the band structure.

### 3. Kinetic theory of transport in semiconductors: general concepts

Boltzmann kinetic equation for the single-particle distribution function. Collisions of carriers with impurities, phonons, and with each other. Quantum mechanical calculation of the scattering probability. The collision integral in the kinetic equation for various scattering mechanisms.

### 4. Electrical conductivity of semiconductors

Transport relaxation time and its microscopic calculation for scattering by impurities and phonons. Calculation of conductivity in uniform fields and its dependence on temperature for semiconductors and metals. Electrical conductivity of graphene. Diffusion of charge carriers and electrochemical potential. Relation between mobility and diffusion coefficient.

### 5. Thermo- and galvano-magnetic phenomena

Kinetic equation in the presence of a temperature gradient. Calculation of electronic thermal conductivity and Seebeck coefficient (example of electrons in graphene). Operating principle of a thermoelectric generator and a Peltier element. Kinetic equation in a magnetic field. Hall effect and calculation of Hall resistance. Features of the Hall effect in a two-dimensional system. A method for measuring the carrier mobility using the Hall effect.

### 6. "Advanced" methods for solving the kinetic equation

Variational principle for the distribution function. Calculation of the graphene conductivity limited by electron-hole scattering using the variational principle. Hydrodynamic approach to kinetic equation. Analysis of electrical and thermal conductivity near the neutrality point in graphene.

### 7. Recombination of charge carriers in semiconductors

Origins of nonequilibrium electrons and holes: photoexcitation and electrical injection of carriers. The concept of quasi-Fermi levels. Microscopic mechanisms of recombination of electrons and holes: radiative recombination, Auger process, recombination with phonon emission. Calculation of the rate and characteristic time of radiative recombination.

### 8. Contact phenomena in semiconductors

P-n-junction and its band diagram. Calculation of the field distribution in the p-n-junction (Poisson's equation). Depletion layer width. Metal-semiconductor contact (Schottky contact),

calculation of its band diagram. Features of screening in two-dimensional systems, features of two-dimensional p-n-junctions and Schottky contacts, methods of their calculation.

#### 9. Current-voltage characteristic of the p-n junction

Macroscopic equations of drift and diffusion for electrons and holes, their simplification for the doped and depleted regions. Shockley theory for the recombination-limited current. Behavior of p-n junction under reverse bias. Applicability limits of the drift-diffusion theory for ultrashort p-n-junctions. Application of p-n-junctions for rectification (detection) of radiation.

#### 10. Current-voltage characteristic of "metal-semiconductor" structure

Drift-diffusion theory for the transport of majority carriers. Microscopic boundary conditions at the contact with the metal (surface recombination). Current limitation by carrier injection and diffusion in a semiconductor. Applications of Schottky contacts.

#### 11. Metal-oxide semiconductor field-effect transistors (MOSFETs)

Electrostatics of MOS - structures, dependence of the carrier concentration on the gate voltage. Inversion layer. The principle of field-effect transistor operation. Drift-diffusion model of carrier transport in a field-effect transistor. Nonlinear section of current-voltage characteristic and current saturation mechanisms: velocity saturation and channel cutoff. Characteristics of a graphene-based field effect transistor.

#### 12. Miniaturization of MOS transistors and scaling laws

The cutoff frequency of the field-effect transistors as a logic switch mode and as a signal amplifier. External and internal factors affecting the cutoff frequency. Dependence of the cutoff frequency on the channel length for drift-diffusion and ballistic transport modes. Scaling laws for frequency and power dissipation. The problem of threshold voltage reduction. Effects of doping density fluctuations and structural parameters in nanoscale field-effect transistors.

**Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**Electronic Transport in 2D Materials/Электронный транспорт в двумерных материалах**

**Цель дисциплины:**

1. To learn and master the modern solutions to problems of physics of 2D electronic systems.
2. To develop practical and creative skills for the independent organization of progressive experimental research.

**Задачи дисциплины:**

1. To study the electronic bandstructures of classical 2D crystals.
2. To introduce general research methodologies of an electronic state investigation in various 2D crystals and van der Waals heterostructures.
3. To introduce mechanisms of quantum electronic transport in various 2D crystals and various van der Waals heterostructures.
4. To hold theoretical knowledge of common fabrication methods of 2D crystals and van der Waals heterostructures.
5. To study the working principles of advanced electronic and optoelectronic devices based on 2D crystals and van der Waals heterostructures.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

1. General research methodologies for studying electronic states and quantum phenomena in various 2D crystals, van der Waals heterostructures, and corresponding 2D systems.
2. Principal mechanisms of quantum electronic transport in various 2D crystals, van der Waals heterostructures, and corresponding 2D systems.
3. Working principles of advanced electronic and optoelectronic devices based on 2D crystals and van der Waals heterostructures.

**уметь:**

1. Derive dispersion laws, electronic densities of states and charge carrier densities of classical 2D crystals.
2. Derive electrostatic parameters of various van der Waals heterostructures consisting of classical 2D crystals.
3. Evaluate electronic characteristics (charge carrier mobility, mean free path, and so on) of classical 2D crystals integrated into various van der Waals heterostructures.

**владеть:**

1. General knowledge of research and technological advances in the field of electronic transport properties in 2D systems.
2. Theoretical knowledge of common fabrication methods of 2D crystals and van der Waals heterostructures.
3. Attainments necessary for solving current research and technological problems.

**Темы и разделы курса:**

1. Solid State Fundamentals, towards 2D crystals

1. Introduction to the theory of electronic transport in 2D crystals. Classical Drude model of electrical conduction, Boltzmann transport equation, diffusive and ballistic transport regimes, notes on electron liquids, Euler and Navier-Stokes equations for kinetic-hydrodynamic transport regime.
2. Introduction to the theories of quantum tunnelling and capacitance in 2D crystals. The stationary point and effective transfer Hamiltonian approaches.

2. Graphene Fundamentals, an experimentalist perspective

3. Graphene monolayer. Tight-binding approach to the electronic band structure of monolayer graphene, Dirac cones and pseudospin degree of freedom, chiral electrons and Klein paradox, anomalous quantum Hall effect.
4. Graphene bilayer. Tight-binding approach to the electronic band structure of Bernal bilayer graphene, neutrality points and trigonal warping, electric field tunable electronic bandgap and Mexican hat of electronic band structure, Berry phase and unconventional quantum Hall effect.
5. Hexagonal and rhombohedral graphite. Tight-binding approach to the electronic band structure of rhombohedral graphite, bandgap induced by displacement field, electronic phase separation and stacking order of individual layers, surface and bulk states.

3. Hexagonal boron nitride for graphene, enabling remarkable electronic properties

6. Hexagonal boron nitride for graphene encapsulation. Notes on viscosity, Hall viscosity of electron fluid in graphene and its constrictions.
7. Graphene and hexagonal boron nitride twists. Electronic bandstructure and cloning of Dirac fermions, formation of superlattices and moiré patterns, notes on direct visualization methods: AFM and STM.

8. Graphene and hexagonal boron nitride twists at high magnetic fields, Hofstadter butterfly, mini-zone formation, recurring Bloch and high order fractal states.
  9. Graphene and hexagonal boron nitride for vertical tunnelling transistors. Phonon-assisted inelastic resonant tunnelling, impurity-assisted sequential and twist-controlled resonant tunnelling transitions. Valley tuning and chiral quantum state of graphene electrons.
  10. Graphene quantum dots. Single-electron charging, Coulomb blockade and size quantization, planar and vertical single-electron transistors based on graphene quantum dots.
  11. Graphene double-layers. Counterflow currents, Coulomb drag and magneto-Coulomb drag, indirect exciton condensation at high magnetic fields.
  12. Graphene p-n junctions. Electron flow focusing, Veselago lensing, transverse magnetic focusing, and electronic transport with snake trajectories.
4. Introduction to 2D Semiconductors, superconductors, and ferromagnets
13. Introduction to 2D semiconductors:  $\text{MoX}_2$  and  $\text{WX}_2$  ( $X = \text{S}, \text{Se}$ ). Electronic band structure, direct electronic bandgap monolayers, spin-orbit and -valley couplings, interlayer interactions and quantum Hall effect.
  14. Introduction to 2D superconductors:  $\text{NbX}_2$  ( $X = \text{S}, \text{Se}$ ). Electronic band structure, critical temperatures, and superconducting energy gaps.
  15. Introduction to 2D ferromagnets:  $\text{CrX}_3$  ( $X = \text{I}, \text{Br}$ ). Electronic band structure, interlayer coupling strength, magnetic anisotropy, Curie temperatures, and magnon states.
5. Special topics on today's frontier
16. Established fabrication methods of 2D crystals and van der Waals heterostructures.
  17. Introduction to electronic properties of the magic-angle twisted bilayer (MATBG) graphene systems\*.
  18. Introduction to electronic properties of the magic-angle twisted trilayer (MATTG) graphene systems\*.



**Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**First Principles Simulations and Modeling/Первопринципные методы расчета свойств материалов**

**Цель дисциплины:**

To form an idea of the features of calculations in multielectronic systems.

**Задачи дисциплины:**

Familiarity with the methodology of calculations, understanding the limitations and limits of the applicability of different approaches. Acquaintance with the concept of elementary excitations in the system, correlation energy. Introduction to optical excitations in a system of many electrons.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

The concept of correlation energy, the concepts of elementary excitations in a system of many electrons.

**уметь:**

Evaluate electron-electron interaction effects; evaluate the effect of many-electron effects on the optical properties of a system.

**владеть:**

Fundamentals of numerical methodology in many-electron systems.

**Темы и разделы курса:**

1. The theory of the mean self-consistent field

Introduction. Problem statement. The theory of the average self-consistent field. The Hartree and Hartree-Fock equations. The theory of the electron density functional. The main limitations of these approaches.

2. Coulomb interaction shielding and plasmons in metals

The Hartree-Fock approximation as the first order of perturbation theory. Screening of the Coulomb interaction in an electron gas. The long-range effect of the Coulomb interaction. Long-wave density perturbations, plasmons, and the RPA approximation.

### 3. Electron-optical excitations

Pairing of the electromagnetic wave with surface plasmons. Surface Plasmon Polariton. Surface plasmons on a structured surface.

### 4. Many-Body Perturbation Theory

The Green function and the basics of diagram technique. Diagram decomposition of the Green's function.

5. Numerical packages for calculations within the mean self-consistent field method and beyond  
Quanyum Espresso, VASP, BerkeleyGW, Octopus.

### 6. The Green's function

Free Green's function. The total Green function. Dyson's equation. Actually energy part. The vertex part. Spectral representation of the Green's function. A quasi-particle description of an electronic system.

### 7. Typical diagrams in solids. The GW method

The Hedin equations. The GW method. Plasma pole approximation.

### 8. System response

Definition. Causality. Kramers-Kronig relations. The system response function.

### 9. The DFT+U method

"Re-localization" of electrons in DFT. Mottov insulators. The Hubbard model. DFT+U (LDA+U).

**Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**Fundamentals of Optical Radiation Propagation and Scattering/Основы распространения и рассеяния оптического излучения**

**Цель дисциплины:**

To provide students with a general understanding of the fundamental aspects of the propagation, radiation, and scattering of light in particular, and electromagnetic radiation in general. Teach students the universal methods of describing light scattering by objects and nanostructures, and demonstrate the universal patterns observed in the interaction of optical radiation with resonant nanostructures.

**Задачи дисциплины:**

- Mastering the basics of electromagnetism
- Teach methods for describing the propagation and emission of electromagnetic radiation in homogeneous space and waveguides
- Teach students the universal methods for describing the scattering of optical radiation by resonant nanostructures
- Gaining knowledge about the geometric and polarization characteristics of light and their transformation upon scattering by objects
- Teaching students the skill of employing the learned methods for solving practical problems

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

- Fundamentals of the mathematical apparatus for describing the electromagnetic field (Maxwell's equations, wave equation, Green's tensor, Poynting's theorem, scattering matrix)
- Basic approaches to describing the propagation and scattering of optical radiation
- Various classes of localized solutions (waveguide modes, leaky modes, resonances, bound states within the continuum) and classes of resonant optical effects observed in resonant nanostructures

**уметь:**

- Find the dispersion laws of optical modes of homogeneous media and waveguide structures

- Calculate the fields of the simplest radiating systems in a homogeneous medium
- Calculate eigenmodes and eigenfrequencies of basic nanostructures (layers, cylinders, spheres)
- Simulate light scattering by an arbitrary resonant nanostructure at a basic level

**ВЛАДЕТЬ:**

- General methods for solving problems of propagation of radiation of electromagnetic waves (search for the spectrum of waveguide modes, calculation of radiation);
- Methods of searching for optical eigenmodes and natural frequencies of resonant nanostructures
- Analytical methods for describing the scattering of optical radiation by generalized resonant structures

**Темы и разделы курса:**

1. Maxwell's equations, material relations, wave equation

Basic mathematical relations of electromagnetism: Maxwell's equations, wave equation, Helmholtz equation. Harmonic form of equations. Equivalence principle. Material relations, Lorentz and Debye models. Causality.

2. Radiation problem, Green's tensor, eigenmodes

Maxwell's equations with a source, formulation of the radiation problem. Green's function concept. Eigenmodes, expansion of the Green's function of closed structures in terms of eigenmodes.

3. Symmetries and conservation laws in optics

Poynting's theorem, Poynting's vector, energy conservation law. T-invariance and reciprocity of electromagnetic systems. Scaling invariance principle.

4. Plane waves in homogeneous media; isofrequencies

Solutions of Maxwell's equations in homogeneous isotropic space. Plane waves; evanescent waves. Waves in media with a negative refractive index. Dispersion of waves in anisotropic materials, Fresnel equation.

5. Scattering of waves at the interface; transfer matrix method

Transmission and reflection of a plane wave at the interface between two media, Fresnel's formula. Transfer matrix method for isotropic media.

6. Standing waves, cylindrical beams, spherical harmonics

Superposition of plane waves, standing waves. Non-diffracting beams, Bessel beams. Scalar and vector spherical harmonics.

7. Waveguiding structures; waveguide mode classes

The problem of waveguide modes. Classification of waveguide modes: localized, leaky, and anti-waveguide modes.

8. Waveguide modes of planar and cylindrical systems

Waveguide modes of a flat and cylindrical metal waveguide. Dielectric layer and cylinder modes.

#### 9. Surface waves; waveguiding in a thin layer

Waveguide solutions at the interface between two media. Wave conduction by a thin conductive layer. Dyakonov waves.

#### 10. Modes of periodic structures; photonic crystals

Waveguide modes of periodic structures, Bloch's theorem, photonic crystals, band gap.

#### 11. Radiation problem; Green's tensor of free space; dipole radiation

Statement of the radiation problem. Finding the Green's tensor for a homogeneous isotropic space. Radiation of an electric and magnetic dipole.

#### 12. Multipole decomposition; radiation near the surface

Decomposition of the field of the radiating system into spherical harmonics. Multipole decomposition of current. Radiation of a dipole near the interface between two media.

#### 13. Radiation intensity, density of states

The power of the dipole radiation, the relationship with the density of states, the Purcell factor.

#### 14. Scattering problem, Lippmann-Schwinger equation; scattering matrix

Statement of the scattering problem, Lippmann-Schwinger integral equation; scattering channels, scattering matrix.

#### 15. Eigenmodes, resonances; zeros and poles of the scattering matrix

The concept of eigenmodes and resonances. Complex frequency plane, natural frequencies; zeros and poles of the scattering matrix.

#### 16. Coupled mode theory

Phenomenological theory of coupled modes for describing the response of resonant systems. The case of several modes and several scattering channels.

#### 17. Exactly solvable scattering problems

Scattering matrices of the interface, layer, eigenvalues and eigenmodes Connection of complex eigenmodes with the waveguide problem.

#### 18. Non-Hermitian optics: absorbers and lasers

Physics of systems with attenuation and amplification; ideal absorbers, coherent absorbers; linear theory of lasers.

#### 19. Bound states within the continuum

Physics of bound states in the continuum, methods of their occurrence, modeling within the framework of the theory of coupled modes.

#### 20. Exceptional points

Singular points of Hamiltonians, examples of singular points in non-Hermitian systems. PT symmetry, laser absorber.

## 21. Scattering by a compact object; scattering cross sections; sphere scattering

Description of field scattering by a compact object. Decomposition of a plane wave in spherical harmonics. Scattering cross sections, scattering amplitude. Optical theorem. The problem of scattering by a sphere, resonances of spheres.

## 22. Cloaking and super-scattering

Suppression of scattering by a compact object; anapole. Super-scattering by nanoparticles.

## 23. Coupled dipole method; diffraction by arrays

Coupled dipole method. Scattering by two bound atoms. Light scattering by a periodic array, diffraction orders, diffraction singularities.

## 24. Light polarization; Jones matrices

Polarization of the electromagnetic field, polarization ellipse, Stokes parameters, Poincaré sphere. Jones matrices.

## 25. Spin and orbital moment; chirality of light

Angular momentum of light, division into spin and orbital angular momentum. Spin-orbital coupling. Density of chirality, chirality operator. Dual structures. Relationship between chirality and spin.

## 26. Polarization conversion; classification of polarization effects

Polarization effects in the interaction of light with planar periodic structures. Symmetry classification of periodic structures.

## 27. Classification of magneto-electric media; simple chiral media

Classification of magneto-electric media. The case of a bi-isotropic chiral medium, rotation of polarization and circular dichroism.

**Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**Introduction to Quantum Metrology/Основы квантовой метрологии**

**Цель дисциплины:**

Provide students with knowledge of basics of the quantum metrology.

**Задачи дисциплины:**

Widen the scope of students in the field of quantum mechanics, introduce the physical platforms used for quantum sensors.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

the foundations of quantum metrology and magnetometry, the physical platforms on which quantum calculators and sensors are implemented, the implementation of algorithms and measurements with them.

**уметь:**

explain the basic processes in quantum metrology and in the way quantum sensors work, estimate quantum sensor performance.

**владеть:**

the mathematical apparatus of quantum mechanics, especially related to quantum computing and measurement.

**Темы и разделы курса:**

1. Physical platforms

Physical platforms: cold atoms, cold ions, artificial atoms, photons. Main physical platforms on which optical clocks, atomic interferometers and gravimeters are based. Methods for obtaining and preparing particles, n.o. laser cooling, pumping and polarization processes. The advantages and disadvantages of various platforms in a specific application.

2. Quantum logic operations

Basic operations performed on atoms (ions, photons) to prepare and read states. The method of quantum logic, which uses a sparing ion to read the internal state of a "clock" ion.

### 3. Optical clocks

Principles of operation of optical clocks. Existing clocks on single and ensembles of ions, on neutral atoms in lattices, nuclear transitions. Systematic shifts and errors of optical clocks. Stability and accuracy of optical clocks.

### 4. Atomic interferometers, gravimeters

The principles of operation of atomic interferometers and gravimeters. Atomic ensembles used for gravimetry. Sensitivity to various external fields and methods of their measurement. The achievable performance of interferometers and gravimeters. Limiting factors.

### 5. Non-classical states in quantum metrology

Examples of using nonclassical states of light or atomic ensembles to improve the characteristics of quantum sensors. Using squeezed states to overcome the standard quantum noise limit.

### 6. Magnetometry

Color centers in diamond (nitrogen-vacancy, silicon-vacancy), NV center ground state, spin optical polarization and readout. DC magnetometer operation principles, error estimation for NV-based magnetometer. Superconducting quantum interference device(SQUID). DC-SQUID, RF-SQUID magnetometers. Magnetometer error estimation. Rubidium vapor cell magnetometer.

### 7. Thermometry in nanoscale

Living cell thermometry via color centers in nanodiamonds. Measurement principle and error estimation.

### 8. Nuclear magnetic resonance gyroscope

8. Gyroscope based on Xenon nuclear spin ensemble. Operation principle, continuous induced precession regime. Measurement errors and precision limits.

### 9. Electrometry

9. Electrometry with Rydberg atoms. Electrometry with color centers in diamond. Measurement errors and precision limits.

### 10. Methods of sensitivity improvement

Methods of sensitivity improvement. Quantum error correction. Non-demolition measurement.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Актуальные проблемы нанооптики**

#### **Цель дисциплины:**

формирование базовых знаний в интенсивно развивающейся области нанофотоники для дальнейшего использования в других областях физического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания; формирование культуры в области современной оптики, нанофизики и нанотехнологии, исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся базовых знаний по нанооптике;
- формирование общефизической культуры в области современной фотоники: умение ориентироваться в современных направлениях нанофизики и нанотехнологии;
- формирование знаний об основных монографиях и ключевых обзорных статьях по дисциплине;
- формирование самостоятельных умений и навыков подбирать современную научную литературу по предмету.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- специфические свойства электромагнитных полей, локализованных на нанометровых масштабах, способы их создания и детектирования;
- основы теории прохождения света через субволновое отверстие в металлическом экране, в том числе формулу Бете;
- особенности прохождения света через металлизированные оптоволоконные нановолноводы и цилиндрические субволновые каналы в металле;
- эффект Эббесена для дифракции световых волн на периодической системе нанометровых дырок в металлической пленке;
- поведение электромагнитного поля в конусе с идеально проводящими стенками;
- принципы функционирования микроскопов ближнего поля апертурного и рассеивающего типов;

- основные результаты теории Ми для однородного шара и ее обобщение на случай многослойных концентрических сфер;
- аналитические решения для шара в квазистатическом приближении;
- структуру и свойств металлических наночастиц и кластеров, а также коллоидных полупроводниковых квантовых точек и квантовых ям;
- вид локальной диэлектрической функции благородных металлов с учетом вкладов свободных и связанных электронов;
- основные свойства локализованных поверхностных плазмонов;
- причины размерных эффектов в металлических наночастицах;
- вид спектров поглощения света металлическими нанооболочками с диэлектрическим (полупроводниковым) ядром;
- оптические свойства молекулярных J-агрегатов органических красителей;
- характер спектров поглощения и рассеяния света двухслойными и трехслойными наночастицами с металлическим ядром и внешней J-агрегатной оболочкой;
- физическую основу взаимодействия экситонов Френкеля с дипольными и мультипольными плазмонами в режимах слабой и сильной связи;
- основные компоненты устройства и принцип функционирования OLED;
- процессы и основные механизмы электролюминесценции, в том числе Ферстеровский механизм переноса энергии экситонного возбуждения от органических молекул в транспортных слоях диода квантовых точкам;
- специфику органических светодиодов на квантовых точках (QD-OLED).

**уметь:**

- выписать формулы для поля электрического диполя в ближней и дальней зонах;
- привести конкретные примеры эванесцентных полей и прокомментировать основные принципы и способы их создания и детектирования;
- дать качественное и количественное объяснение эффекту отсечки волн в цилиндрических волноводах;
- объяснить особенности поведения световых волн в сужающихся оптических зондах ближнего поля;
- прокомментировать основные результаты теории Ми для поглощения и рассеяния света однородным шаром малого радиуса;
- объяснить физические принципы управления оптическими свойствами гибридных наночастиц;
- привести простую формулу для описания положений энергетических уровней в полупроводниковых квантовых точках;

- объяснить принципы действия органических светоизлучающих диодов (OLED) и гибридных светодиодов на квантовых точках (QD-OLED).

#### **владеть:**

- методами описания пропускания световых волн через субволновое отверстие в идеально-проводящем экране;
- аналитическими подходами для расчета прохождения волн через цилиндрические волноводы и сужающиеся оптические зонды ближнего поля;
- основами математического аппарата теории поглощения и рассеяния света малыми частицами;
- простыми аналитическими способами описания структуры энергетических уровней в квантовых точках;
- способом расчета положений локализованных плазмонных резонансов в сферических металлических наночастицах различного порядка мультипольности.

#### **Темы и разделы курса:**

##### 1. Основы субволновой оптики и микроскопии ближнего поля.

- Локализованные оптические поля. Примеры эванесцентных полей. Способы создания и детектирования.
- Поле электрического диполя в ближней и дальней зонах.
- Прохождение света через субволновое отверстие в металлическом экране. Плотность энергии поля в ближней зоне. Поток энергии в дальнюю зону. Формула Бете. Комплексный поток.
- Прохождение света через металлизированные оптоволоконные нановолноводы и цилиндрические субволновые каналы в металле. ТМ- и ТЕ-моды. Эффект отсечки.
- Электромагнитные поля в конусе с идеально проводящими стенками.
- Сужающиеся оптические зонды ближнего поля и конвертеры для преобразования излучения в локализованные световые поля. Принцип действия и применения. Коэффициенты пропускания в ближнюю и дальнюю зоны.
- Полупроводниковые оптические нановолноводы с металлическим покрытием.
- Плазмонные нановолноводы.
- Дифракция световых волн на периодической системе нанометровых дырок в металлической пленке. Эффект Эббесена.
- Микроскопы ближнего поля апертурного и рассеивающего типов.

##### 2. Основы теории поглощения и рассеяния света малыми частицами.

- Теория Ми для однородного шара. Вклады ТМ и ТЕ мод различного порядка мультипольности в сечения поглощения и рассеяния света.
- Обобщение теории на случай многослойных концентрических сфер.
- Квазистатическое приближение. Аналитические решения для шара и сфероида.
- Моды шепчущей галереи в диэлектрическом и полупроводниковом шарах.
- Полное сечение экстинкции. Конкуренция процессов поглощения и рассеяния света.

### 3. Структура и свойства металлических наночастиц и кластеров. Локализованные поверхностные плазмоны.

- Теоретические подходы и методы описания электронной структуры и свойств наночастиц и кластеров.
- Электронная структура металлических кластеров.
- Локальная диэлектрическая функция благородных металлов: вклад свободных и связанных электронов.
- Локализованные поверхностные плазмоны. Дипольные и мультипольные резонансы. Частота Фрелиха.
- Размерные и нелокальные эффекты в металлических наночастицах.

### 4. Оптика гибридных двухслойных и трехслойных наночастиц металл/диэлектрик и металл/полупроводник. Эффекты плазмон-экситонного взаимодействия.

- Металлические наноболочки с диэлектрическим (полупроводниковым) ядром.
- Приложения к медицине и разработке эффективных фотовольтаических элементов.
- Молекулярные J-агрегаты органических красителей. Диэлектрические свойства и спектральные характеристики. Экситоны Френкеля.
- Двухслойные и трехслойные частицы с металлическим ядром и внешней J-агрегатной оболочкой.
- Аналитическая модель для частот гибридных мод композитной системы.
- Металлические наноболочки, покрытые J-агрегатами красителей.
- Взаимодействие экситонов Френкеля с дипольными и мультипольными плазмонами. Режимы слабой и сильной связи.
- Эффекты формы и размера.
- Управление оптическими свойствами гибридных наносистем.

### 5. Структура и оптические свойства полупроводниковых квантовых точек и квантовых ям.

- Квантоворазмерные эффекты.
- Электронная структура.
- Спектры поглощения и фотолюминесценции квантовых точек.
- Гибридные квантовые точки “ядро-оболочка” сферической и сложной формы (нанотетраподы).
- Спектроскопия квантовых ям.

#### 6. Органические и гибридные светоизлучающие диоды.

- Основные компоненты устройства. Принцип функционирования OLED.
- Процессы и механизмы электролюминесценции.
- Ферстеровский механизм переноса энергии экситонного возбуждения от органических молекул в транспортных слоях диода квантовым точкам.
- Специфика органических светодиодов на квантовых точках (QD-OLED).
- Электрофизические параметры и излучательные характеристики OLED.

## Аннотации к рабочим программам дисциплин.

Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность: Общая и прикладная физика

### Алгебраическая геометрия. Часть 1

#### Цель дисциплины:

освоение алгебраической геометрии.

#### Задачи дисциплины:

- освоение студентами базовых знаний (понятий, концепций, методов и моделей) в области алгебраической геометрии;
- приобретение теоретических знаний и практических умений и навыков в области алгебраической геометрии;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических исследований в области алгебраической геометрии.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории алгебраической геометрии;
- современные проблемы соответствующих разделов алгебраической геометрии;
- понятия, аксиомы, методы доказательств и доказательства основных теорем в разделах, входящих в базовую часть цикла;
- основные свойства соответствующих математических объектов;
- аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач алгебраической геометрии.

##### уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач алгебраической геометрии;
- оценивать корректность постановок задач;
- строго доказывать или опровергать утверждение;

- самостоятельно находить алгоритмы решения задач, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;
- самостоятельно видеть следствия полученных результатов;
- точно представить математические знания в области сложных вычислений в устной и письменной форме.

**владеть:**

- навыками освоения большого объема информации и решения задач ( в том числе, сложных);
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов алгебраической геометрии;
- предметным языком сложных вычислений и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.

**Темы и разделы курса:**

1. Абстрактные алгебраические многообразия над замкнутым полем  
Сложность «самых сложных функций» от  $n$  аргументов
2. Геометрические схемы; делимость и собственность  
Формула разложения булевой функции по нескольким переменным
3. Многообразия Сегре, Веронезе и Грассмана: проективные вложения и задание квадратичными уравнениями  
Решение дискретной задачи как вычисление набора булевых функций
4. Пространство проективных гиперповерхностей  
Теорема о рекуррентном неравенстве
5. Размерность алгебраического многообразия  
Вычисление определителя и обращение матриц в классе  $NC$

## Аннотации к рабочим программам дисциплин.

Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность: Общая и прикладная физика

### Алгебраическая геометрия. Часть 2

#### Цель дисциплины:

освоение продвинутого курса алгебраической геометрии.

#### Задачи дисциплины:

- освоение студентами базовых знаний (понятий, концепций, методов и моделей) в области алгебраической геометрии;
- приобретение теоретических знаний и практических умений и навыков в области алгебраической геометрии;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических исследований в области алгебраической геометрии.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### знать:

- фундаментальные понятия, законы, теории алгебраической геометрии;
- современные проблемы соответствующих разделов алгебраической геометрии;
- понятия, аксиомы, методы доказательств и доказательства основных теорем в разделах, входящих в базовую часть цикла;
- основные свойства соответствующих математических объектов;
- аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач алгебраической геометрии.

##### уметь:

- понять поставленную задачу;
- использовать свои знания для решения фундаментальных и прикладных задач алгебраической геометрии;
- оценивать корректность постановок задач;
- строго доказывать или опровергать утверждение;



- самостоятельно находить алгоритмы решения задач, в том числе и нестандартных, и проводить их анализ;
- самостоятельно видеть следствия полученных результатов;
- точно представить математические знания в области сложных вычислений в устной и письменной форме.

**владеть:**

- навыками освоения большого объема информации и решения задач ( в том числе, сложных);
- навыками самостоятельной работы и освоения новых дисциплин;
- культурой постановки, анализа и решения математических и прикладных задач, требующих для своего решения использования математических подходов и методов алгебраической геометрии;
- предметным языком сложных вычислений и навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов.

**Темы и разделы курса:**

1. (Ко)касательное пространство Зариского.  
Конормальное расслоение и нормальный конус подмногообразию.
2. Алгебраические векторные расслоения.  
1-мерные когомологии Чеха с коэффициентами в  $GL$ .
3. Введение в теорию когомологий когерентных пучков.  
Когомологии обратимых пучков на проективных пространствах.
4. Линейные системы и отображения в проективное пространство, задаваемые линейными системами.  
Теорема Вигдерсона о моделировании контактных схем схемами чётности.
5. Подвижность и обильность.  
Дивизоры Вейля и (псевдо)дивизоры Картье.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Алгебраическая геометрия**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение основ алгебраической геометрии, необходимых будущим физикам-теоретикам.

#### **Задачи дисциплины:**

Сформировать представление о современной алгебраической геометрии. Обучить студентов основным методам решения задач по этому разделу, связанных с проблемами, имеющими применение в теоретической физики

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

алгебраической геометрии.

##### **уметь:**

работать с основными алгебро-геометрическими объектами и конструкциями, а также вычислять их численные инварианты в базовых случаях.

##### **владеть:**

методами решения задач по алгебраической геометрии.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Введение в многообразия и схемы.

Введение в многообразия и схемы. Подсхемы. Расслоенное произведение.

2. Теорема о размерности слоев морфизма.

Теорема о размерности слоев морфизма. Критерий неприводимости.

3. Пучки на схемах. Когерентные пучки.

Пучки на схемах. Когерентные пучки.

4. Отделимые и собственные многообразия. Полнота проективного пространства.

Отделимые и собственные многообразия. Полнота проективного пространства.

5. Векторные поля и дифференциальные формы.

Векторные поля и дифференциальные формы. Канонический класс проективного пространства. Формула присоединения.

6. Когомологии пучков. Когомологии Чеха.

Когомологии пучков. Когомологии Чеха.

7. Серровские вычисления когомологий обратимых пучков. Теоремы об обращении в нуль для обильных расслоений.

Серровские вычисления когомологий обратимых пучков. Теоремы об обращении в нуль для обильных расслоений.

8. Двойственность Серра.

Двойственность Серра.

9. Многочлен Гильберта. Плоские семейства.

Многочлен Гильберта. Плоские семейства.

10. Гладкие морфизмы. Теорема Бертини.

Гладкие морфизмы. Теорема Бертини. Теорема Клеймана о трансверсальности.

11. Теорема о полунепрерывности когомологий.

Теорема о полунепрерывности когомологий.

12. Теорема о формальных функциях. Разложение Штейна.

Теорема о формальных функциях. Разложение Штейна.

13. Классы Чженя. Теорема Римана-Роха.

Классы Чженя. Теорема Римана-Роха.

14. Торические многообразия

Торические многообразия.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Алгебраическая топология**

#### **Цель дисциплины:**

Данный курс ставит целью познакомить слушателей как со стандартным классическим подходом к данному предмету, так и дать представление о его более современных методах и идеях.

#### **Задачи дисциплины:**

Сформировать у слушателей представление о задачах и методах алгебраической топологии, о ее связях с гомологической алгеброй.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные классические понятия и результаты Алгебраической топологии

##### **уметь:**

пользоваться классическими методами Алгебраической топологии для решения задач

##### **владеть:**

аппаратом классической Алгебраической топологии

#### **Темы и разделы курса:**

1. Сингулярные симплексы и цепи. Сингулярные гомологии.

Определение сингулярных гомологий.

2. Категории, функторы и естественные преобразования.

Язык теории категорий.

3. Гомотопическая инвариантность сингулярных гомологий.

Гомотопии, цепные гомотопии, звездные области. Доказательство гомотопической инвариантности сингулярных гомологий.

#### 4. Кросс-произведение гомологий

Кросс-произведение и его свойства.

#### 5. Относительные гомологии. Длинная точная последовательность гомологий.

Относительные гомологии. Длинная точная последовательность гомологий, ассоциированная с короткой точной последовательностью цепных комплексов. Точная последовательность пары.

#### 6. Вырезание и его применение.

Аксиома вырезания. Вычисление гомологий сфер.

#### 7. Аксиомы Эйленберга-Стинрода.

Аксиомы Эйленберга-Стинрода, их следствия (теорема Майера-Вьеториса). Доказательства.

#### 8. Клеточные пространства и их гомологии.

Определения и примеры клеточных пространств. Клеточный комплекс.

#### 9. Гомологии с коэффициентами. Теорема об универсальных коэффициентах.

Гомологии с коэффициентами. Функтор  $\text{Tor}$ . Основная теорема гомологической алгебры. Доказательство теоремы об универсальных коэффициентах.

#### 10. Ациклические модели и теорема Кюннета.

Метод ациклических моделей. Теорема Эйленберга-Зильбера. Теорема Кюннета.

#### 11. Сингулярные когомологии.

Определение сингулярных когомологий. Когомологии с коэффициентами. Теорема об универсальных коэффициентах. Аксиомы Эйленберга-Стинрода для когомологий.

#### 12. Произведения в когомологиях.

Произведения в когомологиях и их свойства.

#### 13. Локальные коэффициенты и ориентация.

Определение системы локальных коэффициентов. Ориентация многообразий. Теорема об ориентации.

#### 14. Двойственность Пуанкаре.

Формулировка и доказательство теоремы двойственности Пуанкаре.

#### 15. Пределы, копределы и сопряженные функторы.

Категорные пределы и копределы, сопряженные функторы. Декартово замкнутые категории. Категория компактно порожденных пространств.

#### 16. Гомотопическая категория

Гомотопическая категория. Базисные точки. Функторы петель и надстройки.

## 17. Локально тривиальные расслоения

Локально тривиальные расслоения: определение и примеры.

## 18. Расслоения

Расслоения в смысле Гуревича. Фундаментальный группоид. Гомотопическая инвариантность пуллбэка расслоения.

## 19. Корасслоения

Корасслоения: определение и свойства.

## 20. Расслоенные и корасслоенные последовательности

Канонические факторизации отображений. Конус отображения. Последовательность Баррата-Пушпе и ее свойства.

## 21. Слабые эквивалентности и теоремы Уайтхеда

Гомотопические эквивалентности, слабые эквивалентности. Теоремы Уайтхеда.

## 22. Представимость когомологий. Теория препятствий

Пространства Эйленберга-Маклейна, примеры. Фундаментальный класс. Представимость функтора когомологий. Элементы теории препятствий.

## 23. Векторные расслоения и K-теория.

Векторные расслоения: определение. Классифицирующее пространство. Группа Гротендика, (комплексная) K-теория. Понятие о периодичности Ботта. K-теория как обобщенная теория когомологий.

## 24. Классифицирующее пространство группы. Симплициальные множества и классифицирующие пространства

Симплициальные множества, их геометрическая реализация. Нерв категории, классифицирующее пространство категории. Группоид Чеха и классифицирующее отображение.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Английский язык в фармаисследованиях**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение фундаментальных концепций и принципов, связанных с разработкой лекарств.: основ разработки новых лекарств; методы, используемые при идентификации целевых молекул; применение различных технологий и методов в разработке новых лекарств; методы моделирования и оптимизации новых лекарственных препаратов; основы контроля качества лекарств и соответствия стандартам безопасности и эффективности; формирование понимания основных этапов и процессов, связанных с разработкой новых лекарств; развитие навыков аналитической обработки большого массива информации по теме специализации; овладение практическими навыками, необходимыми для успешной карьеры в фармацевтической промышленности.

#### **Задачи дисциплины:**

Развить лексических навыков для понимания и использования специфической терминологии в области разработки лекарств; изучить грамматические структуры для работы с научной литературой и изучения основных процессов, связанных с разработкой лекарств; сформировать навыки аудирования и понимания речи научных специалистов в области разработки лекарств; актуализировать навыки активного чтения научных статей, отчетов по разработке лекарств, и решения задач, связанных с разработкой лекарств; ознакомиться с конкретными задачами, связанными с разработкой лекарств, и требованиями, предъявляемыми к процессу разработки лекарств; развить навыки работы в команде и управления проектами в области разработки лекарств; применять информационные технологии и научные ресурсы для получения и обработки данных о разработке лекарств; ознакомиться с основными принципами регулирования разработки лекарств в разных странах и регионах; сформировать способность обучающегося языковыми средствами решать коммуникативные задачи в различных ситуациях межкультурного общения; осуществлять межличностное и профессиональное общение на иностранном языке с учетом особенностей культуры.

Для достижения целей и задач освоения дисциплины, обучающиеся должны овладеть иноязычной общепрофессиональной коммуникативной компетенцией, включающей в себя:

Этнографическую компетенцию: владение знаниями о стране изучаемого языка, ее истории и культуре, быте, выдающихся представителях, традициях и нравах; возможность страноведческого сравнения особенностей истории, культуры, обычаев своей и иной

культур, понимание культурной специфики и способности объяснения причин и истоков той или иной характеристики культуры.

Лингвистическую компетенцию: способность в соответствии с нормами изучаемого языка правильно конструировать грамматические формы и синтаксические построения.

Социолингвистическую компетенцию (способность использовать и преобразовывать языковые формы в соответствии с ситуацией иноязычного общения).

Социокультурную компетенцию: способность учитывать в общении речевое и неречевое поведение, принятое в стране изучаемого языка.

Социальную компетенцию: способность взаимодействовать с партнерами по общению, владение соответствующими стратегиями.

Дискурсивную компетенцию: способность понять и достичь связности отдельных высказываний в значимых коммуникативных моделях.

Стратегическую компетенцию: умение пользоваться наиболее эффективными стратегиями при решении коммуникативных задач.

Предметную компетенцию: знание предметной информации при организации собственного высказывания или понимания высказывания других людей.

Предметно-профессиональную: способность оперировать знаниями в условиях реальной коммуникации с представителями изучаемой культуры, проявление эмпатии, как способности понять нормы, ценности и мотивы поведения представителей иной культуры.

Коммуникативную: способность устанавливать и налаживать контакты с представителями различных возрастных, социальных и других групп родной и иной лингвокультур, возможность быть медиатором между собственной и иноязычными культурами.

Прагматическую компетенцию: умение выбирать наиболее эффективный и целесообразный способ выражения мысли в зависимости от условий коммуникативного акта и поставленной задачи

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

- взаимосвязь, взаимовлияние и взаимодействие языка и культуры;
- роль языка как органической части культуры в жизни человека, его поведении и общении с носителями других языков и других культур, национальной самобытности и идентичность народов;
- представление о культурно-антропологическом взгляде на человека, его образ жизни, идеи, взгляды, обычаи, систему ценностей, восприятие мира – своего и чужого;
- влияние культуры посредством языка на поведение человека, его мировосприятие и жизнь в целом;
- историю возникновения, этапы развития и методы обучения межкультурной коммуникации;



- содержание понятия «культура», её роль в процессе коммуникации, а также соотношение с такими понятиями, как «социализация», «инкультурация», «аккультурация», «ассимиляция», «поведение», «язык», «идентичность», «глобальная гражданственность»;
- влияние различных социальных трансформаций на изменение культурной идентичности;
- особенности восприятия других культур, причины предрассудков и стереотипов в межкультурном взаимодействии;
- механизмы формирования межкультурной толерантности и диалога культур;
- типы, виды, формы, модели, структурные компоненты межкультурной коммуникации;
- нормы и стили межкультурной коммуникации;
- ментальные особенности и национальные обычаи представителей различных культур, культурные стандарты этнического, политического и экономического плана;
- языковую картину мира носителей иноязычной культуры, особенности их мировидения и миропонимания;
- этические и нравственные нормы поведения в инокультурной среде;
- языковые нормы культуры устного общения, этические и нравственные нормы поведения, принятые в стране изучаемого языка; стереотипы и способы их преодоления; нормы этикета стран изучаемого языка;
- методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации;
- этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами;
- методики формирования команд; методы эффективного руководства коллективами; основные теории лидерства и стили руководства;
- правила и закономерности личной и деловой устной и письменной коммуникации; современные коммуникативные технологии на русском и иностранном языках; существующие профессиональные сообщества для профессионального взаимодействия;
- закономерности и особенности социально-исторического развития различных культур; особенности межкультурного разнообразия общества; правила и технологии эффективного межкультурного взаимодействия;
- методики самооценки, самоконтроля и саморазвития.

**уметь:**

- применять методы изучения культурных систем и межкультурных ситуаций;
- воспринимать, анализировать, интерпретировать и сравнивать факты культуры;
- определять роль базовых культурных концептов в межкультурной коммуникации;

- находить адекватные решения в различных ситуациях межкультурного общения;
- анализировать особенности межкультурной коммуникации в коллективе;
- рефлексировать ориентационную систему собственной культуры;
- распознавать и правильно интерпретировать невербальные сигналы в процессе межкультурного общения;
- составлять коммуникативный портрет представителя иной лингвокультуры;
- раскрывать значение понятий и действий в межкультурной ситуации;
- анализировать совпадения и различия в коммуникативном поведении с позиций контактируемых культур;
- адекватно реализовывать свое коммуникативное намерение в общении с представителями других лингвокультур;
- переключаться при встрече с другой культурой на другие не только языковые, но и неязыковые нормы поведения;
- определять причины коммуникативных неудач и применять способы их преодоления;
- занимать позицию партнера по межкультурному общению и идентифицировать возможный конфликт как обусловленный ценностями и нормами его культуры;
- успешно преодолевать барьеры и конфликты в общении и достигать взаимопонимания;
- раскрывать взаимосвязь и взаимовлияние языка и культуры;
- толерантно относиться к представителям других культур и языков;
- анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции;
- уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям;
- использовать модели социальных ситуаций, типичные сценарии взаимодействия участников межкультурной коммуникации;
- руководствоваться принципами культурного релятивизма и этическими нормами, предполагающими отказ от этноцентризма и уважение своеобразия иноязычной культуры и ценностных ориентаций иноязычного социума;
- преодолевать влияние стереотипов и осуществлять межкультурный диалог в общей и профессиональной сферах общения;
- моделировать возможные ситуации общения между представителями различных культур и социумов;
- применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации;

- разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла;
- разрабатывать план групповых и организационных коммуникаций при подготовке и выполнении проекта; сформулировать задачи членам команды для достижения поставленной цели; разрабатывать командную стратегию); применять эффективные стили руководства командой для достижения поставленной цели;
- применять на практике коммуникативные технологии, методы и способы делового общения для академического и профессионального взаимодействия;
- определять теоретическое и практическое значение культурно-языкового фактора при взаимодействии различных философских и научных традиций;
- понимать и толерантно воспринимать межкультурное разнообразие общества; анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия;
- решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности; применять методики самооценки и самоконтроля.

**владеть:**

- нормами этикета и поведения при общении с представителями иноязычной культуры;
- принципами толерантности при разрешении межкультурных противоречий;
- методами коммуникативных исследований, умением применять полученные знания в научно-исследовательской деятельности, устной и письменной коммуникации;
- коммуникативными стратегиями и тактиками, характерными для иных культур;
- навыками корректного межкультурного общения, самостоятельного анализа межкультурных конфликтов в процессе общения с представителями других культур и путей их разрешения;
- умением правильной интерпретации конкретных проявлений вербального и невербального коммуникативного поведения в различных культурах;
- навыками коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия;
- навыками деятельности с ориентиром на этические и нравственные нормы поведения, принятые в инокультурном социуме;
- необходимыми интеракционными и контекстными знаниями, позволяющими преодолевать влияние стереотипов и адаптироваться к изменяющимся условиям при контакте с представителями различных культур;

- методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий;
- методиками разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта;
- умением анализировать, проектировать и организовывать межличностные, групповые и организационные коммуникации в команде для достижения поставленной цели; методами организации и управления коллективом;
- методикой межличностного делового общения на русском и иностранном языках, с применением профессиональных языковых форм, средств и современных коммуникативных технологий;
- методами и навыками эффективного межкультурного взаимодействия;
- технологиями и навыками управления своей познавательной деятельностью и ее совершенствования на основе самооценки, самоконтроля и принципов самообразования в течение всей жизни.

### **Темы и разделы курса:**

#### **1. Тема 1. Глубокое обучение в поиске лекарств**

Интеграция методов глубокого обучения в процесс изыскания новых лекарственных средств.

Алгоритмы глубокого обучения для обработки больших массивов генетических и молекулярных данных. Виртуальный скрининг. Предсказательное моделирование. Эффективность и безопасность разработки лекарств. Персонализированная медицина. Анализ больших массивов геномных и клинических данных для выявления закономерностей и взаимосвязей. Альтернативные методы *in silico*. Идентификация новых специфических ингибиторов. Новые препараты химического класса для лечения рака.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: объяснять и обсуждать Drug Discovery в контексте таких научных дисциплин, как биология, химия и фармакология; на основе большого массива научной литературы высказывать гипотезы и формировать суждения; обсуждать взаимосвязи и закономерности; переводить научные тексты с учетом культурного контекста и жанрово-стилевой принадлежности; трансформировать научные тексты в устной и письменной коммуникации; принимать участие в симуляции научной конференции.

#### **2. Тема 2. Дизайн и синтез**

Разработка и синтез перспективных инновационных соединений как ключевые компоненты Drug Discovery.

Химическая структура кандидата в лекарственные препараты. Изучение таких факторов, как растворимость, стабильность и биодоступность. Эксперименты *in vitro* и *in vivo*, а также клинические испытания на людях. Высокопроизводительный скрининг. Компьютерное

моделирование. Оптимизация процесса синтеза с учетом таких факторов, как выход, чистота и воспроизводимость. Препараты для лечения воспаления и воспалительных заболеваний. Сочетания творческого мышления, научных знаний и технического опыта.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: объяснять понятие резистентности и ее механизмы; обсуждать технологические достижения и автоматизацию; дискутировать о разработке и синтезе новых лекарственных препаратов; анализировать методы тестирования большого количества соединений на предмет их потенциального терапевтического эффекта; трансформировать научные тексты в устной и письменной коммуникации; предсказывать свойства новых лекарственных кандидатов еще до их синтеза; переводить научные тексты с учетом культурного контекста и жанрово-стилевой принадлежности; анализировать и синтезировать научную литературу.

### 3. Тема 3. Дизайн и оптимизация

Дизайн и оптимизация при разработке лекарств: максимизация эффективности и минимизация побочных эффектов.

Молекулярная мишень. Вычислительное моделирование и геномный анализ. Химическая структура. Фармакокинетика. Токсичность. Оптимизация токсичности путем структурных изменений. Клинические испытания. Определение эффективности, безопасности и оптимального режима дозирования препарата.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: описывать молекулярную цель, химическую структуру, фармакокинетику, токсичность и клиническую эффективность кандидатов в лекарственные препараты; обсуждать любые потенциальные проблемы безопасности; описывать циклы разработки вакцин и противовирусных средств; переводить научные тексты с учетом культурного контекста и жанрово-стилевой принадлежности; трансформировать научные тексты в устной и письменной коммуникации.

### 4. Тема 4. Биологические исследования

Биологические механизмы, которые способствуют развитию конкретного заболевания или состояния. Ключевые белки или ферменты, участвующие в процессе заболевания. Высокопроизводительный скрининг. Рациональное конструирование лекарств. Доклинические испытания. Клинические испытания. Виртуальный скрининг. Борьба с SARS-CoV-2 и проблемами со здоровьем, сопровождающими COVID-19.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: описывать последовательные биологические исследования; описывать типы скрининга; трансформировать научные тексты в устной и письменной коммуникации; переводить научные тексты с учетом культурного контекста и жанрово-стилевой принадлежности.

### 5. Тема 5. Био-ИИ революция

Технологии искусственного интеллекта (AI) и машинного обучения (ML) и их применение в области биологии для решения сложных проблем. Последние достижения в области биотехнологий и то, как они способствуют разработке систем ИИ, которые могут быть использованы в поиске лекарств, редактировании генов и других областях биологии. Влияние этих технологий на развитие исследований и открытий в области медицины и здравоохранения, включая точную медицину, персонализированные методы лечения, диагностику и профилактику заболеваний. Этические и социальные последствия

революции Bio-AI, включая проблемы, связанные с конфиденциальностью, правом собственности на данные и возможностью злоупотребления или нежелательных последствий. Как оценивать и интерпретировать биологические данные, такие как геномные и протеомные данные, используя ИИ и ML для составления прогнозов и моделирования биологических систем.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: эффективно передавать свои идеи, мнения и выводы, используя научный язык и терминологию; проводить обширные исследования и извлекать информацию из научной литературы, научных баз данных и других источников для обоснования своей работы; навыки совместного обучения и междисциплинарного решения проблем.

## 6. Тема 6. Тенденции в открытии наркотиков

Последние достижения в области открытия лекарств, включая высокопроизводительный скрининг, компьютерный дизайн лекарств и сетевую фармакологию. Новые лекарственные мишени, в том числе основанные на геномике, эпигеномике и протеомике, а также последние достижения в области персонализированной медицины и точной медицины. Современные системы доставки лекарств, включая липосомальные составы, системы на основе наночастиц и имплантаты с лекарственной фиксацией. Передовые методы разработки и оптимизации лекарств, включая комбинаторную химию, дизайн лекарств на основе фрагментов и биомиметический дизайн лекарств. Нормативно-правовая база фармацевтической разработки, включая права интеллектуальной собственности, одобрение FDA и клинические испытания. Новейшие исследования в области фармацевтики и биотехнологий, включая вакцины, биологические препараты и биоаналоги.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: анализировать и оценивать последние тенденции и достижения в области открытия лекарств и их влияние на здравоохранение, общество и окружающую среду; приобрести технические навыки, необходимые для работы с научными и техническими данными, включая поиск данных, статистический анализ и визуализацию данных; эффективно передавать результаты исследований и решать важнейшие проблемы с использованием инновационных технологий и методологий.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Английский язык для профессиональных целей. Химическая физика и функциональные материалы**

#### **Цель дисциплины:**

Сформировать способность обучающегося языковыми средствами решать коммуникативные задачи в различных ситуациях профессионального общения. Ознакомиться со стилистикой научного текста, подходами к представлению исследований, разновидностью научных жанров англоязычных статей. Развивать способность рефлексировать собственную и иноязычную культуру.

#### **Задачи дисциплины:**

Развитие навыков письма. Формирование навыков презентации научных достижений. Оценка значимости научного исследования. Умение применять правила научной этики. Освоение техник эффективных коммуникативных стратегий в письме. Формирование навыков работы над научной статьей разных жанров. Овладение письменной формой научной коммуникации. Изучение стилистики научной статьи. Расширение словарного запаса и овладение профессиональным словарем по тематике «Химическая физика».

Для достижения целей и задач освоения дисциплины, обучающиеся должны овладеть иноязычной общепрофессиональной коммуникативной компетенцией, включающей в себя:

Этнографическую компетенцию: владение знаниями о стране изучаемого языка, ее истории и культуре, быте, выдающихся представителях, традициях и нравах; возможность страноведческого сравнения особенностей истории, культуры, обычаев своей и иной культур, понимание культурной специфики и способности объяснения причин и истоков той или иной характеристики культуры.

Лингвистическую компетенцию: способность в соответствии с нормами изучаемого языка правильно конструировать грамматические формы и синтаксические построения.

Социолингвистическую компетенцию (способность использовать и преобразовывать языковые формы в соответствии с ситуацией иноязычного общения).

Социокультурную компетенцию: способность учитывать в общении речевое и неречевое поведение, принятое в стране изучаемого языка.

Социальную компетенцию: способность взаимодействовать с партнерами по общению, владение соответствующими стратегиями.

Дискурсивную компетенцию: способность понять и достичь связности отдельных высказываний в значимых коммуникативных моделях.

Стратегическую компетенцию: умение пользоваться наиболее эффективными стратегиями при решении коммуникативных задач.

Предметную компетенцию: знание предметной информации при организации собственного высказывания или понимания высказывания других людей.

Предметно-профессиональную: способность оперировать знаниями в условиях реальной коммуникации с представителями изучаемой культуры, проявление эмпатии, как способности понять нормы, ценности и мотивы поведения представителей иной культуры.

Коммуникативную: способность устанавливать и налаживать контакты с представителями различных возрастных, социальных и других групп родной и иной лингвокультур, возможность быть медиатором между собственной и иноязычными культурами.

Прагматическую компетенцию: умение выбирать наиболее эффективный и целесообразный способ выражения мысли в зависимости от условий коммуникативного акта и поставленной задачи

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- взаимосвязь, взаимовлияние и взаимодействие языка и культуры;
- роль языка как органической части культуры в жизни человека, его поведении и общении с носителями других языков и других культур, национальной самобытности и идентичность народов;
- представление о культурно-антропологическом взгляде на человека, его образ жизни, идеи, взгляды, обычаи, систему ценностей, восприятие мира – своего и чужого;
- влияние культуры посредством языка на поведение человека, его мировосприятие и жизнь в целом;
- историю возникновения, этапы развития и методы обучения межкультурной коммуникации;
- содержание понятия «культура», её роль в процессе коммуникации, а также соотношение с такими понятиями, как «социализация», «инкультурация», «аккультурация», «ассимиляция», «поведение», «язык», «идентичность», «глобальная гражданственность»;
- влияние различных социальных трансформаций на изменение культурной идентичности;
- особенности восприятия других культур, причины предрассудков и стереотипов в межкультурном взаимодействии;
- механизмы формирования межкультурной толерантности и диалога культур;
- типы, виды, формы, модели, структурные компоненты межкультурной коммуникации;
- нормы и стили межкультурной коммуникации;



- ментальные особенности и национальные обычаи представителей различных культур, культурные стандарты этнического, политического и экономического плана;
- языковую картину мира носителей иноязычной культуры, особенности их мировидения и миропонимания;
- этические и нравственные нормы поведения в инокультурной среде;
- языковые нормы культуры устного общения, этические и нравственные нормы поведения, принятые в стране изучаемого языка; стереотипы и способы их преодоления; нормы этикета стран изучаемого языка;
- методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации;
- этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами;
- методики формирования команд; методы эффективного руководства коллективами; основные теории лидерства и стили руководства;
- правила и закономерности личной и деловой устной и письменной коммуникации; современные коммуникативные технологии на русском и иностранном языках; существующие профессиональные сообщества для профессионального взаимодействия;
- закономерности и особенности социально-исторического развития различных культур; особенности межкультурного разнообразия общества; правила и технологии эффективного межкультурного взаимодействия;
- методики самооценки, самоконтроля и саморазвития.

**уметь:**

- применять методы изучения культурных систем и межкультурных ситуаций;
- воспринимать, анализировать, интерпретировать и сравнивать факты культуры;
- определять роль базовых культурных концептов в межкультурной коммуникации;
- находить адекватные решения в различных ситуациях межкультурного общения;
- анализировать особенности межкультурной коммуникации в коллективе;
- рефлексировать ориентационную систему собственной культуры;
- распознавать и правильно интерпретировать невербальные сигналы в процессе межкультурного общения;
- составлять коммуникативный портрет представителя иной лингвокультуры;
- раскрывать значение понятий и действий в межкультурной ситуации;
- анализировать совпадения и различия в коммуникативном поведении с позиций контактируемых культур;
- адекватно реализовывать свое коммуникативное намерение в общении с представителями других лингвокультур;

- переключаться при встрече с другой культурой на другие не только языковые, но и неязыковые нормы поведения;
- определять причины коммуникативных неудач и применять способы их преодоления;
- занимать позицию партнера по межкультурному общению и идентифицировать возможный конфликт как обусловленный ценностями и нормами его культуры;
- успешно преодолевать барьеры и конфликты в общении и достигать взаимопонимания;
- раскрывать взаимосвязь и взаимовлияние языка и культуры;
- толерантно относиться к представителям других культур и языков;
- анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции;
- уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям;
- использовать модели социальных ситуаций, типичные сценарии взаимодействия участников межкультурной коммуникации;
- руководствоваться принципами культурного релятивизма и этическими нормами, предполагающими отказ от этноцентризма и уважение своеобразия иноязычной культуры и ценностных ориентаций иноязычного социума;
- преодолевать влияние стереотипов и осуществлять межкультурный диалог в общей и профессиональной сферах общения;
- моделировать возможные ситуации общения между представителями различных культур и социумов;
- применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации;
- разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла;
- разрабатывать план групповых и организационных коммуникаций при подготовке и выполнении проекта; сформулировать задачи членам команды для достижения поставленной цели; разрабатывать командную стратегию); применять эффективные стили руководства командой для достижения поставленной цели;
- применять на практике коммуникативные технологии, методы и способы делового общения для академического и профессионального взаимодействия;
- определять теоретическое и практическое значение культурно-языкового фактора при взаимодействии различных философских и научных традиций;

- понимать и толерантно воспринимать межкультурное разнообразие общества; анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия;
- решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности; применять методики самооценки и самоконтроля.

**владеть:**

- нормами этикета и поведения при общении с представителями иноязычной культуры;
- принципами толерантности при разрешении межкультурных противоречий;
- методами коммуникативных исследований, умением применять полученные знания в научно-исследовательской деятельности, устной и письменной коммуникации;
- коммуникативными стратегиями и тактиками, характерными для иных культур;
- навыками корректного межкультурного общения, самостоятельного анализа межкультурных конфликтов в процессе общения с представителями других культур и путей их разрешения;
- умением правильной интерпретации конкретных проявлений вербального и невербального коммуникативного поведения в различных культурах;
- навыками коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия;
- навыками деятельности с ориентиром на этические и нравственные нормы поведения, принятые в инокультурном социуме;
- необходимыми интеракционными и контекстными знаниями, позволяющими преодолевать влияние стереотипов и адаптироваться к изменяющимся условиям при контакте с представителями различных культур;
- методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий;
- методиками разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта;
- умением анализировать, проектировать и организовывать межличностные, групповые и организационные коммуникации в команде для достижения поставленной цели; методами организации и управления коллективом;
- методикой межличностного делового общения на русском и иностранном языках, с применением профессиональных языковых форм, средств и современных коммуникативных технологий;
- методами и навыками эффективного межкультурного взаимодействия;

– технологиями и навыками управления своей познавательной деятельностью и ее совершенствования на основе самооценки, самоконтроля и принципов самообразования в течение всей жизни.

### **Темы и разделы курса:**

#### **1. Тема 1. Стилистика и жанры научной статьи по специальности**

Особенности, характерные черты, жанры и примеры научного стиля речи. Что такое научный стиль речи, его функции и задачи. Сфера применения научного стиля. Научный стиль речи: его разновидности или подстили. Жанры научного стиля речи. Научный стиль речи: жанры собственно-научного подстиля. Жанры учебно-научного подстиля. Жанры научно-популярного подстиля. Жанры научно-информативного подстиля. Жанры научно-справочного подстиля. Научный стиль: жанры научно-технического подстиля.

#### **2. Тема 2. Термины и общенаучная лексика**

Термины и общенаучная лексика по тематическим блокам: элементарные физико-химические процессы; строение химических соединений, спектроскопия; влияние внешних факторов на физико-химические превращения; кинетика и механизм химических реакций, катализ; горение, взрыв и ударные волны; динамика фазовых переходов; электрические и магнитные свойства материалов; физические методы исследования химических реакций; химическая физика биологических процессов; химическая физика экологических процессов; химическая физика полимерных материалов; химическая физика наноматериалов; динамика транспортных процессов; реакции на поверхности.

#### **3. Тема 3. Специфика терминологии «Химическая физика»**

Специфика терминологической системы по темам: элементарные физико-химические процессы; строение химических соединений, спектроскопия; влияние внешних факторов на физико-химические превращения; кинетика и механизм химических реакций, катализ; горение, взрыв и ударные волны; динамика фазовых переходов; электрические и магнитные свойства материалов; физические методы исследования химических реакций; химическая физика биологических процессов; химическая физика экологических процессов; химическая физика полимерных материалов; химическая физика наноматериалов; динамика транспортных процессов; реакции на поверхности. .

#### **4. Тема 4. Грамматика и синтаксис научного текста**

Грамматические формы и синтаксические конструкции научного текста в английском языке. Синтаксис научного стиля. Грамматическая специфика научных текстов на английском языке.

#### **5. Тема 5. Композиция научного текста**

Понятие абзаца. Свойства абзаца: целостность, связность. Структура абзаца: тезис (topic sentence), развитие тезиса: пояснение (controlling idea) и иллюстрация (illustration), заключение (conclusion).

TRIAC (Topic, Restriction, Illustration, Analysis and Conclusion). Виды абзацев: повествование (narration), описание (description), процесс (process), определение (definition), классификация (classification), иллюстрация (illustration), сравнение (comparison/contrast). EDNA (exposition, description, narration, argumentation). Эффективные и неэффективные тезисы. Определение тезиса в структуре абзаца: упражнения. Написание эффективных тезисов к абзацам разных видов: упражнения. Эффективные и неэффективные заключения. Композиция предложения.

## 6. Тема 6. Связность научного текста

Виды эссе: повествовательное (narrative), описательное (descriptive), аналитическое (analytical), аргументирующее/рассуждение (argumentative), информативное/фактографическое (expository), причинно-следственное (cause-and-effect). Отличительные особенности основной части академических эссе: аналитического, аргументирующего, информативного, причинно-следственного. Средства когезии для достижения преемственности введения и основной части, элементов основной части академических эссе. Употребление средств когезии.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Английский язык. Комбинаторика**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение истории математики; развитие у магистрантов иноязычной компетенции для успешного взаимодействия в области изучаемой науки, способности к правильной интерпретации конкретных проявлений коммуникативного поведения в различных ситуациях профессионального контекста; практических навыков и умений в общении устного и письменного дискурса; развитие креативного и аналитического мышления для реализации проектов в области математики и информатики; преломление навыков владения английским языком к изучению и применению знаний в конкретной области науки для решения коммуникативных задач в социокультурной, академической и профессионально-деловой сферах деятельности, а также для развития профессиональных и личностных качеств выпускников магистратуры.

#### **Задачи дисциплины:**

Сформировать способность обучающегося языковыми средствами решать коммуникативные задачи в различных ситуациях профессионального и общекультурного взаимодействия, осуществлять межличностное и профессиональное общение на иностранном языке с учётом особенностей культуры изучаемого языка, а также умение преодолевать межкультурные различия в ситуациях социального и профессионального общения; развивать способность аккумулировать предметные знания и оперировать ими в иноязычной коммуникации; расширять знания в изучаемой области для глубокого понимания терминологического корпуса, области применения комбинаторики, развития, перспектив и вызовов; приобретать новые знания об основах комбинаторики.

Для достижения целей и задач освоения дисциплины, обучающиеся должны овладеть иноязычной общепрофессиональной коммуникативной компетенцией, включающей в себя:

Лингвистическую компетенцию: способность в соответствии с нормами изучаемого языка правильно конструировать грамматические формы и синтаксические построения.

Социолингвистическую компетенцию (способность использовать и преобразовывать языковые формы в соответствии с ситуацией иноязычного общения).

Социокультурную компетенцию: способность учитывать в общении речевое и неречевое поведение, принятое в стране изучаемого языка.

Социальную компетенцию: способность взаимодействовать с партнерами по общению, владение соответствующими стратегиями.

Дискурсивную компетенцию (способность понять и достичь связности отдельных высказываний в значимых коммуникативных моделях)

Стратегическую компетенцию: умение пользоваться наиболее эффективными стратегиями при решении коммуникативных задач.

Предметную компетенцию: знание предметной информации при организации собственного высказывания или понимания высказывания других людей.

Прагматическую компетенцию: умение выбирать наиболее эффективный и целесообразный способ выражения мысли в зависимости от условий коммуникативного акта и поставленной задачи.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- взаимосвязь, взаимовлияние и взаимодействие языка и культуры;
- роль языка как органической части культуры в жизни человека, его поведении и общении с носителями других языков и других культур, национальной самобытности и идентичность народов;
- представление о культурно-антропологическом взгляде на человека, его образ жизни, идеи, взгляды, обычаи, систему ценностей, восприятие мира – своего и чужого;
- влияние культуры посредством языка на поведение человека, его мировосприятие и жизнь в целом;
- историю возникновения, этапы развития и методы обучения межкультурной коммуникации;
- содержание понятия «культура», её роль в процессе коммуникации, а также соотношение с такими понятиями, как «социализация», «инкультурация», «аккультурация», «ассимиляция», «поведение», «язык», «идентичность», «глобальная гражданственность»;
- влияние различных социальных трансформаций на изменение культурной идентичности;
- особенности восприятия других культур, причины предрассудков и стереотипов в межкультурном взаимодействии;
- механизмы формирования межкультурной толерантности и диалога культур;
- типы, виды, формы, модели, структурные компоненты межкультурной коммуникации;
- нормы и стили межкультурной коммуникации;
- ментальные особенности и национальные обычаи представителей различных культур, культурные стандарты этнического, политического и экономического плана;
- языковую картину мира носителей иноязычной культуры, особенности их мировидения и миропонимания;

- этические и нравственные нормы поведения в инокультурной среде;
- языковые нормы культуры устного общения, этические и нравственные нормы поведения, принятые в стране изучаемого языка; стереотипы и способы их преодоления; нормы этикета стран изучаемого языка;
- методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации;
- этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами;
- методики формирования команд; методы эффективного руководства коллективами; основные теории лидерства и стили руководства;
- правила и закономерности личной и деловой устной и письменной коммуникации; современные коммуникативные технологии на русском и иностранном языках; существующие профессиональные сообщества для профессионального взаимодействия;
- закономерности и особенности социально-исторического развития различных культур; особенности межкультурного разнообразия общества; правила и технологии эффективного межкультурного взаимодействия;
- методики самооценки, самоконтроля и саморазвития.

**уметь:**

- применять методы изучения культурных систем и межкультурных ситуаций;
- воспринимать, анализировать, интерпретировать и сравнивать факты культуры;
- определять роль базовых культурных концептов в межкультурной коммуникации;
- находить адекватные решения в различных ситуациях межкультурного общения;
- анализировать особенности межкультурной коммуникации в коллективе;
- рефлексировать ориентационную систему собственной культуры;
- распознавать и правильно интерпретировать невербальные сигналы в процессе межкультурного общения;
- составлять коммуникативный портрет представителя иной лингвокультуры;
- раскрывать значение понятий и действий в межкультурной ситуации;
- анализировать совпадения и различия в коммуникативном поведении с позиций контактируемых культур;
- адекватно реализовывать свое коммуникативное намерение в общении с представителями других лингвокультур;
- переключаться при встрече с другой культурой на другие не только языковые, но и неязыковые нормы поведения;
- определять причины коммуникативных неудач и применять способы их преодоления;



- занимать позицию партнера по межкультурному общению и идентифицировать возможный конфликт как обусловленный ценностями и нормами его культуры;
- успешно преодолевать барьеры и конфликты в общении и достигать взаимопонимания;
- раскрывать взаимосвязь и взаимовлияние языка и культуры;
- толерантно относиться к представителям других культур и языков;
- анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции;
- уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям;
- использовать модели социальных ситуаций, типичные сценарии взаимодействия участников межкультурной коммуникации;
- руководствоваться принципами культурного релятивизма и этическими нормами, предполагающими отказ от этноцентризма и уважение своеобразия иноязычной культуры и ценностных ориентаций иноязычного социума;
- преодолевать влияние стереотипов и осуществлять межкультурный диалог в общей и профессиональной сферах общения;
- моделировать возможные ситуации общения между представителями различных культур и социумов;
- применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации;
- разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла;
- разрабатывать план групповых и организационных коммуникаций при подготовке и выполнении проекта; сформулировать задачи членам команды для достижения поставленной цели; разрабатывать командную стратегию); применять эффективные стили руководства командой для достижения поставленной цели;
- применять на практике коммуникативные технологии, методы и способы делового общения для академического и профессионального взаимодействия;
- определять теоретическое и практическое значение культурно-языкового фактора при взаимодействии различных философских и научных традиций;
- понимать и толерантно воспринимать межкультурное разнообразие общества; анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия;
- решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности; применять методики самооценки и самоконтроля.

**владеть:**

- нормами этикета и поведения при общении с представителями иноязычной культуры;
- принципами толерантности при разрешении межкультурных противоречий;
- методами коммуникативных исследований, умением применять полученные знания в научно-исследовательской деятельности, устной и письменной коммуникации;
- коммуникативными стратегиями и тактиками, характерными для иных культур;
- навыками корректного межкультурного общения, самостоятельного анализа межкультурных конфликтов в процессе общения с представителями других культур и путей их разрешения;
- умением правильной интерпретации конкретных проявлений вербального и невербального коммуникативного поведения в различных культурах;
- навыками коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия;
- навыками деятельности с ориентиром на этические и нравственные нормы поведения, принятые в инокультурном социуме;
- необходимыми интеракционными и контекстными знаниями, позволяющими преодолевать влияние стереотипов и адаптироваться к изменяющимся условиям при контакте с представителями различных культур;
- методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий;
- методиками разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта;
- умением анализировать, проектировать и организовывать межличностные, групповые и организационные коммуникации в команде для достижения поставленной цели; методами организации и управления коллективом;
- методикой межличностного делового общения на русском и иностранном языках, с применением профессиональных языковых форм, средств и современных коммуникативных технологий;
- методами и навыками эффективного межкультурного взаимодействия;
- технологиями и навыками управления своей познавательной деятельностью и ее совершенствования на основе самооценки, самоконтроля и принципов самообразования в течение всей жизни.

## **Темы и разделы курса:**

### **1. Математика как наука**

История развития математики как науки. Выдающиеся ученые и фундаментальные открытия. Связь математики с другими науками. Базовые арифметические операции. Понятие числа. История чисел. Числовые системы. Аксиомы. Логика и доказательства. Определения. Разнообразие теорий.

Коммуникативные задачи: рассуждать на тему развития математики как науки; делать сообщения о выдающихся открытиях в области математики и информатики; участвовать в ролевой игре на тему “Выдающиеся математики разных эпох”; обмениваться мнениями по поводу связи математики с другими науками; участвовать в дебатах, посвященных теме открытия или изобретения математики; оперировать основными математическими понятиями; анализировать различные системы чисел; участвовать в беседе на тему эволюции числа как базовой математической составляющей.

## 2. Научные открытия и достижения в области математики и информатики

Научно-техническая революция. Противоречивость научно-технического прогресса. Развитие информационных технологий. Естественные науки во второй половине XX – начале XXI в. Новые подходы к объяснению мира. Теория игр Джона фон Неймана. Теория множеств Жордана. Теория алгоритмов. Графические процессоры (GPU). Хранящая процедура машинного обучения в базах данных (PL/Python).

Коммуникативные задачи: участвовать в дискуссии на тему научно-технической революции; строить логические высказывания о противоречиях научно-технического прогресса; рассказывать о научных открытиях в области математики и информатики; анализировать новые подходы к объяснению мира; осуществлять поиск необходимой информации по тематике; найти и предложить группе для решения комбинаторную задачу.

## 3. Основы комбинаторики

История комбинаторики. Возможное и невозможное в комбинаторике. Базовые понятия комбинаторики. Пермутация. Перечисление комбинаций. Понятие факториала. Биномиальный коэффициент. Задачи на разбиение. Формулы. Размещения. Принцип включения и исключения. Принцип Дирихле.

Коммуникативные задачи: обсуждать и оперировать основными понятиями комбинаторики; решать кейсы/задачи по комбинаторике различного типа и объяснять их решение; в малых группах обмениваться мнениями о возможности применения того или подхода при решении комбинаторных задач; выразить аргументированное мнение при решении логической загадки на примере TED Talk Riddles; суммировать основные идеи научной статьи.

## 4. Комбинаторика и теория графов

Основные понятия теории графов. Эйлеровы графы. Гамильтоновы графы. Кратчайшие пути. Деревья. Планарные графы. Раскраска графов. Размеры графов. Комбинаторные объекты и методы их комбинирования и перестановки. Теория сетей, связность, оптимизация.

Коммуникативные задачи: участвовать в беседе по теории графов, приводить доказательство теорем по теории графов, описывать построение Эйлера цикла; в малых группах обсуждать и предлагать решение задачи почтальона для разных видов графов; формулировать в комбинаторных терминах задачи, связанные с дискретными объектами; применять основные алгоритмы дискретной оптимизации; высказываться о возможных способах декодирования шифров, решения других проблем теории информации.

## 5. Область применения комбинаторики

Связь комбинаторики с другими науки. Теория игр. Теория вероятности. Криптография. Анализ сложности различных алгоритмов. Статистическая физика. Количество комбинаций. Наборы. Образование упорядоченных множеств.

Коммуникативные задачи: обсуждать решения типовых комбинаторных задач; участвовать в “мозговом” штурме и делать устное сообщение на тему “ Область применения комбинаторики”; обмениваться мнениями о возможности расширения области применения комбинаторики; в малых группах обсудить культурную ценность комбинаторики в разных странах мира и представить свою точку зрения группе; участвовать в ролевой игре по решению комбинаторной задачи в повседневной жизни; сравнить комбинаторные методы, используемые в различных отраслях, выявить и обсудить в малых группах схожие черты и различия.

#### 6. Производящие функции

Числа Фибоначчи, определение и обозначение. Золотое сечение. Числа Каталана, рекуррентная и явная формулы. Приложения: правильные скобочные последовательности, количество триангуляций выпуклого многоугольника, количество способов соединения точек на окружности непересекающимися хордам.

Коммуникативные задачи: аргументированно объяснить значимость чисел Фибоначчи и золотого сечения в различных сферах жизнедеятельности человека (кибернетика, информатика, техника, архитектура, искусство, биология); участвовать в обсуждении темы; формулировать вопросы по существу обсуждаемой проблемы.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Английский язык. Лидерство и коммуникация в науке, индустрии и образовании**

#### **Цель дисциплины:**

Формирование и развитие социальных, деловых, культурных и профессионально-ориентированных коммуникативных компетенций по общеевропейской шкале уровней владения иностранными языками для решения коммуникативных задач в социокультурной, академической и профессионально-деловой сферах деятельности, а также для развития профессиональных и личностных качеств выпускников магистратуры.

#### **Задачи дисциплины:**

Сформировать способность обучающегося языковыми средствами решать коммуникативные задачи в различных ситуациях межкультурного общения, осуществлять межличностное и профессиональное общение на иностранном языке с учётом особенностей культуры изучаемого языка, а также умение преодолевать межкультурные различия в ситуациях в ситуациях социального и профессионального общения. Для достижения целей и задач освоения дисциплины, обучающиеся должны овладеть иноязычной общепрофессиональной коммуникативной компетенцией, включающей в себя:

Лингвистическую компетенцию: способность в соответствии с нормами изучаемого языка правильно конструировать грамматические формы и синтаксические построения.

Социолингвистическую компетенцию (способность использовать и преобразовывать языковые формы в соответствии с ситуацией иноязычного общения).

Социокультурную компетенцию: способность учитывать в общении речевое и неречевое поведение, принятое в стране изучаемого языка.

Социальную компетенцию: способность взаимодействовать с партнерами по общению, владение соответствующими стратегиями.

Дискурсивную компетенцию (способность понять и достичь связности отдельных высказываний в значимых коммуникативных моделях)

Стратегическую компетенцию: умение пользоваться наиболее эффективными стратегиями при решении коммуникативных задач.

Предметную компетенцию: знание предметной информации при организации собственного высказывания или понимания высказывания других людей.

Прагматическую компетенцию: умение выбирать наиболее эффективный и целесообразный способ выражения мысли в зависимости от условий коммуникативного акта и поставленной задачи.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- методы системного и критического анализа;
- методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации;
- этапы жизненного цикла проекта;
- этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами;
- методики формирования команд;
- методы эффективного руководства коллективами, характеристику коммуникативного поведения в процессе межкультурной коммуникации;
- основные теории лидерства и стили руководства;
- правила и закономерности личной и деловой иноязычной устной и письменной коммуникации;
- современные коммуникативные технологии на русском и иностранном языках, культурно обусловленные особенности общения в процессе межкультурной коммуникации;
- существующие профессиональные сообщества для профессионального взаимодействия;
- закономерности и особенности социально-исторического развития различных культур;
- особенности межкультурного разнообразия общества;
- правила и технологии эффективного межкультурного взаимодействия; методики самооценки, самоконтроля и саморазвития.

#### **уметь:**

- применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций;
- осуществлять поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации и разрабатывать стратегию действий для достижения поставленной цели, принимать конкретные решения для ее реализации, используя навыки иноязычной устной и письменной речи;
- оценивать влияние принятых решений на внешнее окружение планируемой деятельности и взаимоотношения участников этой деятельности;
- разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ;

- формулировать цели и задачи, актуальность, значимость, связанные с подготовкой и реализацией проекта, ожидаемые результаты и возможные сферы их применения, используя навыки иноязычной устной и письменной речи;
- управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла;
- организовать и координировать работу с учетом разнообразия культур участников проекта;
- разрабатывать план групповых и организационных коммуникаций при подготовке и выполнении проекта;
- сформулировать задачи членам команды для достижения поставленной цели; разрабатывать командную стратегию, используя навыки иноязычной устной и письменной речи;
- применять эффективные стили руководства командой для достижения поставленной цели;
- обмениваться деловой информацией в устной и письменной формах на изучаемом языке;
- представлять результаты академической, научной и профессиональной деятельности на различных мероприятиях, включая международные;
- применять на практике коммуникативные технологии, методы и способы делового общения для академического и профессионального взаимодействия;
- выявлять специфику философских и научных традиций основных мировых культур, понимать и толерантно воспринимать межкультурное разнообразие общества;
- анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия;
- решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности;
- применять методики самооценки и самоконтроля; применять методики, позволяющие улучшить и сохранить здоровье в процессе жизнедеятельности.

**Владеть:**

- методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций;
- методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий, используя навыки иноязычной устной и письменной речи;
- методиками разработки и управления проектом, прогнозирования результатов деятельности, используя навыки иноязычной устной и письменной речи;
- методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта, используя навыки иноязычной устной и письменной речи;
- умением анализировать, проектировать и организовывать межличностные, групповые и организационные коммуникации в команде для достижения поставленной цели;
- методами организации и управления коллективом, применяя навыки межкультурного взаимодействия на изучаемом языке;

- методикой межличностного делового общения на изучаемом языке, с применением профессиональных языковых форм, средств и современных коммуникативных технологий для академического, научного и профессионального взаимодействия;
- методами и навыками эффективного межкультурного взаимодействия;
- навыками, необходимыми для написания письменного перевода и редактирования различных академических текстов (рефератов, эссе, обзоров, статей и т.д.);
- способностью определять теоритическое и практическое значение культурно-язычного фактора при взаимодействии различных философских и научных традиций;
- технологиями и навыками управления своей познавательной деятельностью и ее совершенствования на основе самооценки, самоконтроля и принципов самообразования в течение всей жизни.

### **Темы и разделы курса:**

#### **1. Тема 1. Новая реальность концепции лидерства**

Лидерство в современном обществе, науке, индустрии, образовании. Современные концепции лидерства. Типы лидерства и личностные характеристики лидера. Технологии лидерства. Команда как социальная группа. Принципы командообразования, роли и задачи внутри команды. Роль лидера в команде, лидерская коммуникация. Эффективные и дисфункциональные модели лидерской коммуникации. Организация межличностных, групповых и организационных коммуникаций в команде. Команда и мотивация, обратная связь.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах:

обсуждать основные принципы работы в команде; дискутировать об эффективном командном взаимодействии; приводить аргументы определения «командного духа»; сотрудничать, кооперироваться, выражать свою точку зрения, конструктивно преодолевать разногласия, использовать потенциал группы и достигать коллективных результатов работы; использовать методы коммуникативного общения и значительно увеличивать эффективность работы многонациональной команды; устанавливать наиболее эффективные правила коммуникации при взаимодействии с командой; задавать уточняющие вопросы, подводя собеседника к своему мнению; проводить интервью, выстраивая систему эффективного взаимодействия при обсуждении заданной темы; выступать посредником при возникновении разногласий и успешно их решать; создавать вокруг себя атмосферу дружелюбности и открытости; убедительно излагать суждение и влиять на мнение собеседника; распознавать потребности и интересы собеседника и отталкиваться от них в процессе диалога.

#### **2. Тема 2. Феномен научного лидерства в современном мире**

Научное лидерство и его исторические трансформации. Научный потенциал и лидерство в науке. Коммуникативная природа лидерства в науке, как специфическая модель. Мировые лидеры в области науки и технологий. Программа стратегического академического лидерства «Приоритет 2030» - лидерство в создании нового научного знания. Цели программы. Задачи программы. Приоритеты программы.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах:



описывать и обсуждать эффективные модели лидерской коммуникации; дискутировать об условиях, способствующих конкурентоспособности и научному лидерству; аргументировать выбор эффективных приемов в научной коммуникации; обсуждать их особенности; обсуждать основные характеристики выбранного приема; оценивать модели лидерской коммуникации и эффективные приемы в научной коммуникации; описывать и обсуждать цели, задачи и приоритеты программы академического лидерства; описывать этапы исследовательского проекта.

### 3. Тема 3. Лидерство в образовании, науке и индустрии

Успешная карьера в университете. Программа «Лидеры России». Программа «Школа ректоров». Разработка стратегических планов развития университета. Связь науки, технологий и образования в университетах. Кадровый резерв. Исследовательское лидерство. Создание научных школ. Научные проекты в образовании. Проект МФТИ «Таланты в регионах». Институт наставничества в науке, образовании, предпринимательстве. Практики научного, образовательного и корпоративного волонтерства.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах:

обсуждать принципы современного научного лидерства, функции и компетенции лидера в образовании, науке, индустрии; дискутировать об ответственности за результаты и последствия своей научной деятельности; приводить аргументы определения «научная этика»; координировать усилия всех участников проекта (команды, рабочей группы), делегировать полномочия; прогнозировать возможное развитие технологической системы с точки зрения влияния технологий на общество; раскрывать взаимосвязь между стилем руководства на эффективность внедрения инноваций; анализировать итоги реализации масштабных проектов в сфере науки и образования и их влияние на научно-технологическое развитие страны; определять условия раскрытия лидерского потенциала; использовать эффективные стратегии коммуникативного поведения лидера в науке, образовании и индустрии.

### 4. Тема 4. Научные, образовательные и научно-технические проекты

Особенности команды научного, образовательного, научно-технического проекта. Профессиональная коммуникация в проектной команде. Цели, задачи, содержание, основные требования к реализации проекта, ожидаемые результаты; научная, научно-техническая и практическая ценность. Возможности и решения, необходимые ресурсы для реализации проекта.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах:

обсуждать этапы реализации научного-технологического и бизнес-проекта; дискутировать о принципах распределения ролей в проектной команде; формировать команду на основе общей профессиональной траектории на основе принципов командообразования; создавать групповой проект с учетом жанровых особенностей плана исследования, бизнес-плана, технологического решения и др.; высказывать аргументы в пользу выбора того или иного совместного рабочего пространства; распознавать адекватные стратегии межличностной коммуникации в команде и использовать их при подготовке группового проекта; оказывать убеждающее воздействие на членов команды; приводить рациональные доводы в защиту своей позиции; вести дискуссию, основанную на принципах экологичного общения:

адекватно выражать согласие и несогласие, использовать эффективные стратегии взаимодействия с недружелюбной аудиторией, создавать продуктивную рабочую атмосферу, избегая конфликтов и разногласий; осуществлять выбор подходящего способа представления проекта; защищать проект, оказывая вербальное и невербальное воздействие на экспертов и представителей широкой аудитории; обосновывать актуальность, теоретическую, практическую, социальную значимость проекта, его инвестиционную привлекательность и конкурентные преимущества.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Английский язык. Межкультурная коммуникация**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение культуры различных стран; формирование культуры мышления, общения и речи, иноязычной коммуникативной компетенции, как основы межкультурного и уважительного отношения к духовным, национальным, иным ценностям других стран и народов; развитие у магистрантов культурной восприимчивости, способности к правильной интерпретации конкретных проявлений коммуникативного поведения в различных ситуациях межкультурных контактов практических навыков и умений в общении с представителями других культур, способности к правильной интерпретации конкретных проявлений коммуникативного поведения и толерантного отношения к нему; овладение необходимым и достаточным уровнем межкультурного взаимодействия для решения коммуникативных и социальных задач в различных областях культурной, повседневной, академической и профессиональной деятельности, в общении с представителями других культур.

#### **Задачи дисциплины:**

Сформировать способность обучающегося языковыми средствами решать коммуникативные задачи в различных ситуациях межкультурного общения, осуществлять межличностное и профессиональное общение на иностранном языке с учётом особенностей культуры изучаемого языка, а также умение преодолевать межкультурные различия в ситуациях в ситуациях общебытового, социального и профессионального общения; развивать способность рефлексировать собственную и иноязычную культуру, что изначально подготавливает к благожелательному отношению к проявлениям культуры изучаемого языка; расширять знания о соответствующей культуре для глубокого понимания диахронических и синхронических отношений между собственной и культурой изучаемого языка; приобретать новые знания об условиях социализации и инкультурации в собственной и иноязычной культуре, о социальной стратификации, социокультурных формах взаимодействия, принятых в общающихся культурах.

Для достижения целей и задач освоения дисциплины, обучающиеся должны овладеть иноязычной общепрофессиональной коммуникативной компетенцией, включающей в себя:

Этнографическую компетенцию: владение знаниями о стране изучаемого языка, ее истории и культуре, быте, выдающихся представителях, традициях и нравах; возможность страноведческого сравнения особенностей истории, культуры, обычаев своей и иной культур, понимание культурной специфики и способности объяснения причин и истоков той или иной характеристики культуры.

Лингвистическую компетенцию: способность в соответствии с нормами изучаемого языка правильно конструировать грамматические формы и синтаксические построения.

Социолингвистическую компетенцию (способность использовать и преобразовывать языковые формы в соответствии с ситуацией иноязычного общения).

Социокультурную компетенцию: способность учитывать в общении речевое и неречевое поведение, принятое в стране изучаемого языка.

Социальную компетенцию: способность взаимодействовать с партнерами по общению, владение соответствующими стратегиями.

Дискурсивную компетенцию: способность понять и достичь связности отдельных высказываний в значимых коммуникативных моделях.

Стратегическую компетенцию: умение пользоваться наиболее эффективными стратегиями при решении коммуникативных задач.

Предметную компетенцию: знание предметной информации при организации собственного высказывания или понимания высказывания других людей.

Предметно-профессиональную: способность оперировать знаниями в условиях реальной коммуникации с представителями изучаемой культуры, проявление эмпатии, как способности понять нормы, ценности и мотивы поведения представителей иной культуры.

Коммуникативную: способность устанавливать и налаживать контакты с представителями различных возрастных, социальных и других групп родной и иной лингвокультур, возможность быть медиатором между собственной и иноязычными культурами.

Прагматическую компетенцию: умение выбирать наиболее эффективный и целесообразный способ выражения мысли в зависимости от условий коммуникативного акта и поставленной задачи

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- взаимосвязь, взаимовлияние и взаимодействие языка и культуры;
- роль языка как органической части культуры в жизни человека, его поведении и общении с носителями других языков и других культур, национальной самобытности и идентичность народов;
- представление о культурно-антропологическом взгляде на человека, его образ жизни, идеи, взгляды, обычаи, систему ценностей, восприятие мира – своего и чужого;
- влияние культуры посредством языка на поведение человека, его мировосприятие и жизнь в целом;
- историю возникновения, этапы развития и методы обучения межкультурной коммуникации;
- содержание понятия «культура», её роль в процессе коммуникации, а также соотношение с такими понятиями, как «социализация», «инкультурация»,

«аккультурация», «ассимиляция», «поведение», «язык», «идентичность», «глобальная гражданственность»;

- влияние различных социальных трансформаций на изменение культурной идентичности;
- особенности восприятия других культур, причины предрассудков и стереотипов в межкультурном взаимодействии;
- механизмы формирования межкультурной толерантности и диалога культур;
- типы, виды, формы, модели, структурные компоненты межкультурной коммуникации;
- нормы и стили межкультурной коммуникации;
- ментальные особенности и национальные обычаи представителей различных культур, культурные стандарты этнического, политического и экономического плана;
- языковую картину мира носителей иноязычной культуры, особенности их мировидения и миропонимания;
- этические и нравственные нормы поведения в инокультурной среде;
- языковые нормы культуры устного общения, этические и нравственные нормы поведения, принятые в стране изучаемого языка; стереотипы и способы их преодоления; нормы этикета стран изучаемого языка;
- методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации;
- этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами;
- методики формирования команд; методы эффективного руководства коллективами; основные теории лидерства и стили руководства;
- правила и закономерности личной и деловой устной и письменной коммуникации; современные коммуникативные технологии на русском и иностранном языках; существующие профессиональные сообщества для профессионального взаимодействия;
- закономерности и особенности социально-исторического развития различных культур; особенности межкультурного разнообразия общества; правила и технологии эффективного межкультурного взаимодействия;
- методики самооценки, самоконтроля и саморазвития.

**уметь:**

- применять методы изучения культурных систем и межкультурных ситуаций;
- воспринимать, анализировать, интерпретировать и сравнивать факты культуры;
- определять роль базовых культурных концептов в межкультурной коммуникации;
- находить адекватные решения в различных ситуациях межкультурного общения;

- анализировать особенности межкультурной коммуникации в коллективе;
- рефлексировать ориентационную систему собственной культуры;
- распознавать и правильно интерпретировать невербальные сигналы в процессе межкультурного общения;
- составлять коммуникативный портрет представителя иной лингвокультуры;
- раскрывать значение понятий и действий в межкультурной ситуации;
- анализировать совпадения и различия в коммуникативном поведении с позиций контактируемых культур;
- адекватно реализовывать свое коммуникативное намерение в общении с представителями других лингвокультур;
- переключаться при встрече с другой культурой на другие не только языковые, но и неязыковые нормы поведения;
- определять причины коммуникативных неудач и применять способы их преодоления;
- занимать позицию партнера по межкультурному общению и идентифицировать возможный конфликт как обусловленный ценностями и нормами его культуры;
- успешно преодолевать барьеры и конфликты в общении и достигать взаимопонимания;
- раскрывать взаимосвязь и взаимовлияние языка и культуры;
- толерантно относиться к представителям других культур и языков;
- анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции;
- уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям;
- использовать модели социальных ситуаций, типичные сценарии взаимодействия участников межкультурной коммуникации;
- руководствоваться принципами культурного релятивизма и этическими нормами, предполагающими отказ от этноцентризма и уважение своеобразия иноязычной культуры и ценностных ориентаций иноязычного социума;
- преодолевать влияние стереотипов и осуществлять межкультурный диалог в общей и профессиональной сферах общения;
- моделировать возможные ситуации общения между представителями различных культур и социумов;
- применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации;
- разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать

задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла;

– разрабатывать план групповых и организационных коммуникаций при подготовке и выполнении проекта; сформулировать задачи членам команды для достижения поставленной цели; разрабатывать командную стратегию); применять эффективные стили руководства командой для достижения поставленной цели;

– применять на практике коммуникативные технологии, методы и способы делового общения для академического и профессионального взаимодействия;

– определять теоретическое и практическое значение культурно-языкового фактора при взаимодействии различных философских и научных традиций;

– понимать и толерантно воспринимать межкультурное разнообразие общества; анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия;

– решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности; применять методики самооценки и самоконтроля.

#### **владеть:**

– нормами этикета и поведения при общении с представителями иноязычной культуры;

– принципами толерантности при разрешении межкультурных противоречий;

– методами коммуникативных исследований, умением применять полученные знания в научно-исследовательской деятельности, устной и письменной коммуникации;

– коммуникативными стратегиями и тактиками, характерными для иных культур;

– навыками корректного межкультурного общения, самостоятельного анализа межкультурных конфликтов в процессе общения с представителями других культур и путей их разрешения;

– умением правильной интерпретации конкретных проявлений вербального и невербального коммуникативного поведения в различных культурах;

– навыками коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия;

– навыками деятельности с ориентиром на этические и нравственные нормы поведения, принятые в инокультурном социуме;

– необходимыми интеракционными и контекстными знаниями, позволяющими преодолевать влияние стереотипов и адаптироваться к изменяющимся условиям при контакте с представителями различных культур;

– методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий;

- методиками разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта;
- умением анализировать, проектировать и организовывать межличностные, групповые и организационные коммуникации в команде для достижения поставленной цели; методами организации и управления коллективом;
- методикой межличностного делового общения на русском и иностранном языках, с применением профессиональных языковых форм, средств и современных коммуникативных технологий;
- методами и навыками эффективного межкультурного взаимодействия;
- технологиями и навыками управления своей познавательной деятельностью и ее совершенствования на основе самооценки, самоконтроля и принципов самообразования в течение всей жизни.

## **Темы и разделы курса:**

### 1. Тема 1. Культура и язык

Основополагающие принципы межкультурной коммуникации и диалога культур. Культурная картина мира: представление о ценностях, нормах, нравах собственной культуры и культур других народов. Типы отношений между культурами. Языковая система. Коммуникативная функция языка. Различные формы языкового общения. Человеческая речь как средство передачи и получения основной массы жизненно важной информации. Соотношение человеческой речи и языковой системы в целом. Значение языка в культуре народов. Язык как специфическое средство хранения и передачи информации, а также управления человеческим поведением. Взаимосвязь языка, культуры и коммуникации. Культура языка, коммуникации языковой личности, идентичность, стереотипы сознания, картины мира и др.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: объяснять ценности, этические нормы своей культуры и нормы других культур; обсуждать особенности и типы отношений между культурами; обсуждать важность учета различий средств передачи информации, коммуникативных стилей, присущих другим культурам; высказывать гипотезы и свою точку зрения о взаимодействии языка и культуры.

### 2. Тема 2. Типология культур

Основополагающие принципы межкультурной коммуникации и диалога культур. Культурная картина мира: представление о ценностях, нормах, нравах собственной культуры и культур других народов. Типы отношений между культурами. Параметрическая модель культуры Г. Хофстеде. Теория культурных стандартов А. Томаса. Дифференциации культур по Р. Льюису и Ф. Тромпенаарсу. Стереотипы восприятия, предрассудки и их функции, значение для межкультурной коммуникации. Толерантность в межкультурной коммуникации.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: объяснять отличия в типах культур; дискутировать об особенностях культурных стандартов, моделей, концепций; описывать ценности, нормы, нравы собственной



культуры и культур других народов; анализировать совпадения и различия в коммуникативном поведении с позиций контактируемых культур; занимать позицию партнера по межкультурному общению и идентифицировать возможный конфликт как обусловленный ценностями и нормами его культуры; обсуждать возможные проблемы общения с представителем иной культуры и пути их разрешения в процессе анализа кейсов.

### 3. Тема 3. Сущность и виды межкультурной коммуникации

Существующие культурные различия между разными людьми. Преодоление межкультурных различий как главная цель общения людей. Когнитивные, социальные и коммуникационные стили межкультурной коммуникации. Вербальная и невербальная коммуникация. Формы и способы вербальной, невербальной коммуникации. Паравербальная коммуникация. Национально-культурные особенности вербального и невербального коммуникативного поведения в разных культурах.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: описывать события, концепты (пространство, время, личность, быт и др.) с точки зрения своей и иноязычной культуры; обсуждать средства вербальной и невербальной межкультурной коммуникации; находить сходства и различия в способах межкультурной коммуникации, типичных для иноязычной и своей культуры; моделировать особенности коммуникативного поведения представителей своей и иной культур в ролевой игре.

### 4. Тема 4. Межкультурная научная коммуникация

Формы научной и межкультурной коммуникации: устная, письменная, формальная, неформальная. Научная коммуникация: межкультурный аспект. Межкультурная научная коммуникация и проблемы перевода. Научный текст как предметно-знаковая модель в монокультурной и межкультурной среде. Возникающие трудности и противоречия при восприятии и понимании иноязычных текстов.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: описывать сходства и отличия в иноязычной и родной научной коммуникации; использовать культурные стандарты в ситуациях устной и письменной межкультурной научной коммуникации; трансформировать научные тексты (из устной речи в письменную, из официально-делового стиля в разговорный и т.д.); переводить научные тексты с учетом культурного контекста и жанрово-стилевой принадлежности.

### 5. Тема 5. Международная академическая мобильность

Академическая мобильность как инструмент межкультурной коммуникации. Значение межкультурной коммуникации для академической мобильности. Особенности социальной и академической адаптации в условиях академической мобильности. Межкультурная коммуникация и коммуникативная компетенция в процессе академической мобильности.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: обсуждать преимущества международной академической мобильности; приводить примеры академической мобильности в иноязычной и родной культуре; решать проблемные вопросы, связанные с культурной адаптацией в международной академической среде; участвовать в ролевой игре по типичным ситуациям международной академической мобильности.

### 6. Тема 6. Межкультурная коммуникация в бизнесе

Особенности этикета и делового общения разных стран. Общие принципы делового этикета. Национальные особенности деловых переговоров. Сравнение этикета деловых переговоров. Европейский и азиатский стили общения. Общие особенности делового этикета в азиатских странах. Влияния различных культурных факторов на развитие бизнеса компаний, планирующих выход на зарубежные рынки. Коммуникативные стратегии для достижения взаимопонимания в международном бизнесе. Работа с китайскими партнерами. Знание культурных особенностей как конкурентное преимущество. Участие в международных проектах и программах. Работа в международной команде.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: описывать корпоративные культуры, нормы делового этикета и поведения, принятые в родной и другой стране; решать типичные проблемные ситуации в межкультурном деловом общении; использовать эффективные стратегии межличностного общения в межкультурном деловом общении; писать деловое электронное письмо зарубежному партнеру с учетом его культурной принадлежности; вести переговоры с представителями иной лингвокультуры.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Английский язык. Основы искусственного интеллекта в современной науке**

#### **Цель дисциплины:**

Изучить основные направления развития искусственного интеллекта как перспективного раздела науки о данных: методы интеллектуального анализа больших данных, методы машинного обучения, методы представления и первичной обработки данных, термины, возможности, ограничения и технологии, применение методов искусственного интеллекта в научных исследованиях и иных сферах человеческой деятельности.

#### **Задачи дисциплины:**

Сформировать способность обучающегося языковыми средствами решать коммуникативные задачи в профессиональном межкультурном общении, осуществлять межличностное и профессиональное общение на иностранном языке с учётом особенностей культуры изучаемого языка, а также умение преодолевать межкультурные различия в ситуациях социального и профессионального общения; научить владеть специализированной лексикой, понимать и описывать ситуации применения искусственного интеллекта в различных областях знаний таких как: государственное управление, образование, здравоохранение, наука, транспорт, промышленность, коммерция; необходимость его использования и развития.

Для достижения целей и задач освоения дисциплины, обучающиеся должны овладеть иноязычной общепрофессиональной коммуникативной компетенцией, включающей в себя:

Этнографическую компетенцию: владение знаниями о стране изучаемого языка, ее истории и культуре, быте, выдающихся представителях, традициях и нравах; возможность страноведческого сравнения особенностей истории, культуры, обычаев своей и иной культур, понимание культурной специфики и способности объяснения причин и истоков той или иной характеристики культуры.

Лингвистическую компетенцию: способность в соответствии с нормами изучаемого языка правильно конструировать грамматические формы и синтаксические построения.

Социолингвистическую компетенцию (способность использовать и преобразовывать языковые формы в соответствии с ситуацией иноязычного общения).

Социокультурную компетенцию: способность учитывать в общении речевое и неречевое поведение, принятое в стране изучаемого языка.

Социальную компетенцию: способность взаимодействовать с партнерами по общению, владение соответствующими стратегиями.

Дискурсивную компетенцию: способность понять и достичь связности отдельных высказываний в значимых коммуникативных моделях.

Стратегическую компетенцию: умение пользоваться наиболее эффективными стратегиями при решении коммуникативных задач.

Предметную компетенцию: знание предметной информации при организации собственного высказывания или понимания высказывания других людей.

Предметно-профессиональную: способность оперировать знаниями в условиях реальной коммуникации с представителями изучаемой культуры, проявление эмпатии, как способности понять нормы, ценности и мотивы поведения представителей иной культуры.

Коммуникативную: способность устанавливать и налаживать контакты с представителями различных возрастных, социальных и других групп родной и иной лингвокультур, возможность быть медиатором между собственной и иноязычными культурами.

Прагматическую компетенцию: умение выбирать наиболее эффективный и целесообразный способ выражения мысли в зависимости от условий коммуникативного акта и поставленной задачи

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

- взаимосвязь, взаимовлияние и взаимодействие языка и культуры;
- роль языка как органической части культуры в жизни человека, его поведении и общении с носителями других языков и других культур, национальной самобытности и идентичность народов;
- представление о культурно-антропологическом взгляде на человека, его образ жизни, идеи, взгляды, обычаи, систему ценностей, восприятие мира – своего и чужого;
- влияние культуры посредством языка на поведение человека, его мировосприятие и жизнь в целом;
- историю возникновения, этапы развития и методы обучения межкультурной коммуникации;
- содержание понятия «культура», её роль в процессе коммуникации, а также соотношение с такими понятиями, как «социализация», «инкультурация», «аккультурация», «ассимиляция», «поведение», «язык», «идентичность», «глобальная гражданственность»;
- влияние различных социальных трансформаций на изменение культурной идентичности;
- особенности восприятия других культур, причины предрассудков и стереотипов в межкультурном взаимодействии;
- механизмы формирования межкультурной толерантности и диалога культур;

- типы, виды, формы, модели, структурные компоненты межкультурной коммуникации;
- нормы и стили межкультурной коммуникации;
- ментальные особенности и национальные обычаи представителей различных культур, культурные стандарты этнического, политического и экономического плана;
- языковую картину мира носителей иноязычной культуры, особенности их мировидения и миропонимания;
- этические и нравственные нормы поведения в инокультурной среде;
- языковые нормы культуры устного общения, этические и нравственные нормы поведения, принятые в стране изучаемого языка; стереотипы и способы их преодоления; нормы этикета стран изучаемого языка;
- методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации;
- этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами;
- методики формирования команд; методы эффективного руководства коллективами; основные теории лидерства и стили руководства;
- правила и закономерности личной и деловой устной и письменной коммуникации; современные коммуникативные технологии на русском и иностранном языках; существующие профессиональные сообщества для профессионального взаимодействия;
- закономерности и особенности социально-исторического развития различных культур; особенности межкультурного разнообразия общества; правила и технологии эффективного межкультурного взаимодействия;
- методики самооценки, самоконтроля и саморазвития.

**уметь:**

- применять методы изучения культурных систем и межкультурных ситуаций;
- воспринимать, анализировать, интерпретировать и сравнивать факты культуры;
- определять роль базовых культурных концептов в межкультурной коммуникации;
- находить адекватные решения в различных ситуациях межкультурного общения;
- анализировать особенности межкультурной коммуникации в коллективе;
- рефлексировать ориентационную систему собственной культуры;
- распознавать и правильно интерпретировать невербальные сигналы в процессе межкультурного общения;
- составлять коммуникативный портрет представителя иной лингвокультуры;
- раскрывать значение понятий и действий в межкультурной ситуации;

- анализировать совпадения и различия в коммуникативном поведении с позиций контактируемых культур;
- адекватно реализовывать свое коммуникативное намерение в общении с представителями других лингвокультур;
- переключаться при встрече с другой культурой на другие не только языковые, но и неязыковые нормы поведения;
- определять причины коммуникативных неудач и применять способы их преодоления;
- занимать позицию партнера по межкультурному общению и идентифицировать возможный конфликт как обусловленный ценностями и нормами его культуры;
- успешно преодолевать барьеры и конфликты в общении и достигать взаимопонимания;
- раскрывать взаимосвязь и взаимовлияние языка и культуры;
- толерантно относиться к представителям других культур и языков;
- анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции;
- уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям;
- использовать модели социальных ситуаций, типичные сценарии взаимодействия участников межкультурной коммуникации;
- руководствоваться принципами культурного релятивизма и этическими нормами, предполагающими отказ от этноцентризма и уважение своеобразия иноязычной культуры и ценностных ориентаций иноязычного социума;
- преодолевать влияние стереотипов и осуществлять межкультурный диалог в общей и профессиональной сферах общения;
- моделировать возможные ситуации общения между представителями различных культур и социумов;
- применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации;
- разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла;
- разрабатывать план групповых и организационных коммуникаций при подготовке и выполнении проекта; сформулировать задачи членам команды для достижения поставленной цели; разрабатывать командную стратегию); применять эффективные стили руководства командой для достижения поставленной цели;

- применять на практике коммуникативные технологии, методы и способы делового общения для академического и профессионального взаимодействия;
- определять теоретическое и практическое значение культурно-языкового фактора при взаимодействии различных философских и научных традиций;
- понимать и толерантно воспринимать межкультурное разнообразие общества; анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия;
- решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности; применять методики самооценки и самоконтроля.

**владеть:**

- нормами этикета и поведения при общении с представителями иноязычной культуры;
- принципами толерантности при разрешении межкультурных противоречий;
- методами коммуникативных исследований, умением применять полученные знания в научно-исследовательской деятельности, устной и письменной коммуникации;
- коммуникативными стратегиями и тактиками, характерными для иных культур;
- навыками корректного межкультурного общения, самостоятельного анализа межкультурных конфликтов в процессе общения с представителями других культур и путей их разрешения;
- умением правильной интерпретации конкретных проявлений вербального и невербального коммуникативного поведения в различных культурах;
- навыками коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия;
- навыками деятельности с ориентиром на этические и нравственные нормы поведения, принятые в инокультурном социуме;
- необходимыми интеракционными и контекстными знаниями, позволяющими преодолевать влияние стереотипов и адаптироваться к изменяющимся условиям при контакте с представителями различных культур;
- методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий;
- методиками разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта;
- умением анализировать, проектировать и организовывать межличностные, групповые и организационные коммуникации в команде для достижения поставленной цели; методами организации и управления коллективом;

- методикой межличностного делового общения на русском и иностранном языках, с применением профессиональных языковых форм, средств и современных коммуникативных технологий;
- методами и навыками эффективного межкультурного взаимодействия;
- технологиями и навыками управления своей познавательной деятельностью и ее совершенствования на основе самооценки, самоконтроля и принципов самообразования в течение всей жизни.

### **Темы и разделы курса:**

#### **1. Тема 1. История возникновения науки об искусственном интеллекте**

История возникновения термина "Искусственный интеллект". Искусственный интеллект и междисциплинарные исследования. Два направления искусственного интеллекта: чистый (нисходящий) и грязный (восходящий).

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: объяснять этические принципы искусственного интеллекта; обсуждать направления развития искусственного интеллекта и его роль в междисциплинарных исследованиях.

#### **2. Тема 2. Подходы к построению искусственного интеллекта**

Интуитивный подход и тест Тьюринга. Символьный и логический подходы. Агентный подход, МАС и роевой интеллект. Гибридный подход. Слабый и сильный искусственный интеллект.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: объяснять отличия в подходах; дискутировать об особенностях подходов к построению искусственного интеллекта; анализировать развитие подходов, ситуативные кейсы.

#### **3. Тема 3. Философия искусственного интеллекта**

Некоторые успешные проекты, реализующие возможности искусственного интеллекта. Философия искусственного интеллекта (Китайская комната)

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: описывать истоки возникновения искусственного интеллекта, основные положения его философии; моделировать особенности развития искусственного интеллекта в эссе «Как искусственный интеллект изменит нашу жизнь».

#### **4. Тема 4. Прикладные области деятельности для искусственного интеллекта**

Экспертные системы и СППР. Распознавание образов. Чат-боты. Творчество. Автономные автомобили. Роботы и аватары.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: описывать области практического применения искусственного интеллекта; трансформировать научные тексты (из устной речи в письменную, из научного и научно-публицистического стиля в разговорный и т.д.); переводить научные тексты с учетом культурного контекста и жанрово-стилевой принадлежности.



## 5. Тема 5. Сферы жизни и искусственный интеллект

Искусственный интеллект и государственное управление. Искусственный интеллект и безопасность. Искусственный интеллект и транспорт. Искусственный интеллект и промышленность. Искусственный интеллект и образование. Искусственный интеллект и наука. Искусственный интеллект и здравоохранение. Искусственный интеллект и культура. Искусственный интеллект и развитие новых отраслей.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: обсуждать применение искусственного интеллекта в разных отраслях экономики и научного знания; приводить примеры возможностей использования искусственного интеллекта в различных отраслях научного знания.

## 6. Тема 6. Смежные технологии

Искусственный интеллект и квантовые технологии. Искусственный интеллект и нанотехнологии.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: описывать смежные технологии; решать ситуативные кейсы; писать деловое электронное письмо зарубежному партнеру с учетом его культурной принадлежности; вести переговоры с представителями иной лингвокультуры.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Английский язык. Перевод и научная коммуникация**

#### **Цель дисциплины:**

Формирование устойчивых навыков перевода академических, научных текстов с английского на русский и с русского на английский языки, с учетом стратегий и приемов перевода текстов, знаний по межкультурной коммуникации и культурологии, опорой на переводческую компетенцию, с возможностью использовать имеющиеся технологические разработки и программное обеспечение, практикой редактирования машинного перевода.

#### **Задачи дисциплины:**

- изучить различные виды перевода и переводческие приемы, позволяющие работать с научными текстами в паре английский/русский языки (в первом семестре тренинг и совершенствование навыков перевода с английского на русский, в втором семестре - с русского на английский язык). - научиться, минимизируя затраты времени на перевод, создавать аспектный, реферативный и другие виды научного перевода с целью получения адекватного текста перевода, семантически и стилистически отражающего текст оригинала, тренируя навыки критического чтения и развивая аналитические способности.
- сформировать способность осуществлять устный и письменный последовательный перевод, с- и на- иностранный язык (английский) с учётом особенностей академической культуры изучаемого языка.

Для достижения целей и задач освоения дисциплины, обучающиеся должны овладеть иноязычной общепрофессиональной коммуникативной компетенцией, включающей в себя:

Лингвистическую компетенцию: способность в соответствии с нормами изучаемого языка правильно конструировать грамматические формы и синтаксические построения.

Межкультурную компетенцию: способность общения с представителями других культур посредством письменного и устного общения, включающая культурологические и культурно-специфические навыки.

Социолингвистическую компетенцию: способность использовать и преобразовывать языковые формы в соответствии с ситуацией иноязычного общения.

Социокультурную компетенцию: способность учитывать в общении речевое и неречевое поведение, принятое в стране изучаемого языка.

Социальную компетенцию: способность взаимодействовать с партнерами по общению, владение соответствующими стратегиями.

Дискурсивную компетенцию: способность понять и достичь связности отдельных высказываний в значимых коммуникативных моделях.

Стратегическую компетенцию: умение пользоваться наиболее эффективными стратегиями при решении коммуникативных задач.

Предметную компетенцию: знание предметной информации при организации собственного высказывания или понимания высказывания других людей.

Прагматическую компетенцию: умение выбирать наиболее эффективный и целесообразный способ выражения мысли в зависимости от условий коммуникативного акта и поставленной задачи.

Интегративную компетенцию: компетенцию, позволяющую работать одновременно в нескольких языковых системах с учетом существующих требований, рекомендаций, и с несколькими базами данных, обеспечивающими быстрое выполнение переводческих задач;

Переводческую компетенцию, сочетающую навыки владения английским и русским языками с постепенным формированием навыков и изучением стратегий перевода; дальнейшее совершенствование коммуникативной компетенции и развитие фоновых / экстралингвистических знаний, относящихся к особенностям культуры и науки исходного и переводящего языков.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

- взаимосвязь, взаимовлияние и взаимодействие языка и культуры, иностранного и родного языков и культур;
- роль языка как органической части культуры в жизни человека, его поведении и общении с носителями других языков и других культур, роли перевода в системе межкультурных связей;
- представление о культурно-антропологическом взгляде на человека, его образ жизни, идеи, взгляды, обычаи, систему ценностей, восприятие мира – своего и чужого;
- влияние различных социальных трансформаций на изменение культурной идентичности и их последующее отражение, и роль в переводе;
- типы, виды, формы, модели, структурные компоненты межкультурной и научной коммуникации; – нормы и стили межкультурной и научной коммуникации;
- языковую картину мира носителей иноязычной культуры, особенности их мировидения и миропонимания и преломление этого восприятия в переводе;
- этические и нравственные нормы поведения в инокультурной среде;
- методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации;

- правила и закономерности научной, личной и деловой, устной и письменной коммуникации;
- современные коммуникативные технологии на русском и иностранном языках;
- методики самооценки, самоконтроля и саморазвития.

**уметь:**

- применять методы изучения культурных систем и межкультурных ситуаций в переводческой практике научной коммуникации;
- воспринимать, анализировать, интерпретировать и сравнивать факты культуры в целях эффективной научной коммуникации;
- определять роль базовых культурных концептов в межкультурной и научной коммуникации;
- находить адекватные решения в различных ситуациях межкультурного и научного общения;
- анализировать особенности межкультурной и научной коммуникации в коллективе;
- распознавать и правильно интерпретировать невербальные сигналы в процессе межкультурного и научного общения;
- составлять коммуникативный портрет представителя иной лингвокультуры для более эффективного взаимодействия при интерпретации или в переводческой научной коммуникации;
- раскрывать значение понятий и действий в межкультурной ситуации и научном взаимодействии;
- анализировать совпадения и различия в коммуникативном поведении с позиций контактируемых культур;
- адекватно реализовывать свое коммуникативное намерение в общении с представителями других лингвокультур;
- переключаться при встрече с другой культурой на другие не только языковые, но и неязыковые нормы поведения для достижения коммуникативных целей;
- определять причины коммуникативных неудач и применять способы их преодоления;
- занимать позицию партнера по межкультурному научному общению и идентифицировать возможный конфликт как обусловленный ценностями и нормами другой культуры;
- использовать модели социальных ситуаций, типичные сценарии взаимодействия участников межкультурной коммуникации;
- моделировать возможные ситуации общения между представителями различных культур и социумов;
- применять на практике коммуникативные технологии, методы и способы делового общения для академического и профессионального взаимодействия.

**Владеть:**

- нормами этикета и поведения при общении с представителями иноязычной культуры;
- принципами толерантности при разрешении межкультурных противоречий;
- методами коммуникативных исследований, умением применять полученные знания в научно-исследовательской деятельности, устной и письменной коммуникации;
- коммуникативными стратегиями и тактиками, характерными для иных культур;
- навыками корректного межкультурного общения, самостоятельного анализа межкультурных конфликтов в процессе общения с представителями других культур и путей их разрешения;
- умением правильной интерпретации конкретных проявлений вербального и невербального коммуникативного поведения в различных культурах;
- навыками коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия;
- навыками деятельности с ориентиром на этические и нравственные нормы поведения, принятые в инокультурном социуме;
- необходимыми интеракционными и контекстными знаниями, позволяющими преодолевать влияние стереотипов и адаптироваться к изменяющимся условиям при контакте с представителями различных культур;
- методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий;
- методикой межличностного делового общения на русском и иностранном языках, с применением профессиональных языковых форм, средств и современных коммуникативных технологий;
- методами и навыками эффективного межкультурного, академического и научного взаимодействия.

**Темы и разделы курса:**

1. Тема 1. Основы переводоведения – типы и виды переводов. Коммуникативные задачи и целевая аудитория.

Основные положения науки о переводе и определение межъязыкового взаимодействия и межкультурной коммуникации с использованием перевода. Ведущие теории и достижения отечественных и зарубежных ученых в области перевода: макро- и микро- подходы. Представление о классификации переводов и определение места письменного и устного последовательного перевода в системе.

Коммуникативные задачи: обсудить иерархию и типологию переводческой системы; эвристический характер и раскрыть основы переводческой герменевтики; обосновать выбор различных текстов на английском языке по профилю исследования для работы в семестре – научную статью, научно-популярную статью, научно-художественный текст /

научно-фантастический текст, научно-публицистическую статью, учебник по профилю и т.д.

2. Тема 2. Базовые приемы перевода Лексико-грамматические рекомендации при переводе научных текстов. Речевые стили и регистры.

Понятие адекватного перевода, переводческой эквивалентности, уровнях эквивалентности перевода, моделях перевода (денотативной, семантической, трансформационной), прагматических, семантических и стилистических аспектах перевода. Основных переводческих ошибках и способах их преодоления. «Ложные друзья» переводчика. Речевые стили и регистры в целях ведения эффективной научной и межкультурной коммуникации.

Коммуникативные задачи: обсудить особенности текстов, принадлежащих разным стилям; продемонстрировать на примерах основные переводческие ошибки в научном тексте; показать и аргументировать признаки речевых стилей и особенности различных регистров; обсудить в малых группах переводы, сделанные по заданным параметрам.

3. Тема 3. Академический регистр, научный стиль речи: синтаксические приемы перевода научных текстов (тема, рема, монорема, дирема). Устный последовательный перевод – требования и границы.

Коммуникативно-прагматические аспекты перевода как средство межъязыковой и межкультурной коммуникации. Особенности перевода экстралингвистического контекста. Понимание перевода как вторичного текста, заменяющего текст оригинала в новых лингвистических, лингвокультурных и лингвоэтнических условиях восприятия. Типология переводческих трансформаций.

Коммуникативные задачи: обсуждение требований к устному и письменному последовательному переводу; интерпретация слов, относящихся к экстралингвистическому контексту в тексте оригинала; обсудить в малых группах переводы, сделанные по заданным параметрам.

4. Тема 4. Современные технологические возможности создания перевода, виды редактирования переводного текста. Память переводов (ТМ), машинный перевод (МТ), программное обеспечение, онлайн словари и переводчики.

Автоматизированный перевод (память переводов (ТМ) и тематические глоссарии), программное обеспечение, онлайн словари и переводчики. Анализ проблем текстового уровня перевода. Искусственный интеллект и облачные серверы для перевода. Техническая документация и сложности ее перевода. Перспективы развития переводческого бизнеса. Перевод научно-технических, официально-деловых, юридических текстов и информационных материалов/ источников. Место устного последовательного перевода в научной коммуникации – задачи и цели, требования и возможности переводчика.

Коммуникативные задачи: презентация об одном из онлайн переводчиков, ТМ, МТ программном обеспечении, языковых корпусах, других современных технологических возможностях; подготовить статистический анализ нескольких терминов из выбранной для анализа статьи на английском языке и подкрепить его аргументами из теории; представить реферативный и/или аспектный переводы (Англ. => Рус.) статьи на занятии.

5. Тема 5. Особенности перевода с родного на иностранный язык. Типы языков. Коммуникативные стратегии перевода. Терминологические базы, языковые корпуса.

Типы языков – синтетический и аналитический (различия в лексико-грамматических структурах пары языков, участвующих в процессе перевода). Доминанты перевода: адресность текста (реципиент); стиль исходного текста; тип (жанр) исходного текста; тип (жанр) текста перевода; отдельные лингвистические особенности текста перевода; цели дискурса; узловые точки дискурса; ценности дискурса; функции коммуникации; типовые свойства коммуникации; коммуникативные стратегии. Дискурсивно-коммуникативная модель перевода положительно влияет на степень детальности и системности анализа исходного текста, позволяет принять более осознанные решения. Изменения в тексте перевода и их зависимость от переводчика, правки при повторном обращении к тексту. Влияние на качество перевода в зависимости от степени реализации стратегии (с учетом дополнительных факторов).

Коммуникативные задачи: представить отличия (грамматики, лексики, синтаксиса, построения текста) в рабочей паре языков. Выбрать и обосновать основные дискурсивные признаки анализируемого текста, сделать краткое выступление. Обсудить в малых группах переводы сделанные по заданным параметрам.

6. Тема 6. Тема-рема-атический подход в переводе с русского на английский. Синтаксические приемы перевода с русского на английский язык – номинализация, предикация, инверсия, работа с синтаксическими функциями при переводе. Информационные технологии, применяемые для осуществления переводов.

Языковая функция и ее типы: денотативная - описание денотата, т.е. отображаемого в языке сегмента объективного мира; экспрессивная: установка делается на выражении отношения отправителя к порождаемому тексту; контактноустановительная, или фатическая: установка на канал связи; металингвистическая: анализируется сам используемый в общении язык; волеизъявительная: передаются предписания и команды; поэтическая: делается установка на языковые стилистические средства. Иерархия эквивалентности.

Коммуникативные задачи: подготовить выступление с докладом (5-7 минут на английском языке) о различных информационных технологиях в переводе; поработать в паре с синтаксическими приемами перевода (учитывая приемы коммуникативной стратегии), обсудить варианты перевода.

7. Тема 7. Межкультурная коммуникация – задачи в переводе.

Перевод и неперебиваемое в тексте – требования к переводу научного текста в отличие от перевода художественного текста. Научная корреспонденция, научные тексты, научные журналы. Невербальная коммуникация, иллюстрации, таблицы, схемы – комментарии переводчика. Перевод реалий и перевод терминов. Особенности интерпретации понятия «полной эквивалентности» и многоаспектность задач эквивалентности.

Коммуникативные задачи: обсудить различия в менталитете, анализе и создании текстов на разных языках, в рабочей паре языков; отметить повторяющиеся признаки в построении высказываний; уделить внимание оценке качества итоговых письменных работ в разных странах, дать примеры видов научной коммуникации (относящихся к рабочей паре языков); аргументировать выбор. Обсудить в малых группах переводы, сделанные по заданным параметрам.

8. Тема 8. Сравнение особенностей письменного и устного перевода.

Тренинг устного перевода и основы синхронного перевода (виды и требования). Аудиовизуальный перевод (АВП) как «перевод художественных игровых и документальных, анимационных фильмов, идущих в прокате и транслируемых в телерадиовещательных сетях или в интернете, а также сериалов, телевизионных новостных выпусков (в том числе с сурдопереводом и бегущей строкой), театральных постановок, радиоспектаклей (в записи и в прямом эфире), актерской декламации, рекламных роликов, компьютерных игр и все разнообразие Интернет материалов».

Коммуникативные задачи: подготовить презентацию с докладом об основных характеристиках синхронного перевода; перечислить задачи и цели аудиовизуального перевода, обосновать их приемлемость в научной коммуникации; назвать качества переводчиков АВП и СП; освоить несколько упражнений базового курса синхронного и/или АВП перевода; представить реферативный и/или аспектный переводы (Рус. => Англ.) статьи на занятии.

9. Раздел 1. Перевод с английского на русский в рамках академической и научной коммуникации (Translation from English into Russian within academic and sc

10. Раздел 2. Границы научного и академического перевода с английского на русский язык (Translation framework for academic scientific texts, from English



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Английский язык. Современный искусственный интеллект**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение основных направлений развития и состояния искусственного интеллекта на современном этапе как перспективного раздела науки о данных: методы интеллектуального анализа больших данных, методы машинного обучения, методы представления и первичной обработки данных, возможности, преимущества и ограничения ИИ-технологий при их использовании, применение методов искусственного интеллекта в научных исследованиях и иных сферах человеческой деятельности, терминология сферы ИИ на русском и английском языках.

#### **Задачи дисциплины:**

Сформировать способность обучающегося языковыми средствами решать коммуникативные задачи в различных ситуациях профессионального межкультурного общения, осуществлять межличностное и профессиональное общение на иностранном языке с учётом особенностей культуры изучаемого языка и сферы профессиональной деятельности обучающегося, а также умение преодолевать межкультурные различия в ситуациях социального и профессионального общения; научить владеть специализированной лексикой, понимать и описывать ситуации применения искусственного интеллекта в различных областях знаний, таких как: государственное управление, образование, здравоохранение, наука, транспорт, промышленность, коммерция; осознавать необходимость использования и развития ИИ, быть готовым к реализации наработок фундаментальной науки в конкретном продукте, создаваемом на основе информационных технологий; свободно пользоваться терминологией, относящейся к области ИИ как на русском, так и на английском языке.

Для достижения целей и задач освоения дисциплины, обучающиеся должны овладеть иноязычной общепрофессиональной коммуникативной компетенцией, включающей в себя:

Этнографическую компетенцию: владение знаниями о стране изучаемого языка, ее истории и культуре, быте, выдающихся представителях, традициях и нравах; возможность страноведческого сравнения особенностей истории, культуры, обычаев своей и иной культур, понимание культурной специфики и способности объяснения причин и истоков той или иной характеристики культуры.

Лингвистическую компетенцию: способность в соответствии с нормами изучаемого языка правильно конструировать грамматические формы и синтаксические построения.

Социолингвистическую компетенцию (способность использовать и преобразовывать языковые формы в соответствии с ситуацией иноязычного общения).

Социокультурную компетенцию: способность учитывать в общении речевое и неречевое поведение, принятое в стране изучаемого языка.

Социальную компетенцию: способность взаимодействовать с партнерами по общению, владение соответствующими стратегиями.

Дискурсивную компетенцию: способность понять и достичь связности отдельных высказываний в значимых коммуникативных моделях.

Стратегическую компетенцию: умение пользоваться наиболее эффективными стратегиями при решении коммуникативных задач.

Предметную компетенцию: знание предметной информации при организации собственного высказывания или понимания высказывания других людей.

Предметно-профессиональную: способность оперировать знаниями в условиях реальной коммуникации с представителями изучаемой культуры, проявление эмпатии, как способности понять нормы, ценности и мотивы поведения представителей иной культуры.

Коммуникативную: способность устанавливать и налаживать контакты с представителями различных возрастных, социальных и других групп родной и иной лингвокультур, возможность быть медиатором между собственной и иноязычными культурами.

Прагматическую компетенцию: умение выбирать наиболее эффективный и целесообразный способ выражения мысли в зависимости от условий коммуникативного акта и поставленной задачи.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- взаимосвязь, взаимовлияние и взаимодействие языка, культуры и профессиональной деятельности;
- роль языка как органической части культуры в жизни человека, его поведении и общении с носителями других языков и других культур, национальной самобытности и идентичность народов;
- представление о культурно-антропологическом взгляде на человека, его образ жизни, идеи, взгляды, обычаи, систему ценностей, восприятие мира – своего и чужого;
- влияние культуры посредством языка на поведение человека, его мировосприятие и жизнь в целом;
- историю возникновения, этапы развития и методы обучения межкультурному взаимодействию в профессиональной сфере;
- содержание понятия «культура», её роль в процессе коммуникации, а также соотношение с такими понятиями, как «социализация», «инкультурация», «аккультурация», «ассимиляция», «поведение», «язык», «идентичность», «глобальная гражданственность»;
- влияние различных социальных трансформаций на изменение культурной идентичности;

- особенности восприятия других культур, причины предрассудков и стереотипов в межкультурном взаимодействии;
- механизмы формирования межкультурной толерантности и диалога культур;
- типы, виды, формы, модели, структурные компоненты межкультурной коммуникации и профессиональной межкультурной коммуникации;
- нормы и стили межкультурной коммуникации;
- ментальные особенности и национальные обычаи представителей различных культур, культурные стандарты этнического, политического и экономического плана;
- языковую картину мира носителей иноязычной культуры, особенности их мировидения и миропонимания;
- этические и нравственные нормы поведения в инокультурной среде;
- языковые нормы культуры устного общения, этические и нравственные нормы поведения, принятые в стране изучаемого языка; стереотипы и способы их преодоления; нормы этикета стран изучаемого языка;
- методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации;
- этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами;
- методики формирования команд; методы эффективного руководства коллективами; основные теории лидерства и стили руководства;
- правила и закономерности личной и деловой устной и письменной коммуникации; современные коммуникативные технологии на русском и иностранном языках; существующие профессиональные сообщества для профессионального взаимодействия;
- закономерности и особенности социально-исторического развития различных культур; особенности межкультурного разнообразия общества; правила и технологии эффективного межкультурного взаимодействия;
- методики самооценки, самоконтроля и саморазвития

**уметь:**

- применять методы изучения культурных систем и межкультурных ситуаций;
- воспринимать, анализировать, интерпретировать и сравнивать факты культуры;
- определять роль базовых культурных концептов в межкультурной коммуникации;
- находить адекватные решения в различных ситуациях межкультурного общения;
- анализировать особенности межкультурной коммуникации в коллективе и в профессиональном сообществе;
- рефлексировать ориентационную систему собственной культуры;

- распознавать и правильно интерпретировать невербальные сигналы в процессе межкультурного общения и межкультурного профессионального общения;
- составлять коммуникативный портрет представителя иной лингвокультуры;
- раскрывать значение понятий и действий в межкультурной ситуации;
- анализировать совпадения и различия в коммуникативном поведении с позиций контактируемых культур;
- адекватно реализовывать свое коммуникативное намерение в общении с представителями других лингвокультур;
- переключаться при встрече с другой культурой на другие не только языковые, но и неязыковые нормы поведения;
- определять причины коммуникативных неудач и применять способы их преодоления;
- занимать позицию партнера по межкультурному общению и идентифицировать возможный конфликт как обусловленный ценностями и нормами его культуры;
- успешно преодолевать барьеры и конфликты в общении и достигать взаимопонимания;
- раскрывать взаимосвязь и взаимовлияние языка и культуры;
- толерантно относиться к представителям других культур и языков;
- анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции;
- уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям;
- использовать модели социальных ситуаций, типичные сценарии взаимодействия участников межкультурной коммуникации;
- руководствоваться принципами культурного релятивизма и этическими нормами, предполагающими отказ от этноцентризма и уважение своеобразия иноязычной культуры и ценностных ориентаций иноязычного социума;
- преодолевать влияние стереотипов и осуществлять межкультурный диалог в общей и профессиональной сферах общения;
- моделировать возможные ситуации общения между представителями различных культур и социумов;
- применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации;
- разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла;
- разрабатывать план групповых и организационных коммуникаций при подготовке и выполнении проекта; сформулировать задачи членам команды для достижения поставленной цели; разрабатывать командную стратегию); применять эффективные стили руководства командой для достижения поставленной цели;

- применять на практике коммуникативные технологии, методы и способы делового общения для академического и профессионального взаимодействия;
- определять теоретическое и практическое значение культурно-языкового фактора при взаимодействии различных философских и научных традиций;
- понимать и толерантно воспринимать межкультурное разнообразие общества; анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия;
- решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности; применять методики самооценки и самоконтроля

**владеть:**

- нормами этикета и поведения при общении с представителями иноязычной культуры;
- принципами толерантности при разрешении межкультурных противоречий;
  - методами коммуникативных исследований, умением применять полученные знания в научно-исследовательской деятельности, устной и письменной коммуникации;
  - коммуникативными стратегиями и тактиками, характерными для иных культур;
  - навыками корректного межкультурного общения, самостоятельного анализа межкультурных конфликтов в процессе общения с представителями других культур и путей их разрешения;
  - умением правильной интерпретации конкретных проявлений вербального и невербального коммуникативного поведения в различных культурах;
  - навыками коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия;
  - навыками деятельности с ориентиром на этические и нравственные нормы поведения, принятые в инокультурном социуме;
  - необходимыми интеракционными и контекстными знаниями, позволяющими преодолевать влияние стереотипов и адаптироваться к изменяющимся условиям при контакте с представителями различных культур;
  - методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий;
  - методиками разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта;
  - умением анализировать, проектировать и организовывать межличностные, групповые и организационные коммуникации в команде для достижения поставленной цели; методами организации и управления коллективом;
  - методикой межличностного делового общения на русском и иностранном языках, с применением профессиональных языковых форм, средств и современных коммуникативных технологий;

- методами и навыками эффективного межкультурного взаимодействия;
- технологиями и навыками управления своей познавательной деятельностью и ее совершенствования на основе самооценки, самоконтроля и принципов самообразования в течение всей жизни.

### **Темы и разделы курса:**

#### **1. Тема 1. Искусственный интеллект как наука и технология**

История возникновения термина «искусственный интеллект (ИИ)». Наука ИИ как часть комплекса компьютерных наук. Технологии на основе ИИ в системе компьютерных технологий. ИИ и междисциплинарные исследования. Два направления ИИ: чистый (нисходящий) и грязный (восходящий). Три волны ИИ. Направления ИИ.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: объяснять этические принципы ИИ; обсуждать направления развития ИИ и его роль в междисциплинарных исследованиях.

#### **2. Тема 2. Подходы к построению искусственного интеллекта**

Интуитивный подход и тест Тьюринга. Символьный и логический подходы. Агентный подход, МАС и роевой интеллект. Гибридный подход. Сильный (общий) и слабый (прикладной) ИИ.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: объяснять отличия в подходах; дискутировать об особенностях подходов к построению ИИ; анализировать развитие подходов, ситуативные кейсы.

#### **3. Тема 3. Ключевые вызовы и угрозы развития систем искусственного интеллекта**

Некоторые успешные проекты, реализующие возможности ИИ. Философия Искусственного Интеллекта (Китайская комната). Возможность или невозможность моделирования мышления человека как одна из философских проблем в области ИИ. Опасения: полная зависимость от компьютеров, непредсказуемость, использование ИИ в военных целях, социальные риски, экзистенциальные риски, ошибки в системах ИИ

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: описывать истоки возникновения искусственного интеллекта, основные положения его философии; моделировать особенности развития искусственного интеллекта в эссе «Как искусственный интеллект изменит нашу жизнь».

#### **4. Тема 4. Прикладные области деятельности для искусственного интеллекта**

Экспертные системы и СППР. Распознавание образов. Чат-боты. Творчество. Автономные автомобили. Роботы и аватары. Эффект ИИ (AI Effect).

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: описывать области практического применения искусственного интеллекта; трансформировать научные тексты (из устной речи в письменную, из научного и научно-публицистического стиля в разговорный и т.д.); переводить научные тексты с учетом профессионального контекста и жанрово-стилевой принадлежности.

## 5. Тема 5. . Сферы жизни и искусственный интеллект: карта применения технологий ИИ

Искусственный интеллект и государственное управление. Искусственный интеллект и безопасность. Искусственный интеллект и транспорт. Искусственный интеллект и промышленность. Искусственный интеллект и образование. Искусственный интеллект и наука. Искусственный интеллект и здравоохранение. Искусственный интеллект и культура. Искусственный интеллект и развитие новых отраслей.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: обсуждать применение искусственного интеллекта в разных отраслях экономики и научного знания; приводить примеры возможностей использования искусственного интеллекта в различных отраслях научного знания.

## 6. Тема 6. Современное состояние и перспективы развития искусственного интеллекта

Смежные технологии. Искусственный интеллект и квантовые технологии. Искусственный интеллект и нанотехнологии. Развитие технологий искусственных нейронных сетей (ИНС). Обработка естественных языков. Системы машинного перевода. Машинное обучение.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: описывать смежные технологии; решать ситуативные кейсы; писать деловое электронное письмо зарубежному партнеру с учетом его культурной принадлежности; вести переговоры с представителями иной лингвокультуры.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Английский язык. Социология эмоций**

#### **Цель дисциплины:**

Формирование культуры мышления, общения и речи, иноязычной коммуникативной компетенции. Ознакомление с перспективной и сравнительно молодой областью социологического знания, с основными концепциями эмоций и эмоционального поведения.

#### **Задачи дисциплины:**

Сформировать способность обучающегося языковыми средствами решать коммуникативные задачи в различных ситуациях межкультурного общения, приобрести знания:

- о многообразии и трудностях определения эмоций в социологии и других дисциплинах.
- о классических и современных теориях в социологии эмоций, могут ориентироваться в них.
- о трудностях эмпирического исследования эмоций в социологии и различных методах исследования эмоциональных аспектов социальных явлений в социологии.
- о культурных теориях эмоций в социологии, основных понятиях социологии эмоций: управлении эмоциями, эмоциональных нормах, эмоциональных культурах, идеологии, эмоциональной девиации, эмоциональной социализации.
- о эмоциональном труде и управлении эмоциями на рабочем месте, в публичной профессиональной сфере, различные типы исследований управления эмоциями в контексте работы в социологии.
- о структурных теориях эмоций в социологии и научиться анализировать эмоциональные аспекты социального неравенства.

Для достижения целей и задач освоения дисциплины, обучающиеся должны овладеть иноязычной общепрофессиональной коммуникативной компетенцией, включающей в себя:

Этнографическую компетенцию: владение знаниями о стране изучаемого языка, ее истории и культуре, быте, выдающихся представителях, традициях и нравах; возможность страноведческого сравнения особенностей истории, культуры, обычаев своей и иной культур, понимание культурной специфики и способности объяснения причин и истоков той или иной характеристики культуры.

Лингвистическую компетенцию: способность в соответствии с нормами изучаемого языка правильно конструировать грамматические формы и синтаксические построения.



Социолингвистическую компетенцию (способность использовать и преобразовывать языковые формы в соответствии с ситуацией иноязычного общения).

Социокультурную компетенцию: способность учитывать в общении речевое и неречевое поведение, принятое в стране изучаемого языка.

Социальную компетенцию: способность взаимодействовать с партнерами по общению, владение соответствующими стратегиями.

Дискурсивную компетенцию: способность понять и достичь связности отдельных высказываний в значимых коммуникативных моделях.

Стратегическую компетенцию: умение пользоваться наиболее эффективными стратегиями при решении коммуникативных задач.

Предметную компетенцию: знание предметной информации при организации собственного высказывания или понимания высказывания других людей.

Предметно-профессиональную: способность оперировать знаниями в условиях реальной коммуникации с представителями изучаемой культуры, проявление эмпатии, как способности понять нормы, ценности и мотивы поведения представителей иной культуры.

Коммуникативную: способность устанавливать и налаживать контакты с представителями различных возрастных, социальных и других групп родной и иной лингвокультур, возможность быть медиатором между собственной и иноязычными культурами.

Прагматическую компетенцию: умение выбирать наиболее эффективный и целесообразный способ выражения мысли в зависимости от условий коммуникативного акта и поставленной задачи

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- взаимосвязь, взаимовлияние и взаимодействие языка и культуры;
- роль языка как органической части культуры в жизни человека, его поведении и общении с носителями других языков и других культур, национальной самобытности и идентичность народов;
- представление о культурно-антропологическом взгляде на человека, его образ жизни, идеи, взгляды, обычаи, систему ценностей, восприятие мира – своего и чужого;
- влияние культуры посредством языка на поведение человека, его мировосприятие и жизнь в целом;
- историю возникновения, этапы развития и методы обучения межкультурной коммуникации;
- содержание понятия «культура», её роль в процессе коммуникации, а также соотношение с такими понятиями, как «социализация», «инкультурация», «аккультурация», «ассимиляция», «поведение», «язык», «идентичность», «глобальная гражданственность»;

- влияние различных социальных трансформаций на изменение культурной идентичности;
- особенности восприятия других культур, причины предрассудков и стереотипов в межкультурном взаимодействии;
- механизмы формирования межкультурной толерантности и диалога культур;
- типы, виды, формы, модели, структурные компоненты межкультурной коммуникации;
- нормы и стили межкультурной коммуникации;
- ментальные особенности и национальные обычаи представителей различных культур, культурные стандарты этнического, политического и экономического плана;
- языковую картину мира носителей иноязычной культуры, особенности их мировидения и миропонимания;
- этические и нравственные нормы поведения в инокультурной среде;
- языковые нормы культуры устного общения, этические и нравственные нормы поведения, принятые в стране изучаемого языка; стереотипы и способы их преодоления; нормы этикета стран изучаемого языка;
- методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации;
- этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами;
- методики формирования команд; методы эффективного руководства коллективами; основные теории лидерства и стили руководства;
- правила и закономерности личной и деловой устной и письменной коммуникации; современные коммуникативные технологии на русском и иностранном языках; существующие профессиональные сообщества для профессионального взаимодействия;
- закономерности и особенности социально-исторического развития различных культур; особенности межкультурного разнообразия общества; правила и технологии эффективного межкультурного взаимодействия;
- методики самооценки, самоконтроля и саморазвития.

**уметь:**

- применять методы изучения культурных систем и межкультурных ситуаций;
- воспринимать, анализировать, интерпретировать и сравнивать факты культуры;
- определять роль базовых культурных концептов в межкультурной коммуникации;
- находить адекватные решения в различных ситуациях межкультурного общения;
- анализировать особенности межкультурной коммуникации в коллективе;
- рефлексировать ориентационную систему собственной культуры;

- распознавать и правильно интерпретировать невербальные сигналы в процессе межкультурного общения;
- составлять коммуникативный портрет представителя иной лингвокультуры;
- раскрывать значение понятий и действий в межкультурной ситуации;
- анализировать совпадения и различия в коммуникативном поведении с позиций контактируемых культур;
- адекватно реализовывать свое коммуникативное намерение в общении с представителями других лингвокультур;
- переключаться при встрече с другой культурой на другие не только языковые, но и неязыковые нормы поведения;
- определять причины коммуникативных неудач и применять способы их преодоления;
- занимать позицию партнера по межкультурному общению и идентифицировать возможный конфликт как обусловленный ценностями и нормами его культуры;
- успешно преодолевать барьеры и конфликты в общении и достигать взаимопонимания;
- раскрывать взаимосвязь и взаимовлияние языка и культуры;
- толерантно относиться к представителям других культур и языков;
- анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции;
- уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям;
- использовать модели социальных ситуаций, типичные сценарии взаимодействия участников межкультурной коммуникации;
- руководствоваться принципами культурного релятивизма и этическими нормами, предполагающими отказ от этноцентризма и уважение своеобразия иноязычной культуры и ценностных ориентаций иноязычного социума;
- преодолевать влияние стереотипов и осуществлять межкультурный диалог в общей и профессиональной сферах общения;
- моделировать возможные ситуации общения между представителями различных культур и социумов;
- применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации;
- разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла;

- разрабатывать план групповых и организационных коммуникаций при подготовке и выполнении проекта; сформулировать задачи членам команды для достижения поставленной цели; разрабатывать командную стратегию); применять эффективные стили руководства командой для достижения поставленной цели;
- применять на практике коммуникативные технологии, методы и способы делового общения для академического и профессионального взаимодействия;
- определять теоретическое и практическое значение культурно-языкового фактора при взаимодействии различных философских и научных традиций;
- понимать и толерантно воспринимать межкультурное разнообразие общества; анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия;
- решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности; применять методики самооценки и самоконтроля.

**владеть:**

- нормами этикета и поведения при общении с представителями иноязычной культуры;
- принципами толерантности при разрешении межкультурных противоречий;
- методами коммуникативных исследований, умением применять полученные знания в научно-исследовательской деятельности, устной и письменной коммуникации;
- коммуникативными стратегиями и тактиками, характерными для иных культур;
- навыками корректного межкультурного общения, самостоятельного анализа межкультурных конфликтов в процессе общения с представителями других культур и путей их разрешения;
- умением правильной интерпретации конкретных проявлений вербального и невербального коммуникативного поведения в различных культурах;
- навыками коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия;
- навыками деятельности с ориентиром на этические и нравственные нормы поведения, принятые в инокультурном социуме;
- необходимыми интеракционными и контекстными знаниями, позволяющими преодолевать влияние стереотипов и адаптироваться к изменяющимся условиям при контакте с представителями различных культур;
- методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий;
- методиками разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта;

- умением анализировать, проектировать и организовывать межличностные, групповые и организационные коммуникации в команде для достижения поставленной цели; методами организации и управления коллективом;
- методикой межличностного делового общения на русском и иностранном языках, с применением профессиональных языковых форм, средств и современных коммуникативных технологий;
- методами и навыками эффективного межкультурного взаимодействия;
- технологиями и навыками управления своей познавательной деятельностью и ее совершенствования на основе самооценки, самоконтроля и принципов самообразования в течение всей жизни.

### **Темы и разделы курса:**

#### 1. Тема 1. Эмоции и социология эмоций

Что такое эмоции. Трудности социологического определения эмоций. Сколько существует эмоций. Первичные, вторичные и третичные эмоции. Эмоции и мотивация поведения. Когнитивные и эмоциональные процессы. Социология и психология эмоций. Социальное конструирование эмоций. Происхождение эмоций. Биология и социология эмоций. Социологическая концептуализация эмоций. Социальная структура и эмоции. Основные подходы к изучению эмоций в социологии. Идентификация эмоций в социологических исследованиях. Методы и методики исследования эмоций в социологии. Общая характеристика современных социологических теорий эмоций. Эмоции в работах социологов-классиков. Г. Зиммель, Г. Спенсер, М. Вебер, Э. Дюркгейм, М. Шелер. Классификация теорий эмоций Дж. Тернера. Драматургические и культурные теории эмоций. Ритуалистические концепции. Исследования эмоций в рамках символического интеракционизма. Психоаналитические теории эмоций. Эмоции в теориях обмена. Структурные теории эмоциональных процессов. Эволюционистские теории эмоций.

#### 2. Тема 2. Эмоции на рабочем месте, в личной жизни и культуре

Эмоциональная работа и эмоциональный труд. Эмоциональный менеджмент. Техники управления эмоциями. Эмоции в различных профессиональных сферах. Профессиональные эмоциональные идеологии. Соотношение эмоциональной культуры и профессионально-специализированной эмоциональной идеологии. Сервисные занятия в современном обществе и эмоциональный труд. Эмоциональная работа в медицине, социальной работе, юриспруденции и других профессиях, и родах занятий. Профессиональная этика и эмоциональный труд.

Культурный словарь эмоций. Эмоциональная культура и эмоциональные идеологии. Эмоциональная социализация и идентичность. Культурная теория эмоций и управления эмоциями А. Хохшильд. Правила чувствования (интенсивность, направление и длительность) и правила выражения эмоций. Эмоциональная работа. Техники управления эмоциями. Телесная работа, эмоциональная работа и работа с идентичностью. Гендерные аспекты эмоциональной работы. Эмоциональная работа в приватной сфере жизни общества: в семье и близких отношениях. Изучение эмоциональной работы в социологии: методы исследования расхождения между выражаемыми и переживаемыми эмоциями.

### 3. Тема 3. Эмоции и социальная структура

Вклад Т. Парсонса в социологическое изучение эмоций. Социально-структурные ожидания как источник возникновения эмоций. Теория Т. Кемпера: структурные эмоции, ситуативные эмоции и эмоции ожидания в отношениях статуса и власти. Позитивные эмоции (удовлетворение, чувство безопасности и доверия) и негативные эмоции (тревога, страх, потеря доверия и уверенности) в процессах воспроизводства социальной структуры. Теория статуса и власти Р. Тамма. Диалектика статусных отношений и эмоций. «Периодическая таблица эмоций» как универсальная модель структурных условий возникновения эмоций. Теория социозэмоционального поведения и статуса С. Риджвей. Набор правил выражения эмоций в различных типах групп и статусные отношения. Роль эмоций и статусные ограничения в достижении групповых целей: совпадение и несовпадение статусного положения и аффекта. Макроструктурная теория эмоций Дж. Барбалета. Эмоции как связующее звено между разными уровнями социальной структуры. Роль стыда в воспроизводстве социальной структуры и его эволюция в современных обществах. Ресентимент как ведущая эмоция в классовых отношениях. Ресентимент, социальные конфликты и социальные движения. Страх и социальные изменения.

### 4. Тема 4. Социологическое понимание природы эмоций

Подход Э. Гоффмана к эмоциям смущения и стыда. Место эмоций во взаимодействиях лицом-к-лицу. Управление впечатлениями с помощью эмоций. Стратегическое манипулирование эмоциями и культурные предписания. Анатомия замешательства при срыве драматической постановки. Замешательство как форма стыда. Техники выхода из замешательства. Эмоциональный аспект феномена зеркального Я в теории Ч. Х. Кули. Гордость, стыд и страх как составляющие социального контроля и связанные с формированием Я индивида. Контроль над идентичностью как часть социального контроля: роль негативных и позитивных эмоций. С. Шот и теория социального контроля. Социальный контроль как самоконтроль. Эмоции и принятие роли другого. Анализ стыда, чувства вины, замешательства, гордости, эмпатии с точки зрения социальной солидарности, социального порядка и работы над собственной идентичностью. Теория стыда Т. Шеффа. Процессы индивидуального самоощущения в связи с чувствами гордости и стыда. Чувство гордости и социальная солидарность. Стыд и индивидуальные и социальные патологии. Интенсивность гордости и стыда и социальные санкции выражения этих эмоций. Открытый стыд и скрытый стыд. Стыд и социальные конфликты.

Гнев и страх, социологическое понимание. Страх и социальный контроль. Гнев как первичная и универсальная эмоция. Социальные причины гневных переживаний. Социальные контексты гнева – работа, семья, соседские общины и др. Социальная дистрибуция гнева: гендерный аспект, воз-раст, социальный класс. Власть, социальный контроль и функции гнева (Т. Кемпер). Правила выражения гнева (Дж. Аверилл). Открытый и скрывааемый гнев (К. Льюис). Диалектика гнева и чувства стыда (Т. Шефф).

Печаль как первичная, универсальная эмоция. Социальный смысл печали и социологические трактовки печали. Горе. Горе как эмоция, возникающая вследствие потери социальных связей. Медицинская, психологическая и социологическая модели горя. Горе как сложная, вторичная эмоция. Социальное конструирование горя и его последствия для социальных отношений. Горе, печаль, траур и скорбь, их повседневные интерпретации. Идентификация и привязанность в переживании горя. Кросс-культурные и исторические данные в социологическом понимании переживания и выражения горя. Горе и его роль в социальных движениях. Горе и коллективная память. Горе и социальная структура в

современных обществах: медицинские практики преодоления горя. Теория Л. Лофланд: социальные практики, связанные с горем. К. Чармац: горе и потеря идентичности. Теряемые объекты и поведенческие стратегии.

#### 5. Тема 5. Симпатия и эмпатия как эмоции и социальные механизмы

Теория эмпатии, роль эмпатии в эволюции общества и человека. Эмпатия как моральная эмоция. Теория симпатии К. Кларк. Симпатия как ключевая эмоция в межличностных взаимодействиях. Микроэкономика и микрополитика эмоций. Симпатия как условие социальной солидарности. Культура симпатии и онтологическая безопасность. Гендерные отношения и выражение симпатии. Условия выражения симпатии.

Социология любви и дружбы. Любовь как эмоция и как отношение. Психологические и социологические теории любви как эмоции. Классификация видов любви. Задачи социологического исследования разных видов любви. Любовь как универсальная эмоция. Социально-культурный контекст любви. Модели любви и социальная структура (Т. Кемпер). Социально-историческая перспектива любви (Э. Гидденс). Ф. Кансиан: феминизация любви. Любовь и гнев. Р. Белла, Э. Свидлер: представления о любви и идеалы современного общества и их влияние на поведение людей. М. Джекмен: любовь как инструмент социального порядка. А. Хохшильд: любовь как товар.

#### 6. Тема 6. Развитие эмоционального интеллекта

Эмоциональный интеллект. Модель Майера-Саловея. Модель Рувена Бар-Она. Модель Гоулмана. EQ основан на четырех факторах. Важность коэффициента эмоционального интеллекта. Фазы управления эмоциями. Как развить эмоциональный интеллект. Эмоциональный интеллект руководителя.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Английский язык. Этика искусственного интеллекта**

#### **Цель дисциплины:**

Формирование иноязычной коммуникативной компетенции посредством ознакомления с основными подходами к изучению этических вопросов использования искусственного интеллекта в различных областях научных знаний, а также возможными последствиями применения систем искусственного интеллекта в различных сферах общественной жизни.

#### **Задачи дисциплины:**

Сформировать способность у обучающихся выражать языковыми средствами представление о трансформации классических этических проблем в результате развития систем искусственного интеллекта, специфике современного этического регулирования проектов с использованием искусственного интеллекта; перспективах и рисках применения искусственного интеллекта в науке; ключевых достижениях и ограничениях применения искусственного интеллекта в образовании в контексте понимания образования как системы, процесса и как результата.

Для достижения целей и задач освоения дисциплины, обучающиеся должны овладеть иноязычной общепрофессиональной коммуникативной компетенцией, включающей в себя:

Этнографическую компетенцию: владение знаниями о стране изучаемого языка, ее истории и культуре, быте, выдающихся представителях, традициях и нравах; возможность страноведческого сравнения особенностей истории, культуры, обычаев своей и иной культур, понимание культурной специфики и способности объяснения причин и истоков той или иной характеристики культуры.

Лингвистическую компетенцию: способность в соответствии с нормами изучаемого языка правильно конструировать грамматические формы и синтаксические построения.

Социолингвистическую компетенцию (способность использовать и преобразовывать языковые формы в соответствии с ситуацией иноязычного общения).

Социокультурную компетенцию: способность учитывать в общении речевое и неречевое поведение, принятое в стране изучаемого языка.

Социальную компетенцию: способность взаимодействовать с партнерами по общению, владение соответствующими стратегиями.



Дискурсивную компетенцию: способность понять и достичь связности отдельных высказываний в значимых коммуникативных моделях.

Стратегическую компетенцию: умение пользоваться наиболее эффективными стратегиями при решении коммуникативных задач.

Предметную компетенцию: знание предметной информации при организации собственного высказывания или понимания высказывания других людей.

Предметно-профессиональную: способность оперировать знаниями в условиях реальной коммуникации с представителями изучаемой культуры, проявление эмпатии, как способности понять нормы, ценности и мотивы поведения представителей иной культуры.

Коммуникативную: способность устанавливать и налаживать контакты с представителями различных возрастных, социальных и других групп родной и иной лингвокультур, возможность быть медиатором между собственной и иноязычными культурами.

Прагматическую компетенцию: умение выбирать наиболее эффективный и целесообразный способ выражения мысли в зависимости от условий коммуникативного акта и поставленной задачи

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- взаимосвязь, взаимовлияние и взаимодействие языка и культуры;
- роль языка как органической части культуры в жизни человека, его поведении и общении с носителями других языков и других культур, национальной самобытности и идентичность народов;
- представление о культурно-антропологическом взгляде на человека, его образ жизни, идеи, взгляды, обычаи, систему ценностей, восприятие мира – своего и чужого;
- влияние культуры посредством языка на поведение человека, его мировосприятие и жизнь в целом;
- историю возникновения, этапы развития и методы обучения межкультурной коммуникации;
- содержание понятия «культура», её роль в процессе коммуникации, а также соотношение с такими понятиями, как «социализация», «инкультурация», «аккультурация», «ассимиляция», «поведение», «язык», «идентичность», «глобальная гражданственность»;
- влияние различных социальных трансформаций на изменение культурной идентичности;
- особенности восприятия других культур, причины предрассудков и стереотипов в межкультурном взаимодействии;
- механизмы формирования межкультурной толерантности и диалога культур;
- типы, виды, формы, модели, структурные компоненты межкультурной коммуникации;

- нормы и стили межкультурной коммуникации;
- ментальные особенности и национальные обычаи представителей различных культур, культурные стандарты этнического, политического и экономического плана;
- языковую картину мира носителей иноязычной культуры, особенности их мировидения и миропонимания;
- этические и нравственные нормы поведения в инокультурной среде;
- языковые нормы культуры устного общения, этические и нравственные нормы поведения, принятые в стране изучаемого языка; стереотипы и способы их преодоления; нормы этикета стран изучаемого языка;
- методы системного и критического анализа; методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации;
- этапы жизненного цикла проекта; этапы разработки и реализации проекта; методы разработки и управления проектами;
- методики формирования команд; методы эффективного руководства коллективами; основные теории лидерства и стили руководства;
- правила и закономерности личной и деловой устной и письменной коммуникации; современные коммуникативные технологии на русском и иностранном языках; существующие профессиональные сообщества для профессионального взаимодействия;
- закономерности и особенности социально-исторического развития различных культур; особенности межкультурного разнообразия общества; правила и технологии эффективного межкультурного взаимодействия;
- методики самооценки, самоконтроля и саморазвития.

**уметь:**

- применять методы изучения культурных систем и межкультурных ситуаций;
- воспринимать, анализировать, интерпретировать и сравнивать факты культуры;
- определять роль базовых культурных концептов в межкультурной коммуникации;
- находить адекватные решения в различных ситуациях межкультурного общения;
- анализировать особенности межкультурной коммуникации в коллективе;
- рефлексировать ориентационную систему собственной культуры;
- распознавать и правильно интерпретировать невербальные сигналы в процессе межкультурного общения;
- составлять коммуникативный портрет представителя иной лингвокультуры;
- раскрывать значение понятий и действий в межкультурной ситуации;
- анализировать совпадения и различия в коммуникативном поведении с позиций контактируемых культур;

- адекватно реализовывать свое коммуникативное намерение в общении с представителями других лингвокультур;
- переключаться при встрече с другой культурой на другие не только языковые, но и неязыковые нормы поведения;
- определять причины коммуникативных неудач и применять способы их преодоления;
- занимать позицию партнера по межкультурному общению и идентифицировать возможный конфликт как обусловленный ценностями и нормами его культуры;
- успешно преодолевать барьеры и конфликты в общении и достигать взаимопонимания;
- раскрывать взаимосвязь и взаимовлияние языка и культуры;
- толерантно относиться к представителям других культур и языков;
- анализировать основные этапы и закономерности исторического развития общества для формирования гражданской позиции;
- уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям;
- использовать модели социальных ситуаций, типичные сценарии взаимодействия участников межкультурной коммуникации;
- руководствоваться принципами культурного релятивизма и этическими нормами, предполагающими отказ от этноцентризма и уважение своеобразия иноязычной культуры и ценностных ориентаций иноязычного социума;
- преодолевать влияние стереотипов и осуществлять межкультурный диалог в общей и профессиональной сферах общения;
- моделировать возможные ситуации общения между представителями различных культур и социумов;
- применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации;
- разрабатывать проект с учетом анализа альтернативных вариантов его реализации, определять целевые этапы, основные направления работ; объяснить цели и сформулировать задачи, связанные с подготовкой и реализацией проекта; управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла;
- разрабатывать план групповых и организационных коммуникаций при подготовке и выполнении проекта; сформулировать задачи членам команды для достижения поставленной цели; разрабатывать командную стратегию); применять эффективные стили руководства командой для достижения поставленной цели;
- применять на практике коммуникативные технологии, методы и способы делового общения для академического и профессионального взаимодействия;

- определять теоретическое и практическое значение культурно-языкового фактора при взаимодействии различных философских и научных традиций;
- понимать и толерантно воспринимать межкультурное разнообразие общества; анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия;
- решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности; применять методики самооценки и самоконтроля.

**владеть:**

- нормами этикета и поведения при общении с представителями иноязычной культуры;
- принципами толерантности при разрешении межкультурных противоречий;
- методами коммуникативных исследований, умением применять полученные знания в научно-исследовательской деятельности, устной и письменной коммуникации;
- коммуникативными стратегиями и тактиками, характерными для иных культур;
- навыками корректного межкультурного общения, самостоятельного анализа межкультурных конфликтов в процессе общения с представителями других культур и путей их разрешения;
- умением правильной интерпретации конкретных проявлений вербального и невербального коммуникативного поведения в различных культурах;
- навыками коммуникации в устной и письменной формах на русском и иностранном языках для решения задач межличностного и межкультурного взаимодействия;
- навыками деятельности с ориентиром на этические и нравственные нормы поведения, принятые в инокультурном социуме;
- необходимыми интеракционными и контекстными знаниями, позволяющими преодолевать влияние стереотипов и адаптироваться к изменяющимся условиям при контакте с представителями различных культур;
- методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций; методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий;
- методиками разработки и управления проектом; методами оценки потребности в ресурсах и эффективности проекта;
- умением анализировать, проектировать и организовывать межличностные, групповые и организационные коммуникации в команде для достижения поставленной цели; методами организации и управления коллективом;
- методикой межличностного делового общения на русском и иностранном языках, с применением профессиональных языковых форм, средств и современных коммуникативных технологий;

- методами и навыками эффективного межкультурного взаимодействия;
- технологиями и навыками управления своей познавательной деятельностью и ее совершенствования на основе самооценки, самоконтроля и принципов самообразования в течение всей жизни.

### **Темы и разделы курса:**

#### **1. Тема 1. Искусственный интеллект и сознание человека. Создание этических кодексов для искусственных интеллектуальных систем**

Обзор этических проблем при создании искусственного интеллекта. Проблема принятия самостоятельного решения и искусственного интеллекта. Этические ограничения на этапе программирования систем искусственного интеллекта. Проблема ответственности разработчиков систем искусственного интеллекта. Обзор основных подходов к пониманию этики искусственного интеллекта. Искусственный интеллект и проблема свободы воли. Законы А. Азимова и их критика современными ИТ специалистами. Сообщество человекоподобных роботов. Этико-философский анализ условий практического применения искусственного интеллекта. Анализ практики использования беспилотных автомобилей. Проблема возможной опасности со стороны искусственного интеллекта для человека. Проблема замещения биологических форм жизни техническими интеллектуальными системами. Искусственный интеллект и идея киборгизации тела человека. Искусственный интеллект и проблема социального неравенства.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: объяснять этические принципы искусственного интеллекта; обсуждать направления развития искусственного интеллекта и его роль в междисциплинарных исследованиях, дискутировать и выражать собственное мнение по различным вопросам возможной опасности со стороны искусственного интеллекта для человека.

#### **2. Тема 2. Искусственный интеллект в науке: социально-философские проблемы**

Внедрение искусственного интеллекта в жизнь человека, в том числе в различные области науки. Делегирование человеком части своей работы искусственному интеллекту. «Мнение» машин. Развитие экологии, медицины, космической отрасли при участии искусственного интеллекта. Социальная история искусственного интеллекта. Взаимодействие с искусственным интеллектом. Невидимая работа в системах искусственного интеллекта. Этика искусственного интеллекта. Автоматизированная наука. Социальные последствия автоматизации труда в результате внедрения систем искусственного интеллекта. Искусственный интеллект в физике и астрономии. Использование искусственного интеллекта для разработки новых моделей для решения сложных физических проблем. Целевые и нецелевые открытия. Системы «глубокого обучения». Практики коммуникации пользователей с системами искусственного интеллекта.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах на иностранном языке: описывать истоки возникновения искусственного интеллекта, основные положения его философии; рассказывать об особенностях развития искусственного интеллекта, дискутировать на заданную тематику.

### 3. Тема 3. Нейроэтика и биоэтика: основные подходы к соотношению регулятивов использования искусственного интеллекта в медицине

Разработка систем искусственного интеллекта и их практическое применение в различных сферах жизни общества обострило дискуссии об условиях и формах регулирования со стороны права и этики, связанных с искусственным интеллектом научных, технологических и социальных практик. Тема раскроет проблемное поле складывающейся междисциплинарной области исследований – нейроэтики на основе новейших программных документов, публикаций и авторских исследований в сравнении с биоэтикой.

Коммуникативные навыки: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: описывать области практического применения искусственного интеллекта; трансформировать научные тексты (из устной речи в письменную, из научного и научно-публицистического стиля в разговорный и т.д.); переводить научные тексты с учетом культурного контекста и жанрово-стилевой принадлежности.

### 4. Тема 4. Искусственный интеллект в образовании: цели, результаты, ограничения

Цели применения систем искусственного интеллекта в образовании. Основные результаты и риски применения технологий искусственного интеллекта в образовании. Типология целей применения систем искусственного интеллекта, соответствующая трем ключевым аспектам понимания образования (образование как система, образование как процесс, образование как результат). Применение систем искусственного интеллекта в образовании как проявление значимых трендов развития образования. Технологии искусственного интеллекта и проблемы управления образованием: на пути к формированию доказательной образовательной политики. Критерии оценки эффективности поддержки искусственным интеллектом управленческих решений в образовательной сфере. Трансформация моделей взаимодействия субъектов образования при внедрении систем искусственного интеллекта: влияние на автономность и ответственность субъектов, на результаты социализации и воспитания, на трудоемкость и прозрачность образовательного процесса. Перспективы появления систем «человек-ИИ» как обучаемых агентов. Искусственный интеллект как инструмент мониторинга и фиксации образовательных достижений и затраченных ресурсов. Цифровой образовательный след как товар. Конфликты автономии субъектов и статуса персональных данных. Ключевые риски использования искусственного интеллекта в образовании. Проблемы экзистенциальной безопасности человека в образовании и антропологическая сущность образования. Социогуманитарная экспертиза целей и практик применения искусственного интеллекта в образовании: цели и формы.

Коммуникативные навыки: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: обсуждать применение технологий искусственного интеллекта в образовании; приводить примеры возможностей использования искусственного интеллекта в различных отраслях научного знания; рассуждать и приводить различные примеры недостатков и перспективы появления систем «человек-ИИ» как обучаемых агентов.

### 5. Тема 5. Искусственный интеллект и современное искусство

Исторические аспекты использования технологии искусственного интеллекта в искусстве. Проекты Г.Козна Трансформация представлений о том, что такое искусство, творчество,

кто есть художник/творец в связи с применением искусственного интеллекта. Анализ проектов арт-группы 18apples. Проекты арт-группы Obvious, их влияние на развитие science-art.

Коммуникативные навыки:

осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: строить логические высказывания о использовании технологий искусственного интеллекта в искусстве, рассуждать о трансформации представлений о том, что такое искусство, творчество, кто есть художник/творец, возможностях проектов арт-группы 18apples, арт-группы Obvious, их влияние на развитие science-art, жизненных перспективах.

6. Тема 6. Этическое регулирование технологий искусственного интеллекта: ключевые подходы

Специфика этического регулирования искусственного интеллекта. Обзор основных подходов этического регулирования искусственного интеллекта. Кодекс этики в сфере искусственного интеллекта.

Коммуникативные навыки: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: рассказывать о собственной социальной позиции и основных подходах к этическому регулированию искусственного интеллекта; осуществлять поиск необходимой информации по тематике; рассуждать на тему Кодекса этики в сфере искусственного интеллекта.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Аномальные режимы переноса в сильно неоднородных средах**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами на современном уровне знаний и навыков по моделированию процессов переноса примеси в сильно неоднородных средах, в первую очередь, применительно к проблеме безопасного захоронения радиоактивных отходов.

#### **Задачи дисциплины:**

- Формирование у студентов базовых знаний в области моделирования миграции частиц в средах с различными свойствами;
- Обучение студентов навыкам выделять существенные физические процессы, с точки зрения моделирования проблемы в целом
- Обучение студентов методам качественных оценок в области прикладных задач процессов переноса;
- Ознакомления студентов с приемами точных решений в области изучаемой дисциплины и сопоставления точных решений с качественными оценками;
- Обучения студентов методам и приемам применения современных моделей к решению задач безопасного захоронения радиоактивных отходов.
- Формирование у студентов навыков выполнения исследований в области решения практических задач в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Фундаментальные понятия и законы переноса частиц примеси в гетерогенных средах;
- Новейшие представления о характеристиках неоднородных неупорядоченных сред (в первую очередь, применительно к свойствам геологических формаций);
- Современные модели переноса в неоднородных средах различного типа: регулярно-неоднородных, статистически однородных, фрактальных.
- Порядки численных величин характерных для различных типов переноса в средах различного типа;



- Способы оценки надежности и безопасности захоронения радиоактивных отходов, с точки зрения действия геологических барьеров.

**уметь:**

- Выделять существенные физические процессы, с точки зрения моделирования проблемы в целом;
- Производить численные оценки по порядку величины;
- Выбирать адекватную модель для описания миграции радионуклидов в геологической среде определенного типа;
- Оценивать способность геологических формаций определенного типа препятствовать распространению опасных загрязнений;
- Формулировать требования к выбору естественных геологических барьеров, исходя из свойств и представлений о характеристиках радионуклидов, подлежащих захоронению;
- Оценивать степень надежности и безопасности хранилищ РАО с точки зрения скорости преодоления опасными примесями геологического барьера.

**владеть:**

- Навыками выделять существенные физические процессы, с точки зрения моделирования проблемы в целом;
- Культурой проведения численных оценок по порядку величины;
- Опытном выбором адекватной модели для описания миграции радионуклидов в геологической среде определенного типа;
- Практикой оценки способности геологических формаций определенного типа препятствовать распространению опасных загрязнений;
- Навыками формулирования требований к естественным геологическим барьерам, исходя из представлений об их свойствах и характеристиках радионуклидов, подлежащих захоронению;
- Методами оценки степени надежности и безопасности хранилищ РАО с точки зрения скорости преодоления опасными примесями геологических барьеров.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение. Перенос примеси в однородной среде.
  1. Среднее смещение и дисперсия.
  2. Функция плотности вероятности.
  3. Комбинаторное рассмотрение.
  4. Уравнение переноса и его решение.

5. Распределение концентрации частиц в основном облаке и на асимптотически далеких расстояниях.
  6. Режим классической адвекции-диффузии.
  7. Простейшие примеры аномальных режимов переноса
- 
2. Простейшие сильно неоднородные среды.
    1. Простая модель Дыхне для одной трещины. Качественный анализ и точное решение.
    2. «Быстрая» и «медленная» подсистемы. Медленная среда как ловушка.
    3. Плоская и цилиндрическая геометрии.
    4. Режим субдиффузии.
    5. Изменение режимов переноса со временем
- 
3. Простая модель Дыхне для сред, содержащих системы трещин.
    1. Понятие активного числа трещин.
    2. Степенной и логарифмический субдиффузионный режимы.
    3. Гребешковые структуры
- 
4. Перенос в регулярно- неоднородных средах, обусловленный адвекцией.
    1. Обобщенная модель Дыхне. Режим квазидиффузии.
    2. Слоистые среды. Случайное и регулярное распределение скоростей.
    3. Корреляционная функция скорости.
    4. Супердиффузия в модели слоистой среды
- 
5. Сильно контрастные среды с фрактальными свойствами.
    1. Свойство самоподобия. Определение фрактала.
    2. Фрактальная размерность (емкость). Область фрактальности.
    3. Простейшие примеры регулярных фракталов. Случайные фракталы.
    4. Пересечение фрактальных множеств.
    5. Фрактальные свойства систем трещин в геологических средах и корреляционная функция поля скоростей инфильтрации в них.
    6. Мультифракталы.

## 6. Основы теории перколяции.

1. Простейшие задачи связей и узлов.
2. Перколяционные кластеры.
3. Порог протекания. Бесконечный кластер.
4. Остов и мертвые концы перколяционных кластеров. Корреляционная длина.
5. Фрактальная размерность и критические индексы. Универсальность критических индексов для перколяционных моделей.
6. Континуальные модели перколяции.

## 7. Диффузия частиц на кластерах с фрактальными свойствами.

1. Временной скейлинг для миграции частиц на салфетке Серпинского. Метод пространственной ренормировки.
2. Диффузия по перколяционному кластеру с конечной корреляционной длиной на малых и больших временах. Смена режимов переноса.

## 8. Режимы переноса, обусловленные случайной адвекции в перколяционных средах.

1. Критический индекс степенного убывания корреляционной функции скорости  $h$ .
2. Режимы переноса в зависимости от значения  $h$ . Качественная интерпретация.
3. Влияние ловушек на режим переноса.

## 9. Модель случайных блужданий в непрерывном времени.

1. Основные положения модели CTRW.
2. Выражение для плотности вероятности распределения частиц в Фурье-Лаплас представлении.
3. Полеты и прогулки Леви.

## 10. Перенос в двупористых средах.

1. Классическая модель двупористой среды. Эффективные константы переноса на «больших» временах. Трудности классической двупористой модели.
2. Неравновесная модель двупористой среды.
3. Функция памяти. Асимптотические выражения для функции памяти при больших и малых значениях переменной Лапласа. Режимы переноса.
4. Коллоидно-усиленный перенос в резко-контрастных средах с двупористой структурой .

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Астрофизика сверхвысоких энергий**

#### **Цель дисциплины:**

Целью освоения курса астрофизики сверхвысоких энергий является ознакомление студентов с основными источниками жесткого гамма-излучения, методами его регистрации и процессами излучения жестких фотонов. Представление наиболее реалистичных моделей источников излучения и критический разбор наиболее популярных из них.

#### **Задачи дисциплины:**

Ознакомление студентов с современным состоянием астрофизики сверхвысоких энергий. Усвоение студентами основных физических процессов характерных для АСВЭ. Обучение их решению простых задач, которые позволяют проверить реализуемость обсуждаемых моделей.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Основные наблюдательные данные и свойства источников в АСВЭ. Основные каналы излучения энергичных фотонов. Процессы ускорения нетепловых частиц. Методы и инструменты регистрации высокоэнергичных фотонов, нейтрино и космических лучей.

##### **уметь:**

Критически оценивать модели, обсуждаемые в АСВЭ и уметь оценивать основные параметры излучающих систем.

##### **владеть:**

Современным состоянием развития АСВЭ.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Введение

Введение в астрофизику сверхвысоких энергий: объекты исследований и методы наблюдений.

## 2. Элементы гидродинамики

Введение в гидродинамику. Условия на разрыве. Ударная адиабата, задача о произвольном разрыве. Решение Седова. Решение Блэндфорда-Макки.

## 3. Релятивистские инварианты

Релятивистская кинематика. Преобразования Лоренца. Преобразования скоростей. Релятивистская абберрация. Преобразование величин, относящихся к излучению. Релятивистские инварианты.

## 4. Синхротронное и комптоновское излучение

Тормозное излучение. Релятивистское обобщение формулы Лармора. Синхротронное излучение одного электрона. Полные потери энергии. Изгибное излучение. Томсоновское рассеяние. Формула Комптона. Обратное комптоновское рассеяние в томсоновском приближении. Потери энергии одного электрона при комптоновском рассеянии.

## 5. Рождение и аннигиляция пар

Сечения электромагнитных процессов в КЭД. Рождение и аннигиляция пар. Параметр компактности астрофизических источников и его физический смысл. Параметр компактности гамма-всплесков. Горизонт видимости высокоэнергичных фотонов во Вселенной.

## 6. Адронные процессы

Адронные процессы рождения фотонов и нейтрино (протонный синхротрон, протон-протонное, фото-мезонное взаимодействие). Черенковское излучение релятивистских частиц. Потери энергии заряженных частиц при распространении в межгалактической среде. Эффект Грйзена-Зацепина-Кузьмина.

## 7. Методы детектирования гамма излучения

Методы детектирования гамма излучения сверх высоких энергий: космические аппараты, наземные оптические Черенковские телескопы, наземные детекторы широких атмосферных ливней. Методы детектирования нейтрино сверх высоких энергий.

## 8. Космические лучи. Ферми ускорение

Космические лучи. Ферми ускорение. Пересоединения. Критерий Хиласа. Гамма-излучение галактического диска и галактического центра.

## 9. Механизм Блэндфорда-Знаека и джеты

Механизм Блэндфорда-Знаека и Блэндфорда-Пэйна. Ускорение и коллимация струйных выбросов. (Приближенный вывод мощности механизма БЗ).

## 10. Остатки сверхновых

Остатки сверхновых. Ускорение космических лучей и напряженность магнитного поля. Лептонные и адронные модели излучения. Пузыри Ферми и eROSITA. Оценка физических параметров.

## 11. Перионы

Современные представления о потерях энергии вращения нейтронных звёзд в пульсарах. Перионы. Быстро движущиеся одиночные пульсары и структуры с ними связанные.

## 12. Гамма яркие двойные звезды

Гамма яркие двойные звезды. Наблюдения и возможные модели.

## 13. Активные ядра галактик и квазаров

Активные ядра галактик и квазаров. Основные наблюдаемые характеристики и феноменологические зависимости. Физические механизмы активности. Природа стационарных источников гамма излучения.

## 14. Быстрая переменность в активных ядрах галактик

Быстрая переменность в активных ядрах галактик, модели, моделирование и критика. (Размер излучающего источника).

## 15. Космические гамма-всплески

Космические гамма-всплески. Основные феноменологические данные. Методы наблюдений. Проблема компактности и необходимость релятивистского течения. Основные физические модели. Модели излучения гамма всплесков.

(Оценка оптической толщи ГВ, ограничение на Лоренц фактор)

## 16. Многоволновая астрономия

Многоволновая астрономия, гравитационные волны и нейтрино. Детекторы гравитационных волн. Детекторы нейтрино высоких энергий.

## Аннотации к рабочим программам дисциплин.

Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность: Общая и прикладная физика

### Астрофизический нуклеосинтез

#### Цель дисциплины:

- освоение студентами фундаментальных знаний в области нуклеосинтеза тяжелых ядер, изучение методов исследования нуклеосинтеза в различных сценариях, численных схем моделирования нуклеосинтеза, а также областей практического применения полученных результатов;
- формирование качественной картины образования химических элементов и классификации основных процессов нуклеосинтеза в природе;
- формирование исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

#### Задачи дисциплины:

- формирование базовых знаний в области ядерной астрофизики как дисциплины, интегрирующей общезначимую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей математические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов принципам создания моделей нуклеосинтеза, применения их к существующим и развивающимся сценариям эволюции космологических объектов, выявления характеристик и каналов реакций, наиболее важных для их решения;
- формирование методических приемов для выполнения исследований студентами в области ядерной астрофизики в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- способы расчета сечений и скоростей реакций различных термоядерных реакций;

характеристики различных астрофизических процессов, и возможности развития различных сценариев образования химических элементов.

**уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- работать на современной вычислительной технике;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение работы;
- оценивать и рассчитывать скорости термоядерных реакций;
- развивать сценарии нуклеосинтеза, адекватные физическим условиям;
- реализовывать сценарии с помощью математических моделей;
- решать описывающие нуклеосинтез уравнения и системы уравнений.

**владеть:**

- планированием, постановкой и обработкой результатов физических задач;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории
- математическим моделированием физических задач.
- различными методами вычислительной математики и ядерной физики, позволяющими решать задачи астрофизического нуклеосинтеза.

**Темы и разделы курса:**

1. Ядерная астрофизика и нуклеосинтез. 4 Ядерные эпохи: от Большого Взрыва до наших дней; основные характеристики Солнца

Основные тенденции развития ядерной астрофизики. Основные понятия и величины. Механизм выработки энергии в звездах. Основные характеристики звезд. Рождение звезды, химический состав звезд.

2. Нуклеосинтез во Вселенной и распространенность элементов в природе

Классификация фундаментальных процессов нуклеосинтеза легких и тяжелых элементов. Обойденные изотопы. Распространенность элементов: а) схема кругооборота вещества во вселенной; б) нуклеосинтез в звезде; в) выброс вещества межзвездную среду в конце эволюции звезды; г) изменение химического состава среды во Вселенной. Классификация процессов нуклеосинтеза: кривая распространенности и карта ядер.

3. Механизмы образования новых элементов, термоядерные реакции



Ядерные реакции, в т. числе при низких энергиях; эксперимент, теория; ядерные реакции и нуклеосинтез при низких энергиях; составное ядро, ядерные ширины, сечение реакции; нерезонансное сечение захвата нейтрона; нерезонансное сечение взаимодействия заряженных частиц; резонансные сечения, формула Брейта-Вигнера; Астрофизический фактор, скорости прямых и обратных реакций, пороговые реакции.

#### 4. Термоядерные реакции и генерация энергии

Кинематика ядерных реакций; энергия связи атомных ядер - описание, теории, расчеты; массовые формулы и модели; энергия связи и оболочечная модель ядра.

#### 5. Скорости реакции

Роль массовых моделей в расчете скоростей ядерных реакций. Термоядерные реакции: общий формализм расчета скоростей реакций, усредненных по максвелловскому спектру; понятие о теории Хаузера-Фешбаха; скорости прямых и обратных реакций; аналитические формулы для термоядерных реакций. Таблицы и базы данных.

#### 6. Реакции распада и деления

Радиоактивный распад, альфа –распад, бета-распад и слабые взаимодействия, бета-спектры, влияние кулоновского поля; силовая функция бета-распада, запаздывающие процессы, фотореакции и деление ядер; спонтанное, вынужденное и запаздывающее деление; распределение ядер – продуктов деления; барьеры деления и параметр делимости; радиоактивные ряды и синтез трансуранов.

#### 7. Горение гелия, CNO-цикл. Горение углерода и кислорода; горение кремния

Термоядерное горение, циклы.

Горение водорода. Протон-протонная цепочка, ветвление, энерговыделение.

Горение гелия. CNO-цикл, Ne-цикл и Mg-Al-цикл. Горение углерода и кислорода. Горение кремния.

Равновесные процессы и процессы взрывного горения.

#### 8. Реакции под действием нейтронов

Образование химических элементов за Fe-пиком.

Реакции под действием нейтронов: условия протекания, предельные случаи.

Связь оболочечной модели и распространенности элементов в природе.

s, r- процессы; “чистые” r- и s- элементы, экранировка.

#### 9. S-процесс

Образование элементов тяжелее железа; медленный S-процесс.

Условия протекания и обогащения межзвездной среды; схема образования элементов; теория, модели, точное решение уравнений s-процесса; источники нейтронов; зависимость  $p$  от массового числа  $A$ .

#### 10. r-процесс – взрывное образование тяжелых элементов

Принципиальные отличия от s-процесса, сходство; источники нейтронов при быстром нуклеосинтезе; 3-альфа реакция; Связь энтропии и зародышевых ядер; механизмы обогащения тяжелыми элементами межзвездной среды.

Точное решение уравнений r-процесса; объяснение наблюдаемых распространенностей.

#### 11. Классические модели нуклеосинтеза

Статические модели, понятие траекторий; проблема зародышевых ядер и источник нейтронов; модели: стационарный ток ядер, суперпозиция траекторий; Две стадии быстрого нуклеосинтеза.

#### 12. Динамические модели нуклеосинтеза

Кинетическая модель – полная сетка ядерных реакций; переходные процессы; проблема зародышевых ядер и источник нейтронов; Численное решение уравнений нуклеосинтеза; путь r-процесса и формирование пиков на кривой распространенности.

#### 13. Сценарии r-процесса

Основная компонента R-процесса; нуклеосинтез при больших значениях энтропии; Килоновая, слияние нейтронных звезд в тесных двойных системах; джеты; роль деления; сверхтяжелые элементы.

#### 14. Основной и дополнительный r-процесс

Слабая компонента R-процесса; горячий ветер над поверхностью нейтронных звезд; взрывы сверхновых: SN1a, коллапсирующие сверхновые и нейтринный нуклеосинтез: роль нейтрино в образовании тяжелых элементов.

#### 15. Галактический нуклеосинтез и возраст Вселенной

Галактический нуклеосинтез по Фаулеру. Экспоненциальный и равномерный нуклеосинтез.

Влияние вспышек сверхновых. Пары космохронометров и возраст Вселенной.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Быть зрителем**

#### **Цель дисциплины:**

Создание макрообъяснительной модели становления и развития современной театральной культуры и перформативных практик на базе антропологических исследований.

#### **Задачи дисциплины:**

- знакомство слушателей с методами анализа современного театра и шире – театральной культуры, которые существуют на стыке разных дисциплин (театроведение, performance studies, cultural studies, социология театра, социология культуры);
- освоение особенностей истории развития и функционирования современной театральной культуры: специфики ее институционального функционирования, ее жанровых и текстовых особенностей; а также места театра в современной культуре;
- формирование представлений о принципах написания истории театра сегодня; - Знакомство слушателей с разными типами работы с театральным материалом;
- формирование навыков обращения с конкретными театральными высказываниями (анализа спектаклей, театрального критического дискурса и т.п.) и ориентации в современной театральной ситуации);
- создание дискуссионной беседы об изученном вопросе.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- общие тенденции в современных исследованиях театра;
- специфику современного театра как культурного феномена и о современные подходы к его изучению.

##### **уметь:**

- самостоятельно включать знания по истории театра в общий культурный контекст.

##### **владеть:**

- первичными навыками работы с научной литературой и источниками.

## **Темы и разделы курса:**

### 1. Режиссер и актер как культурные герои эпохи модернити

#### Тема 1. Режиссер и актер как культурные герои эпохи модернити.

Презентация основных идей, методов и оптик работы с явлениями современного театра. Понимание театра как сложного культурного явления, имеющего свою институциональную структуру, где «нетеатральные» (экономические, технологические, социальные) составляющие рассматриваются с собственно театральной компонентой (спектакль как результат коллективного творчества) в неразрывной связи. Классическое театроведение и проблема исследования современного театрального процесса. Проблема фиксирования театральных явлений (источники изучения истории театра). Исключение современного театра из исследовательского контекста в российском театроведении. Концепция литературного поля П.Бурдьё и ее применимость к контексту современного театра. Проблематизация «современного театра» в зарубежных исследованиях. Концепт «постдраматического театра» (Х.-Т. Леманн). Э.Фишер-Лихте о театре и перформансе. Базовые понятия курса (режиссерский театр, постдраматический театр, «театр художника», перформанс, новая драма). Исследовательский текст как пример: его устройство, проблемы, поставленные и решенные.

### 2. Морфология театрального спектакля: темы – сюжеты - интриги

«Как сделан» театральный спектакль: внутренние и внешние границы театрального спектакля. Семиотика театра. Основные агенты «театрального поля»: драматург, режиссер, актер, зритель, критик.

### 3. Театр в большом городе

Поход в театр как культурная практика. Феномен театромании. Театр как городской институт в европейской культуре: исторический экскурс. Театр в большом городе. Топография, социология и антропология зрительного зала. Как устроен театр. «Театр начинается с вешалки»?

Театральная карта большого города. Можно ли говорить о театральной географии? Понятие театральной географии. Театр и «гений места». Театральная жизнь в Париже в XIX веке. П.Бурдьё о парижских театрах на Правом и Левом берегу Сены. Театральная география современной Москвы.

### 4. Актер – роль – маска –амплуа - имидж

Представление себя другим в повседневной жизни и различных социальных и культурных практиках. Театральные коды в публичной жизни большого города в Европе XVIII-XX вв. (Р.Сеннет, И.Гофман). «Работа актера над собой» Станиславского и влияние его концепции на формирование идентичности человека XX века. Концепция осуждения Бертольта Брехта и ее влияние на формирование идентичности человека XX века. «Общество спектакля» Ги Дебора.

## 5. Спектакль. Драматическая ситуация; Сцена и зрелище. Шоу-бизнес. Театр и ритуал

Драматическое и «спектаклевое» мышление в современной массовой культуре. Драматическая интрига. Как рассказать историю театральными средствами. Концепт постдраматического.

Массовость и соборность в современной культуре. Судьба античного хора в истории европейского театра. Театр и массовые сцены. Массовые сцены в современных шоу. Коллективные персонажи в музыкальном театре. Зрелищные аспекты современной культуры. Шоу как жанр и метафора. Элементы зрелищности в современном театре: мюзикл.

## 6. Театр без зрителя. Театр и эксперимент. Лабораторный театр. Возникновение идеи театра без зрителя

Пафос и сильные чувства: их источники в культуре современности. Современный театр в поисках катарсиса. Жанр трагедии в современном театре.

Пространственные и временные аспекты театрального спектакля. Контртеатральные жесты в современном театре. Понятие границы в современном театре. Нарушение пространственных и временных границ как контртеатральный жест

Театр как «вещь в себе». Театр без зрителя. Театр и эксперимент. Лабораторный театр. Возникновение идеи театра без зрителя. «Бедный театр» Ежи Гротовского. Эксперименты Анатолия Васильева.

Слово и дело в театральном спектакле. Театр и перформанс. Сближение театра и перформанса в современной культуре. Антонен Арто и его «театр жестокости». Театр и сюрреализм. Концепции перформативности Э.Фишер-Лихте и К.Чухров.

## 7. Интрига непредсказуемости в современных культурных практиках. Театр и спорт

Театр как искусство сиюминутности. Интрига непредсказуемости в современных культурных практиках. Театральные аспекты современного спорта. Эффект прямого эфира в современной культуре. Новая жизнь импровизации и открытого финала в современном театре. Современный спорт: тело, технология, шоу, прямой эфир, открытый финал. Спортивный болельщик и театральный зритель: сопоставительный анализ.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в астрофизику**

#### **Цель дисциплины:**

- формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических концепций в области астрофизики;
- развитие умений, основанных на полученных теоретических знаниях, позволяющих создавать и применять физические модели для исследования астрофизических явлений;
- получение студентами навыков самостоятельной исследовательской работы с использованием специфических методов астрофизики;
- получение практических навыков использования данных современных наземных и орбитальных обсерваторий для решения задач астрофизики.

#### **Задачи дисциплины:**

- получение базовых знаний, необходимых студенту для проведения научных исследований в рамках своей магистерской работы.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные астрофизические явления и классы объектов;
- основы теории переноса излучения;
- механизмы генерации, поглощения и рассеяния излучения в Галактике и Метагалактике;
- внутреннее строение и основные свойства звезд, этапы формирования и эволюции звезд;
- физические свойства и астрофизические проявления релятивистских компактных объектов.

##### **уметь:**

- пользоваться знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач астрофизики;
- видеть в задачах физическое содержание;

- делать численные оценки по порядку величины;
- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций в астрофизике;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

**владеть:**

- работы с современной научной литературой по данному вопросу;
- культурой постановки и моделирования астрофизических задач;
- практикой исследования и решения астрофизических задач;
- навыками теоретического анализа реальных астрофизических задач.

**Темы и разделы курса:**

1. Основные астрономические понятия

Основные космические масштабы: расстояния, времена, массы, плотности, температуры. Солнечные единицы. Параллакс. Основные характеристики электромагнитного излучения: интенсивность, поверхностная яркость, поток, светимость. Излучение абсолютно черного тела. Звездная величина.

2. Перенос излучения

Уравнение переноса. Функция источника. Оптическая толщина. Закон Кирхгофа. Образование спектральных линий. Потемнение к краю.

3. Тормозное излучение

Основные формулы и их вывод, включая случай теплового тормозного излучения.

4. Синхротронное излучение

Основные формулы и их вывод, включая случай синхротронного излучения электронов со степенным распределением энергий.

5. Комптоновское и обратное комптоновское излучение

Изменение частоты фотона в результате рассеяния. Сечение и угловая диаграмма рассеяния. Торможение электрона в изотропном поле излучения. Нагрев/охлаждение плазмы в поле излучения. Эддингтоновская светимость.

6. Комптоновское взаимодействие изотропного поля излучения с бесконечной однородной средой

Уравнение Компанейца и его свойства. Эффект Сюняева- Зельдовича в скоплениях галактик.

7. Формирование рентгеновских спектров в результате комптонизации

Формирование степенного спектра излучения в облаке горячего газа. Отражение рентгеновских лучей от оптически толстой холодной среды. Фотопоглощение, флуоресценция.

#### 8. Формирование звезд

Образование звезд в результате гравитационной неустойчивости газа. Джинсовская масса.

#### 9. Внутреннее строение звезд

Тепловая устойчивость стационарных звезд. Вириальная теорема для звезд. Температура в центре Солнца. Термоядерное горение в звездах. Эффективность энерговыделения. Основные циклы термоядерного горения. Солнечные нейтрино. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела. Типы и классы звезд. Движение фотонов в недрах Солнца. Уравнения, описывающие внутреннее строение звезд. Роль давления излучения. Соотношения масса-светимость, масса-радиус и масса-время жизни для звезд главной последовательности.

#### 10. Эволюция звезд

Вырождение вещества в ядрах звезд. Белые карлики: основные свойства, предел Чандрасекара на массу. Нейтронные звезды: основные свойства, предел Оппенгеймера-Волкова на массу. Сход звезды с главной последовательности. Стадия гиганта/сверхгиганта. Сверхновые звезды: спектральная и физическая классификация. Конечная судьба звезд разных масс.

#### 11. Двойные звезды

Функция масс, нижний предел на массу компаньона. Изменение размера двойной системы при обмене веществом между компонентами и отводе углового момента. Механизмы отвода углового момента.

#### 12. Эволюция тесных двойных систем

Полости Роша, типы двойных систем по Рошу. Стадии эволюции тесной системы из двух массивных звезд. Гамма-всплески.

#### 13. Пульсары

Основные свойства. Торможение вращения. Модель наклонного ротатора. Световой цилиндр. Диаграмма период-темп изменения периода. Возраст пульсаров. Скачки в периоде вращения. Магнитары.

#### 14. Аккреция на компактные объекты

Энергетическая эффективность аккреции на компактный объект. Характерная температура излучения при аккреции на белый карлик, нейтронную звезду, черную дыру. Классификация рентгеновских двойных систем. Методы оценки масс компактных объектов.

#### 15. Аккреционный диск около черной дыры

Основы теории тонкого аккреционного диска, спектр излучения такого диска. Приближение Шакуры-Сюняева для вязкости.

#### 16. Аккреция на нейтронные звезды



Случай слабозамагниченной нейтронной звезды: пограничный слой, барстеры. Рентгеновские пульсары: радиусы магнитосферы и коротации, размер полярной шапки, закручивание нейтронной звезды. Миллисекундные пульсары.

#### 17. Сверхмассивные черные дыры

Доказательство присутствия черных дыр в ядрах галактик. Активные ядра галактик: спектральная классификация, схема объединения различных типов, кажущееся сверхсветовое движение выбросов вещества.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в доказательное искусствознание**

#### **Цель дисциплины:**

Познакомить студентов с современными понятиями, методами и подходами исследования искусства, в основе которых лежит принцип доказательности, расширить возможности и опыт восприятия произведений искусства, способствовать формированию гармоничной творческой личности с широким горизонтом творческого потенциала.

#### **Задачи дисциплины:**

- Дать представление о теоретических основах исследования искусства
- Знакомство с научными основаниями методов и практик доказательного искусствознания
- Расширение возможностей и опыта восприятия произведений искусства

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- классические и новые научные результаты в области гуманитарных наук, в частности, искусствознания, необходимые для осуществления профессиональной и гуманитарной деятельности;
- основные методы и исследования в области искусствознания и их связи с методологией точных и естественных наук.

##### **уметь:**

- критически оценивать различные подходы и интерпретировать их с точки зрения научной доказательности;
- выбирать адекватный метод анализа в соответствии с исследовательской задачей.

##### **владеть:**

- способом освоения классических и новых знаний в профессиональной и гуманитарной деятельности;

□ навыками восприятия, осмысления и оценки произведений художественной культуры.

### **Темы и разделы курса:**

1. Основные понятия и язык науки об искусстве. Критерии научности в искусствознании

Искусствознание в системе гуманитарных наук. История искусства, теория, критика. Виды и жанры. Понятие формы, стиля. Проблема и критерии научности в искусствознании. Особенности научного языка.

2. Подходы и суждения об искусстве в античности и средневековье

Концепции Аристотеля и Платона. Понятие «мемесиса» и «катарсиса». Труды Витрувия. Особенности понимание искусства в средние века. Проблема канонического искусства.

3. Понимание искусства в эпоху Возрождения. Концепции и подходы

Концепции и подходы. Гуманизм. Открытия Леонардо да Винчи.

Концепция Вазари.

4. Формирование искусствознания как науки. Концепции искусства в эпохи классицизма, просвещения и романтизма

Складывание концепций искусства в эпоху классицизма и барокко. Академическая система. Концепции и подходы периода классицизма, просвещения и романтизма. Труды Винкельмана, концепции Гете, Лессинга. Искусствоведческая мысль в русской культуре 17-19 веков.

5. Основы современных методов и подходов в изучении искусства

Г. Вельфлин. Научное понимание проблемы стиля. Проблема внутренней логики художественной формы. «Основные понятия истории искусства». Понятие об иконологии. Символические смыслы искусства. Аби Варбург и Э. Пановский. Теоретики венской школы. А. Ригль и проблема «художественной воли». М. Дворжек: история искусства как история духа. Р. Арнхейм. Визуальное восприятие и визуальное мышление. Концепции Э. Гомбриха.

6. Доказательное искусствознание. Уровни и методы анализа

Искусствоведческое исследование как научная задача: способы и алгоритмы ее решения. Проблема системности подхода. Синтез современных подходов к искусствоведческому исследованию, основанный как на использовании формально-стилистических методов, так и на воссоздании культурно-исторических и смысловых контекстов на базе анализа текстов источников (документальных, литературных, эпистолярных).

Выставочный проект как способ презентации результатов научного исследования.

7. Практическое применение доказательных подходов

Проблемы подлинности и атрибуция произведений искусства как искусствоведческая задача.

## Аннотации к рабочим программам дисциплин.

Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность: Общая и прикладная физика

### Введение в квантовую хромодинамику

#### Цель дисциплины:

формирование у студентов представления о современном состоянии КХД и калибровочных полях в контексте квантовой теории поля.

#### Задачи дисциплины:

обучение студентов основным принципам и методам теории калибровочных полей, подготовка студентов к проведению исследований в области КХД, калибровочных полей и смежных областях теоретической и математической физики.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### знать:

основные принципы теории калибровочных полей, пертурбативные и, отчасти, непертурбативные методы КХД

##### уметь:

вычислять древесные и однопетлевые амплитуды и функции Грина

##### владеть:

диаграммной техникой

#### Темы и разделы курса:

1. Классическая теория калибровочных полей

Введение. Алгебра  $su(N)$ . Калибровочная инвариантность. Наблюдаемые. Инвариантное действие. Уравнения движения. Гамильтониан. Топологический заряд. Инстантоны. Явные решения.

## 2. Квантование калибровочных теорий

Квантование систем со связями первого рода. Фиксация калибровки. Духи Фаддеева-Попова. Правила Фейнмана. Грибовские копии. Тожества Славнова-Тэйлора. Калибровка внешнего поля.

## 3. Основы перенормировок

Ультрафиолетовые расходимости и регуляризация. Разные типы регуляризаций. Перенормируемость.

Перенормировки пропагаторов, вершин, заряда. Неоднозначности.

## 4. Эффективный заряд и асимптотическая свобода

Вычисление бета-функции. Асимптотическая свобода. Размерная трансмутация и лямбда кхд.

Метод внешнего поля. Аномалия в следе тензора энергии-импульса.

## 5. Инфракрасные и коллинеарные расходимости

Инфракрасные расходимости и их сокращение. Коллинеарные расходимости. Теорема КЛН.

Дважды логарифмическая асимптотика.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в когнитивные науки**

#### **Цель дисциплины:**

Познакомить студентов с основами фундаментальных социальных, психологических и нейрофизиологических наук в изучении механизмов развития когнитивного потенциала человека.

#### **Задачи дисциплины:**

- Дать представление о теоретических основах и истории когнитивных наук.
- Ознакомить с методами психологического, нейронаучного и математического анализа в когнитивных науках,
- Развить у студентов навык осваивать и анализировать современные нейронаучные и психофизиологические исследования в области когнитивных наук.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- классические и новые научные результаты в области педагогических, психологических и естественных наук, необходимые для осуществления профессиональной и гуманитарной деятельности;
- основные методы и исследования в области психофизиологии, её связи с нейрокибернетикой, компьютерным моделированием, нейротехнологиями и другими дисциплинами.

##### **уметь:**

- критически оценивать различные подходы и интерпретировать их с точки зрения когнитивной нейронауки;
- выбирать адекватный метод математического анализа в соответствии с исследовательской задачей.

##### **владеть:**

- способном освоения классических и новых знаний в профессиональной и гуманитарной деятельности;
- применением методов математического моделирования и статистической обработки результатов когнитивной нейронауки.

### **Темы и разделы курса:**

#### **1. Базовые концепции и история когнитивных наук**

Определение когнитивных наук. когнитивные науки как междисциплинарная область исследований. Основные дисциплины когнитивной науки: психология, лингвистика, нейронаука, информатика, когнитивная антропология, философия.

#### **2. Основные понятия (язык) психологии**

Психология как наука, изучающая закономерности возникновения, развития и функционирования психики и психической деятельности человека и групп людей. Фундаментальная психология, механизмы и законы психической деятельности, прикладная психология, психические явления в естественных условиях, практическая психология, психиатрия, психотерапия, проблемы эмоционального, личностного, социального характера.

#### **3. Основные понятия (язык) нейронауки**

Нейробиология, Нейрофизиология Клиническая нейронаука Когнитивная нейробиология Культурная нейронаука Нейролингвистика Нейропсихология. Нейроэвристика. Нейроэтология. Психофизиология. Социальная нейронаука, нейроархитектура, нейроэтика, нейроэкономика

#### **4. Основные методы психологии и педагогики**

Методы сбора информации (самонаблюдение, наблюдение, изучение результатов деятельности, изучение документов, метод опроса, метод тестов, эксперимент, биографический метод); методы обработки данных (статистический анализ, другие математические методы; психологический анализ процесса и продуктов творческой деятельности; методы психологического воздействия (дискуссия, тренинг, формирующий эксперимент, убеждение, внушение, релаксация и другие).

#### **5. Основные методы нейронауки**

Нейровизуализация , методы, позволяющие визуализировать структуру, функции и биохимические характеристики мозга, Нейроинженерия использующая различные инженерные методы для изучения, восстановления, замены или укрепления нервной системы. Нейрофармакология.

#### **6. Моделирование в когнитивных науках**

Нейроинформатика. Вычислительная нейробиология - наука, использующая вычислительные процессы для того, чтобы понять, как биологические системы продуцируют поведение, информационные технологии (вычислительные технические средства и программное обеспечение, специализированные для сбора, ввода и обработки

психологических данных; программы обработки статистических данных; методы обработки больших данных).

#### 7. Компьютерные нейротехнологии

Магнитно-резонансная томография (МРТ) (фМРТ). Компьютерная томография (КТ). Позитронно-эмиссионная томография (ПЭТ). Транскраниальная магнитная стимуляция. Микрополяризация. Оптогенетика. Нейробиоуправление.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в машинное обучение**

#### **Цель дисциплины:**

обеспечить введение слушателей в предмет математического моделирования с использованием методов машинного обучения, получение ими практических навыков в области использования методов машинного обучения для решения различных задач.

#### **Задачи дисциплины:**

- Ознакомление с основами современных подходов машинного обучения
- Получения теоретических и практических навыков решения типичных задач
- Изучение специфических аспектов использования машинного обучения в научных исследованиях
- Получение навыков практической работы с программными библиотеками средств машинного обучения

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

содержание предмета курса «Введение в машинное обучение», соответствующую терминологию и понятийный аппарат. Понимать логику различных подходов машинного обучения в применении к различным типам задач. Иметь представление о сильных и слабых сторонах различных подходов, границы применимости.

##### **уметь:**

переводить практические задачи научного исследования на стандартный язык машинного обучения, переводить полученные результаты обратно в физический контекст и оценивать точность получаемых результатов.

##### **владеть:**

способами решения типичных задач с использованием стандартных программных пакетов средств и сред машинного обучения.

## Темы и разделы курса:

### 1. Машинное обучение, статистика, линейные методы регрессии

Неделя 1. История анализа данных. Постановки задач в машинном обучении: классификация, регрессия, ранжирование, кластеризация, латентные модели. Примеры задач. Виды данных. Признаки.

Неделя 2. Метод максимального правдоподобия и его свойства. Статистические гипотезы и статистические критерии.

Лемма Неймана-Пирсона. Критерий отношения правдоподобия. Аналитическое и численное решение задачи МНК.

Неделя 3. Градиентный спуск, методы оценивания градиента. Функции потерь. Регуляризация. Методы оценивания обобщающей способности, кросс-валидация. Метрики качества регрессии.

### 2. Линейные методы классификации, Особенности работы с реальными данными, Работа с признаками

Неделя 4. Аппроксимация эмпирического риска. Персептрон. Метод опорных векторов.

Неделя 5. Задача оценивания вероятностей, логистическая регрессия. Обобщённые линейные модели. Метрики качества в задачах классификации.

Неделя 6. Пропуски в данных. Предобработка признаков. Чистка данных. Категориальные признаки. Разреженные признаки.

Методы отбора признаков. Метод главных компонент.

### 3. Решающие деревья, Композиции алгоритмов

Неделя 7. Общий алгоритм построения, критерии информативности. Конкретные критерии для классификации и регрессии.

Неделя 8. Тонкости решающих деревьев: обработка пропущенных значений, стрижка, регуляризация.

Неделя 9. Общая идея bias-variance decomposition. Бэггинг, бустинг. Градиентный бустинг над решающими деревьями.

### 4. Нейронные сети, Обучение без учителя

Неделя 10. Структура нейронной сети. Обратное распространение ошибки. Полносвязные нейронные сети.

Неделя 11. Методы регуляризации. Примеры архитектур как наборов кубиков.

Неделя 12. Свёрточные сети. Рекуррентные сети.

Неделя 13. Задача кластеризации. K-Means, spectral clustering. Автокодировщики.

5. Продвинутые методики: генеративные модели, поиска аномалий в данных

Неделя 14. Принципы построения генеративных моделей. Вариативные автокодировщики, состязательные генеративные сети, нормализующие потоки.

Неделя 15. Постановка и подходы к задаче поиска аномалий в данных.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в М-теорию**

#### **Цель дисциплины:**

Сформировать у обучающегося представление о непертурбативной структуре теории суперструн, симметриях ее пространства вакуумов относительно преобразований  $U$ -дуальности, их связь со свойствами решений уравнений одиннадцатимерной супергравитации. Сформировать понимание принципов описания динамики релятивистских мембран их взаимодействия между собой и с супергравитационными фоновыми полями. Изучить современные подходы к компактификациям супергравитации, основанным на теоретикогрупповом анализе вложений группы изометрий компактного пространства в группу  $U$ -дуальности.

#### **Задачи дисциплины:**

Обучить техникам работы с супергравитационными теориями и их решениями, с различными теориями трехмерной суперсимметричной сигма-модели и моделями М5-браны. Развить у обучающегося умение решать уравнения на спиноры Киллинга. Научить оперировать понятиями, связанными с размерной редукцией супергравитационных теорий, строить феноменологические модели.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные положения и понятия М-теории, 11-мерной супергравитации, алгебру супертоков для мембраны; формализмы описания динамики одной, двух и  $N$  супермембран, их взаимодействий друг с другом и с супергравитационными фоновыми полями, связь с триалгебрами и намбу-лиевой механикой; примеры феноменологических приложений развитого формализма; группы симметрий  $U$ -дуальности для М-теории на  $n$ -мерном торе.

##### **уметь:**

показывать симметричность М-теории и 11-мерной супергравитации относительно преобразований  $U$ -дуальности; строить действия для двумерной и пятимерной супермембран, в том числе действия BLG и ABJM.

##### **владеть:**

методами анализа размерных редукций супергравитации, основанными на формализме тензора погружения; методами анализа непертурбативных объектов теории струн, в том числе, экзотических бран.

### Темы и разделы курса:

#### 1. Пять теорий суперструн, дуальности между ними

Суперструна типа I, IIA, IIB, гетеротические суперструны с группами  $E_8 \times E_8$ ,  $SO(32)$ , спектр возбуждений; T-дуальность между теориями типа IIA и IIB; S-дуальность теории типа IIB.

#### 2. Супералгебра M-теории, БПС состояния, БПС решения 11-мерной супергравитации

Супералгебра в размерности 11, ее представления; короткие мультиплеты и БПС состояния, решения 11-мерной супергравитации.

#### 3. U-дуальность алгебры супертоков мембраны, симметрии и преобразования БПС состояний, интерпретация преобразований константы связи

Симметрии БПС состояний 11-мерной супералгебры, преобразования T-, S- и U-дуальности; алгебра супертоков мембраны, взаимодействующей с калибровочным потенциалом, центральные заряды.

#### 4. p-бранная интерпретация БПС состояний

Расширение набора центральных зарядов в  $D=10$  IIA/IB суперсимметрии. Старое и новое сканирование бран. Решения супергравитации в виде экстремальных бран.

#### 5. M2-браны и теория Черна-Саймонса с 16 суперзарядами, BLG

Действие двумерной сигма модели Баггера-Ламберта-Густавссона; предел низких энергий; уравнение Нама и спектр БПС состояний; 3-скобка на мембране; теории с калибровочной симметрией, задаваемой 3-алгеброй.

#### 6. M2-браны и теория Черна-Саймонса с 12 суперзарядами, ABJM

Действие для N супермембран, низкоэнергетическое приближение, теория ABJM; голографическое соответствие, решение  $AdS_4 \times S^7$  11-мерной супергравитации.

#### 7. M5-браны, действие Пасти-Сорокина-Тонина, редукция к теории струн

Калибровочный потенциал 6-формы, магнитный партнер для супермембраны, проблем самодуальных теорий в размерности 6; модель PST, малая теория струн.

#### 8. Проблема квантования мембраны, нестабильность, матричная модель

Квантование супермембраны, спектр возбуждений на фоне плоской метрики, pp-волны, фоновых флаксов; дискретизация системы, матричная модель, квантование матричной модели; нестабильной энергетического спектра.

#### 9. Размерная редукция 11-мерной супергравитации, U-дуальность

Редукция 11-мерной супергравитации на n-мерный тор, объединение полей в мультиплеты группы U-дуальности; дуализация калибровочных потенциалов.

#### 10. Формализм тензора погружения

Максимальные суперсимметричные деформации максимальной  $d$ -мерной супергравитации, условия самосогласованности на тензор вложения; решения условий для самосогласованной редукции 11-мерной супергравитации.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в сеточно-характеристический метод**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины является знакомство студентов с основами одного класса методов, используемых для решения гиперболических систем уравнений – сеточно-характеристическими методами. Студенты познакомятся с теоретическими основами сеточно-

характеристических численных методов, математическими моделями, описывающими динамическое поведение акустических, упругих, анизотропных и пористых сред. Существенное внимание будет уделено получению практических навыков реализации

исследовательских расчётных компьютерных программ. В ходе курса необходимо будет выполнить курсовой проект, заключающийся в разработке прикладного программного обеспечения на языке Python и/или C++.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся знаний по численным методам, применяемым для решения гиперболических систем уравнений;
- формирование у обучающихся знаний по аналитическому исследованию гиперболических систем уравнений;
- формирование умений и навыков реализации расчётных алгоритмов на языках Python/C++.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- фундаментальные основы построения численных методов решения гиперболических систем уравнений;
- понятия разностной задачи, аппроксимации, устойчивости, сходимости разностных схем;
- определяющие системы уравнений акустики, упругости, анизотропной упругости, двухконтинуальных систем.

##### **уметь:**

- аналитически исследовать гиперболические уравнения и системы уравнений;
- находить собственные числа и собственные вектора матриц аналитическими и численными методами;
- исследовать гиперболические уравнения и системы уравнений на аппроксимацию и устойчивость;
- строить структурные расчётные сетки;
- реализовывать на языке Python/C++ схемы на расширенном шаблоне;
- реализовывать на языке Python/C++ схемы на компактном шаблоне.

**владеть:**

- теоретическими и практическими знаниями о гиперболических системах уравнений и численных методах их решения.

**Темы и разделы курса:**

1. Основы численных методов

Дифференциальная задача, разностная задача, понятия аппроксимации, устойчивости, сходимости. Численное исследование порядка сходимости схемы.

2. Математические модели динамического поведения сред

Определяющие системы уравнений для акустического, линейно-упругого, анизотропного и пористого/насыщенного приближений.

3. Простейшее гиперболическое уравнение переноса

Вид уравнения, аналитическое решение, область зависимости, граничное и начальное условия.

4. Сеточно-характеристический метод

История развития, прямой и обратный методы, понятие характеристик, инвариантов Римана.

5. Многомерные гиперболические задачи

Метод расщепления по пространственным направлениям, метод расщепления по физическим процессам, структурные и неструктурные расчётные сетки.

6. Учёт различных реологий среды

Каноническая запись для акустической среды, вид матриц системы, количество и значения собственных чисел и собственных векторов задачи. Особенности упругой, анизотропной и пористой сред.

7. Граничные условия и контакт между средами

Явное выделение, количество условий на контакте, реализация граничных корректоров.



## 8. Различные подходы к одной волновой задаче

Построение расчётных алгоритмов (конечно-разностный, псевдоспектральный, конечно-элементный, метод спектральных элементов, конечно-объёмный, разрывный метод Галёркина) на примере акустической\упругой динамической задачи.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в современную алгебру**

#### **Цель дисциплины:**

Научить студентов языку и технике современной высшей алгебры, дать примеры ее применений в геометрии, физике и других науках.

#### **Задачи дисциплины:**

Научить студентов пользоваться языком и техникой теории групп и их представлений, равно как теории колец и модулей, а также способам вычислений их простейших гомологических инвариантов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основы теории групп, их представлений, а также колец и модулей.

##### **уметь:**

определять структуру конечных групп, находить их представления, и то же для полупростых колец.

##### **владеть:**

языком и техникой теории групп, их представлений, а также колец и модулей.

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Определение группы**

Определение группы и действия группы на множестве. Примеры.

##### **2. Орбиты**

Орбиты, стабилизатор, теорема Лагранжа. Примеры

##### **3. Нормальные группы**

Нормальные группы. Первая теорема о гомоморфизме. Примеры

4. Вторая и третья теорема о гоморфизме

Вторая и третья теорема о гоморфизме. Первая теорема Силова

5. Вторая и третья теоремы Силова

Вторая и третья теоремы Силова. Приложения к строению конечных групп.  $p$ -группы.

6. Строение конечнопорожденных абелевых групп.

Строение конечнопорожденных абелевых групп. Примеры вычисления.

7. Коммутант и разрешимые группы

Коммутант и разрешимые группы. Основные свойства и теоремы. Примеры.

8. Неразрешимость групп  $S_n$  и  $A_n$

Неразрешимость групп  $S_n$  и  $A_n$ . Приложения к решению уравнений в радикалах.

9. Представления конечных групп. Теоремы Машке и Шура. Примеры.

Представления конечных групп. Теоремы Машке и Шура. Примеры.

10. Характеры представлений

Характеры представлений. Соотношение ортогональности и следствия из нее (теорема Бернсайда и делимость степеней представлений). Примеры.

11. Коммутативные кольца и идеалы (предварительные сведения)

Коммутативные кольца и идеалы (предварительные сведения). Теоремы о гомоморфизме. Построения колец. Примеры.

12. Существование максимального идеала

Существование максимального идеала. Теорема Гильберта о нулях. Примеры.

13. Делители нуля и локализация

Делители нуля и локализация. Примеры и приложения.

14. Нетеровы кольца

Нетеровы кольца. Теорема Гильберта. Примеры и приложения.

15. Кольца главных идеалов

Кольца главных идеалов. Теорема о факториальности. Примеры.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в суперкомпьютерное моделирование физических процессов**

#### **Цель дисциплины:**

изучение основных методов моделирования в физике конденсированного состояния с акцентом на методе молекулярной динамики, а также освоение основ технологий высокопроизводительных вычислений.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами базовых знаний в области молекулярного моделирования;
- приобретение теоретических знаний в области компьютерной физики;
- изучение простейших методов решения уравнений компьютерной физики и постановки задач численного моделирования физических явлений;
- ознакомление с предметом, принципами и методами высокопроизводительных вычислений;
- приобретение практических умений и навыков, необходимых для работы с многопроцессорными вычислительными системами;
- формирование умений и навыков для применения полученных знаний для решения ресурсоёмких вычислительных задач на многопроцессорных вычислительных системах.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- теоретические основы метода молекулярной динамики и метода Монте Карло;
- теоретические модели основополагающих процессов и явлений в молекулярной физике и ее приложениях;
- фундаментальные понятия, законы, теории классической равновесной и неравновесной статистической физики;
- порядки физических величин, характерные для классической молекулярной физики конденсированных сред;
- физические основы классических методов исследования структуры и свойств конденсированных фаз;

- теоретические основы параллельных алгоритмов;
- основные современные технологии параллельного программирования;
- основы технологий распараллеливания MPI, OpenMP, CUDA и др.

**уметь:**

- провести атомистическое моделирование выбранными вычислительными методами, сделать выводы из результатов моделирования;
- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических сред и процессов в них;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- осваивать новые предметные области и теоретические подходы;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.
- проводить оптимизация и распараллеливание расчетов;
- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

**владеть:**

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов компьютерных экспериментов и сопоставления с теоретическими данными.
- навыками компиляции программ эффективной для скорости выполнения;
- навыками работы на суперкомпьютере, включая работу с терминалом, запуск последовательных и параллельных программ с использованием систем очередей;
- навыками распараллеливания программ для вычислительных систем с общей памятью, с разделённой памятью и для графических ускорителей.

## Темы и разделы курса:

### 1. Введение в моделирование и суперкомпьютерное моделирование

Вводная лекция. Эволюция атомистических представлений от Демокрита до середины 1950-х годов. Место атомистических представлений в науке двадцать первого века. Замысел атомистического моделирования. Классический метод молекулярной динамики. Примеры. Квантовое моделирование. Суперкомпьютеры. Суперкомпьютерное молекулярное моделирование.

### 2. Базовые понятия основных методов моделирования

Введение в метод молекулярной динамики, описание основных направлений применения. Введение в другие методы моделирования. Описание многомасштабного подхода.

### 3. Основы молекулярной динамики – часть 1

Техника ММД. Численное интегрирование уравнений движения. Межчастичное взаимодействие. Граничные условия: периодические условия для однородных систем, поверхность, кластеры, биомолекулы и др. Начальные условия в стационарном и нестационарных случаях. Выбор шага интегрирования (ограничения сверху по сохранению полной энергии, по крутизне потенциала взаимодействия, частотные ограничения), переменный шаг. Флуктуации полной энергии.

### 4. Основы молекулярной динамики – часть 2

Способы оптимизации МД расчёта (обрезка потенциала, гран. условия, списки и др.). Исследование равновесных систем, выход на равновесие, критерии равновесия. Релаксация. Управляемая молекулярная динамика. Компьютерный эксперимент: модель и диагностика.

### 5. Термостаты

Термостаты в молекулярной динамике: виды, плюсы, минусы. Модель одномерного маятника: распределение в фазовом пространстве для микроканонического и для канонического ансамбля. Доказательство схемы термостата Нозе. Модификация уравнений движения, предложенная Гувером. Цепи Нозе-Хувера.

### 6. Равновесные свойства молекулярно-динамических моделей

Фундаментальные соотношения (первые принципы), используемые при диагностике: статистическая сумма, конфигурационный интеграл, строгие выражения для энергии, давления, теплоёмкости, тензора упругих напряжений и пр.; формулы Кубо-Грина и Эйнштейна-Гельфанда для коэффициентов диффузии, теплопроводности, вязкости и пр. Замена усреднения по фазовому пространству усреднением по времени. Пространственные и временные корреляции частиц. Радиальные функции распределения, корреляционные функции, флуктуации, их спектры. Термодинамические свойства и корреляционные функции. Автокорреляционные функции. Пространственно-временные корреляции частиц, Фурье-образы. Динамический структурный фактор. Примеры для однородных фаз и двухфазных систем, локализация точки фазового перехода, поверхностное натяжение,

фазовые переходы второго рода, кластеры и макромолекулы, наноструктуры и наноматериалы.

#### 7. Неравновесные свойства молекулярно-динамических моделей

Особенности расчёта неравновесных моделей и неравновесных свойств. Диффузия, вязкость, теплопроводность. Примеры и точность.

#### 8. Фазовые переходы

Фазовые переходы. Неоднородные системы. Выбор числа частиц определяет набор явлений и свойств, которые можно исследовать с помощью ММД.

#### 9. Основы работы с суперкомпьютерами

Зачем нужны суперкомпьютеры? Задачи, требующие больших вычислений. Обзор рейтинга Top-500. Метод классической молекулярной динамики и Монте-Карло: история, область применения, преимущества, недостатки, положение среди других вычислительных методов. Примеры актуальных задач физики конденсированного вещества и неидеальной плазмы с демонстрацией результатов МД моделирования.

#### 10. Компиляция и запуск программ

Основы работы с Linux и командной строкой. Компиляция и запуск программ. Представление о работе компиляторов (для C/C++ - объектные файлы и библиотеки, заголовочные файлы, система сборки, зависимости). Текстовые редакторы (vim, ...). Обзор основных возможностей gnuplot. Использование скриптов.

#### 11. Введение в основы программирования на системах с общей памятью

Введение в программирование на система с общей памятью. Поток. OpenMP. Принципы распараллеливания.

#### 12. Введение в основы программирования на системах с разделённой памятью

Последовательная и параллельная модели программирования. Парадигмы параллельного программирования и соответствующие программные средства. Программная реализация MPI. Типовые схемы организации параллельных MPI-программ и их структура. Компиляция и запуск MPI-программ. Проблема поиска ошибок. Оценка производительности многопроцессорных вычислительных систем.

#### 13. Введение в основы программирования на системах с графическими ускорителями – часть 1

Архитектура графические ускорителей. Основные технологии параллелизации на графических ускорителях: CUDA, OpenCL. Компиляции и запуск программ. Синтаксис. Примеры.

#### 14. Введение в основы программирования на системах с графическими ускорителями – часть 2

Основные полуавтоматизированные технологии параллелизации на графических ускорителях: OpenMP, OpenACC. Компиляции и запуск программ. Синтаксис. Примеры.

## 15. Использование программных пакетов

Популярные программные пакеты: BLAS, FFTW, LAMMPS, ... Компиляция, запуск, оценка эффективности.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в теорию бран**

#### **Цель дисциплины:**

Сформировать у обучающегося представление о непертурбативной структуре теории суперструн, динамике протяженных объектов, бран, и связь их с решениями суперсимметричных гравитационных теорий в размерностях 10, 11. Сформировать понимание принципов описания динамики релятивистских мембран их взаимодействия между собой и с супергравитационными фоновыми полями. На примере таких объектов и соответствующих супергравитационных решений продемонстрировать структуру симметрий дуальности теории струн и М-теории.

#### **Задачи дисциплины:**

Обучить техникам работы с супергравитационными теориями и их решениями, в том числе решениями типа черных бран и BPS решениями, развить у обучающегося умение решать уравнения на спиноры Киллинга, свободно обращаться с ковариантными производными со спиновой связностью. Научить свободно оперировать понятиями, связанными с бранами и их конфигурациями, строить феноменологические модели.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные положения теории струн, супергравитации, конструкцию супералгебр; формулировку суперсимметричных теорий в 10- и 11-мерных пространствах; формализм описания динамики бран в 10 и 11 измерениях, их взаимодействий друг с другом и с супергравитационными фоновыми полями; примеры феноменологических приложений развитого формализма.

##### **уметь:**

строить действия для бран, инвариантные относительно калибровочных преобразований в объемлющем пространстве и на мировом объеме; строить лагранжианы супергравитационных теорий в демократическом формализме; описывать решения типа черных бран в размерностях 4, 10 и 11; показывать связь между решениями уравнений супергравитации типа черных бран и бранами теории струн; вычислять заряд, натяжение и массу бран.

**владеть:**

методами анализа систем, описываемых уравнениями супергравитации; техниками решения BPS уравнений и описания явных суперсимметричных решений; формализмом описания супергравитации 1.5 рода; техникой описания нулевых мод бранных решений супергравитации и построения соответствующих супермультиплетов; методами анализа непертурбативных объектов теории струн, в том числе, экзотических бран.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Спиноры в высших размерностях

Алгебры Клиффорда, определение, построение генераторов, периодичность, простые примеры. Группы Spin и Pin, их связь с ортогональной группой, представления алгебры Клиффорда и групп Spin и Pin, дираковские, вейлевские, майорановские и майорановейлевские спиноры. Эквивалентные представления: дираковское и майорановское сопряжения

## 2. D-браны в пертурбативной формулировке струны

RNS струна, квантование, граничные условия, RR потенциалы в спектре открытой RNS струны. Множители Чана-Патона. RR поля, взаимодействующие с Dp-бранами. T-дуальность граничных условий

## 3. Супергравитация

Суперсимметрии типа I, IIA/B, N=1 суперсимметрия в D=11, центральные заряды. Полевой состав супергравитации типа I, IIA/B, гетеротической супергравитации. N=1, D=11 супергравитация в формализме 1.5 рода, полевой состав, действие, алгебра локальных симметрий. Супергравитации типа IIA/B, демократическая формулировка, магнитные потенциалы.

## 4. Геометрия бран

Спиноры Киллинга, явные уравнения на спиноры Киллинга из преобразований суперсимметрии. Черные дыры Райсснера-Нордстрёма, решения с источником, черные браны, экстремальные решения. Решения F1, NS5, KK5, Dp супергравитации типа II. Решения M2, M5 11D супергравитации. Понятие заряда для классических бранных решений. Размазывание решений, T-дуальность между NS5 и KK-монополюс. Нулевые моды решений

## 5. Динамические Dp-браны

Действие DBI из динамики концов открытой струны. Натяжение Dp-браны. Инвариантное действие Весса-Зумино, взаимодействие с RR полями и с полями на мировом объеме браны.

## 6. ADHM конструкция и D-инстантоны

Инстантонные уравнения и их решения ADHM конструкцией. Интерпретация в терминах D3-браны и D-инстантона. Уравнение Нама для Dp-бран, некоммутативность

## 7. Дуальности между бранами

S-дуальность между D5-браной и NS5-браной. T-дуальность между NS5-браной и KK5-монополю. Непертурбативное дополнение D2-браны до M2-браны

#### 8. Экзотические браны

Расширение набора центральных зарядов в D=10 ПА/В суперсимметрии. Магнитный гравитон, KK-монополь, экзотические NS 5-браны. Старое и новое сканирование бран

#### 9. Некоммутативность в теории струн

Граничные условия струны на пересекающихся Dp-бранах и в присутствии магнитного поля. Пропагатор и открыто-замкнутое отображение струнного фона, параметр некоммутативности. Некоммутативные теории поля.

#### 10. Приложения к физике низких энергий

Модели с пересекающимися D6-бранами, Стандартная модель. Ориентифолдные компактификации, RR заряды ориентифолда. Модели мира-на-бране, инфляция. AdS/CFT соответствие

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в теорию неупорядоченных систем**

#### **Цель дисциплины:**

- изучение электронных свойств неупорядоченных материалов;
- подробное рассмотрение свойств различных систем в диэлектрической фазе (хвосты плотности состояний, прыжковая проводимость, кулоновская щель);
- обсуждение эффектов слабой локализации в металлической фазе (магнитосопротивление, сбой фазы, размерные эффекты), а также свойств волновых функций вблизи локализационного перехода;
- описание некоторых мезоскопических эффектов.

#### **Задачи дисциплины:**

- познакомить студентов с основными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия по теме дисциплины.

##### **уметь:**

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### **владеть:**

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Беспорядок в кристаллах. Невзаимодействующие электроны: модель Андерсона. Плотность состояний в модели Андерсона - продолжение.

Беспорядок в кристаллах.

- Динамический и замороженный беспорядок: усреднение по времени и усреднение по ансамблю.

- Кристаллы, жидкости, стекла, сплавы, магнитные системы. Дальний и ближний порядок.

Невзаимодействующие электроны: модель Андерсона.

- Различные варианты модели Андерсона

- Плотность состояний: общие свойства.

- Плотность состояний: сильный беспорядок, локализованные состояния.

- Плотность состояний: слабый беспорядок, плоские волны и их слабое рассеяние.

Плотность состояний в модели Андерсона –продолжение.

- Модель Ллойда: точное выражение для средней плотности состояний.

- Экспоненциально малая плотность состояний в модели Андерсона вблизи границы спектра: идея оптимальной флуктуации.

- Развитие идеи оптимальной флуктуации, определение численного фактора в показателе экспоненты.

2. Корреляционные эффекты в слабо легированном полупроводнике. Эффекты подбарьерного рассеяния в прыжковой проводимости. Локализационный переход.

Корреляционные эффекты в слабо легированном полупроводнике.

- Эффекты электрон-электронного взаимодействия: пошаговая процедура минимизации классической электростатической энергии.

- Первое приближение: фермиевское заполнение одночастичных состояний.

- Второе приближение: парные корреляции. Кулоновская щель в плотности состояний. Роль высших приближений.

- Различные сценарии многочастичных эффектов в проводимости.

- Закон Эфроса-Шкловского для проводимости с переменной длиной прыжка.

Эффекты подбарьерного рассеяния в прыжковой проводимости.

- Влияние подбарьерного рассеяния на декремент локализованной волновой функции.

- Подавление положительного магнитосопротивления подбарьерным рассеянием.

- Интерференционные явления: эффект Ааронова-Бома, отрицательное магнитосопротивление.

Локализационный переход.

- Андерсоновская локализация в модели Андерсона. Край подвижности. Локализованные и делокализованные состояния: чем они отличаются друг от друга?
- Структура волновых функций вблизи порога подвижности. Длина локализации. Мультифрактальность.

3. Реалистическая модель: слабо легированный полупроводник. Прыжковая проводимость. Прыжковое магнитосопротивление.

Реалистическая модель: слабо легированный полупроводник.

- Доноры и акцепторы. Случайный потенциал и плотность состояний в случае малой и большой степени компенсации.
- Механизмы переноса заряда в слаболегированном полупроводнике.
- Умеренно низкие температуры: качественное описание прыжковой проводимости по ближайшим соседям.
- Очень низкие температуры: качественное описание проводимости с переменной длиной прыжка.

Прыжковая проводимость.

- Прыжки электронов между примесями, сопровождаемые поглощением или излучением фононов. Сетка сопротивлений Миллера-Абрахамса.
- Применение теории перколяции. Зависимость проводимости от температуры и концентрации примесей в режиме проводимости по ближайшим соседям.
- Проводимость с переменной длиной прыжка, закон Мотта.
- Качественный вывод (для различных размерностей  $d$ ). Эффективная  $d+1$ -мерная перколяционная модель и количественный вывод закона Мотта.

Прыжковое магнитосопротивление.

- Туннелирование в магнитном поле. Квазиклассический характер волновых функций и деформация “поверхностей постоянного действия” магнитным полем.
- Модификация сетки Миллера-Абрахамса в магнитном поле и вычисление магнитосопротивления с помощью теории перколяции. Пределы слабого и сильного полей. Анизотропия магнитосопротивления.
- Магнитосопротивление в режиме проводимости с переменной длиной прыжка.

4. Хвосты плотности состояний для случая гауссова случайного потенциала. Метод оптимальной флуктуации. Хвосты плотности состояний - продолжение. Модель Лифшица.

Хвосты плотности состояний для случая гауссова случайного потенциала. Метод оптимальной флуктуации.

- Гауссов случайный потенциал, корреляционная функция и корреляционный радиус, определение средней плотности состояний.
- Метод оптимальной флуктуации, формулировка общей задачи на условный экстремум, вывод нелинейного уравнения Шредингера.
- Случай белого шума (“ближний хвост”), сведение к универсальной безразмерной задаче.
- Случай белого шума: точное решение в одномерном случае.

Хвосты плотности состояний – продолжение.

- Случай плавного потенциала (“дальний хвост”) – точное решение.
- Предэкспоненциальный множитель в средней плотности состояний: построение Гауссова функционального интеграла.
- Полносимметричная мода, нулевые моды и их вклад в предэкспоненциальный множитель.

Модель Лифшица.

- Построение модели. Металлический и диэлектрический пределы.
- Спектр, собственные состояния и плотность состояний в металлическом случае.
- Спектр и собственные состояния в диэлектрическом случае. Парное приближение, резонансные и нерезонансные уровни.
- Плотность состояний в диэлектрическом пределе. Случай большого парного расщепления (“ближний хвост”).
- “Дальний хвост” и коллективные оптимальные флуктуации.
- Центральный провал в плотности состояний.
- Плотность состояний при очень малых энергиях: неприменимость парного приближения.

5. Эффекты слабой локализации. Процессы, приводящие к сбою фазы. Мезоскопика.

Эффекты слабой локализации.

- Пределы применимости классической теории проводимости металлов. Квантовая интерференция актов рассеяния (качественное рассмотрение). Самопересекающиеся пути и их вклад в интерференционные члены.
- Диффузионный пропагатор и его физическая интерпретация.
- Последовательность диаграмм, отвечающая первой квантовой поправке: Куперон и его физическая интерпретация.
- Расходимость квантовой поправки к проводимости в пространстве низкой размерности. Процессы сбоем фазы и инфракрасное обрезание.
- Граничные условия для Куперона и размерные эффекты. Размерный кроссовер.
- Отрицательное магнитосопротивление: вывод и физическая интерпретация. Осцилляции магнитосопротивления тонкого металлического цилиндра в диффузионном режиме (эксперимент Шарвина и Шарвина).
- Квантовые поправки к кондактансу диффузионного S-N-S контакта. Роль андреевского отражения.

Процессы, приводящие к сбою фазы.

- Неупругие процессы и их роль в сбое фазы. Время сбоем фазы за счет квазиупругих процессов.
- Электрон-электронные столкновения: баллистический и диффузионный режимы. Применимость теории Ферми-жидкости к грязным металлам.
- Влияние электрон-электронных столкновений на плотность состояний. Аномалия на поверхности Ферми (zero bias anomaly).

Мезоскопика.

- Мезоскопический масштаб. Отсутствие самоусреднения.
- Когерентный транспорт: Формула Ландауера для проводимости в двухконтактной конфигурации. Роль неупругих процессов.

Четырехконтактная конфигурация.

- Баллистический кондактанс адиабатического сужения. Квантование кондактанса.
- Когерентный транспорт: последовательное соединение кондактансов.
- Неаддитивность сопротивления и одномерная локализация.
- Параллельное соединение кондактансов.



**Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**Введение в теорию струн**

**Цель дисциплины:**

Изучение основных положений, методов и внутренней структуры теории струн.

**Задачи дисциплины:**

Ознакомление студентов с основами теории струн, её современными приложениями и местом в физической картине мира. Предполагается, что, прослушав этот курс, студенты смогут использовать методы и идеи теории струн в своей научно-исследовательской работе.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

основные понятия по теме дисциплины.

**уметь:**

пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

**владеть:**

математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

**Темы и разделы курса:**

1. Классическая релятивистская струна

Точечная релятивистская частица, связи, метрика на мировой линии. Безмассовая релятивистская струна, действие Намбу-Гото, симметрии и уравнения движения. Действие Полякова, симметрии и уравнения движения. Связи и выбор калибровки. Действие Полякова в конформной калибровке и остаточная калибровочная свобода. Гамильтонов формализм для струны. Теорема Нётер, сохраняющиеся токи для струны. Импульс и

момент. Осцилляторные разложения. Генераторы Вирасоро, алгебра Витта. Функция Гамильтона и лоренц-инвариантная эффективная масса струны. Примеры классических решений.

## 2. Квантование бозонной струны

Каноническое квантование бозонной струны. Духи. Алгебра Вирасоро, центральный заряд. Связи в квантовой теории. Константа нормального упорядочения для  $L_0$  и вклад в массу. Квантование в калибровке светового конуса. Решение связей, гамильтониан. Регуляризация (дзета, экспоненциальная). Оператор массы. Спектр масс для струны с граничными условиями NN в калибровке светового конуса. Тахион. Несколько низших состояний, классификация Вигнера. Спектр замкнутой струны, линейризованная ОТО в калибровке светового конуса. Спектр открытой струны с граничными условиями DD. D-браны и метки Чана-Патона.

## 3. Метод Фаддеева-Попова и репараметризационные духи

Ковариантное квантование методом континуального интеграла. Метод Фаддеева-Попова для бозонной струны. Репараметризационные духи  $b, c$ : квантование, алгебра Вирасоро, критическая размерность как условие сокращения центральных зарядов. Центральный заряд  $b, c$ -системы в конформной теории поля. Вейлевская аномалия и центральный заряд. Спектр струны в формализме континуального интеграла.

## 4. Взаимодействующие струны

Соответствие «состояние-оператор» в конформной теории поля. Вершинные операторы. Взаимодействующие струны. Струнная S-матрица. Сумма по топологиям и струнная константа связи. Древесные амплитуды замкнутых струн. Амплитуда Вирасоро-Шапиро. Амплитуда Венециано. Низкоэнергетические эффективные действия. Пертурбативное разложение по  $\alpha'$ . Перенормировка полей и констант связи в действии на мировом листе. Бета-функция в 1-петлевом приближении. Бозонный сектор супергравитации.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в теорию ускорителей**

#### **Цель дисциплины:**

- обучение основным представлениям о физике ускорителей заряженных частиц.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование представлений о физических основы методов ускорения заряженных частиц;
- получение базовых знаний об ускорительной технике;
- формирование навыков расчета основных параметров ускорителей различных типов, а также проектирования и расчета радиационной защиты.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные характеристики ускорителей и пучков заряженных частиц;
- основные методы ускорения;
- принципы сохранения частиц в пучке в процессе ускорения;
- описание пучка в фазовом пространстве;
- метод встречных пучков;
- методы охлаждения пучков.

##### **уметь:**

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной экспериментальной физики элементарных частиц.

##### **владеть:**

- техникой расчета экспериментов с внутренней мишенью;

- техникой расчета радиационной защиты ускорителя.

## **Темы и разделы курса:**

### 1. Введение.

Хронология развития ускорительной физики и техники. Ускорители в современной науке и промышленности. Ускорение в электростатических, вихревых и высокочастотных электрических полях. Принципиальные схемы ускорителей. Светимость ускорителя. Области использования ускорителей в фундаментальной науке и различных отраслях жизнедеятельности человека.

### 2. Ускорители прямого действия. Ускорители со встречными пучками.

Ускорители трансформаторного типа. Каскадные ускорители. Электростатические ускорители.

Метод встречных пучков. Накопление легких частиц. Накопление тяжелых частиц. Ускорительно-накопительные комплексы. Линейные коллайдеры. Сильноточные электронные и ионные пучки. Импульсные источники мощности. Сильноточные диоды. Транспортировка сильноточных пучков.

### 3. Циклические ускорители. Поперечная устойчивость и фокусировка.

Поперечная устойчивость и фокусировка. Фокусировка неоднородным магнитным полем. Критерий устойчивости и бетатронные колебания в периодических системах. Простейшие элементы фокусирующей системы. Описание системы частиц в фазовом пространстве, теорема Лиувилля, инвариант Куранта-Снайдера, эмиттанс пучка.

### 4. Индукционное ускорение. Бетатрон.

Индукционное ускорение. Бетатрон. Линейный бетатрон (линейный индукционный ускоритель).

### 5. ВЧ - ускорение. Автофазировка в циклических ускорителях.

Автофазировка в циклических ускорителях: равновесная частица, принцип автофазировки, фазовые колебания, эффективная масса и критическая энергия.

### 6. Возмущения и допуски в циклических ускорителях.

Резонансы бетатронных колебаний, параметрический резонанс, резонансы связи, нелинейные резонансы. Синхротронные колебания при наличии возмущений.

### 7. Методы охлаждения пучков заряженных частиц в циклических ускорителях. Новые методы ускорения.

Радиационное, электронное, ионизационное (мюонное) и стохастическое охлаждение.

Ускорение электронных колец. Лазерные и плазменные методы ускорения. Синхротронное излучение. Лазеры на свободных электронах.

### 8. Пространственный заряд и когерентные неустойчивости.

Статические эффекты пространственного заряда; некогерентный сдвиг частоты бетатронных колебаний (формула Ласлетта). Когерентные колебания пучка. Инкременты

когерентных неустойчивостей. Импеданс цилиндрической камеры. Критерий Кайла-Шнелля). Затухание Ландау и другие кинетические эффекты. Неустойчивости в цепочке малых сгустков. Другие виды когерентных неустойчивостей.

#### 9. Типы циклических резонансных ускорителей.

Типы циклических резонансных ускорителей. Описание и конструкция. Магниты и их питание. Ускоряющие системы. Циклические ускорители с постоянным магнитным полем (циклотрон, синхроциклотрон, микротрон). Циклический ускоритель с постоянной орбитой – синхротрон.

#### 10. Линейные резонансные ускорители.

Основные характеристики ускоряющих систем. Особенности систем со стоячей волной. Диафрагмированный волновод. Резонатор с трубками дрейфа.

#### 11. Динамика частиц в линейных резонансных ускорителях.

Продольное движение в поле волны. Предгруппировка частиц. Фокусировка частиц в линейных резонансных ускорителях.

#### 12. Эффекты пространственного заряда в линейных ускорителях.

Продольное движение в самосогласованном поле. Нагрузка током и оптимизация параметров ускорителя. Влияние кулоновского поля.

#### 13. Конструкция и параметры линейных ускорителей.

Линейные резонансные ускорители электронов. Линейные ускорители ионов. Сверхпроводящие линейные ускорители.

#### 14. Источники заряженных частиц.

Электронные пушки. Ионные источники на основе высоковольтного разряда. ЭЦР-источники. Лазерные ионные источники. Ионные источники с электронным пучком-ионизатором. Источники поляризованных ионов.

#### 15. Радиационная защита ускорителей.

Вакуум в ускорителях. Радиационная защита ускорителей: Взаимодействие частиц с остаточным газом в ускорителе: ионизационные потери и их флуктуации (straggling); однократное и многократное рассеяние. Типичные вакуумные условия в различных ускорителях. Радиационная защита ускорителей.

**Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**Введение в физику коррелированных электронных систем**

**Цель дисциплины:**

- понимание механизмов электронного транспорта за рамками полуклассических подходов.

**Задачи дисциплины:**

- способность ориентироваться в современных исследованиях новых материалов.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

- механизмы электронного транспорта за рамками полуклассических подходов.

**уметь:**

- делать качественные оценки изучаемых эффектов.

**владеть:**

- подходами к выбору адекватных моделей электронного транспорта в различных режимах беспорядка и меж-электронного взаимодействия.

**Темы и разделы курса:**

**1. Металлы с сильным беспорядком**

Дифракционная теория электронного транспорта в жидких металлах. Правило Моойа. Насыщение сопротивления. Предел Иоффе–Регеля при большой электронной плотности.

**2. Квантовые поправки к проводимости**

Слабая локализация. Влияние магнитного поля на слабую локализацию. Антилокализация. Межэлектронная интерференция. Сравнительный анализ квантовых поправок.

**3. Влияние межэлектронного взаимодействия на электронный энергетический спектр**

Переход Пайерлса. Структура примесной зоны при слабом легировании. Кулоновская щель.

#### 4. Прыжковая проводимость

Локализованные состояния и переходы между ними. Прыжки на ближайшие центры. Прыжки с переменной длиной прыжка. Экспериментальные наблюдения прыжковой проводимости.

#### 5. Переходы металл-изолятор

Переход Андерсона. Модель структурного беспорядка. Переход Мотта. Минимальная металлическая проводимость. Формула Ландауэра для одномерных (1D) систем. Локализация и роль корреляций в 1D-системах. Микроволновое моделирование.

#### 6. Скейлинговая гипотеза

Обоснование и формулировка скейлинговой гипотезы. Трехмерные (3D) системы. Критическая окрестность перехода. Мультифрактальные волновые функции. Двумерные (2D) системы. Квазиодномерные (q1D) системы. Скейлинг и взаимодействия.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в физику поверхности**

#### **Цель дисциплины:**

освоение студентами фундаментальных знаний в области квантовой оптики, овладение методами квантовой теории, а также пониманием способов их практического применения.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики поверхности как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов основным принципам и подходам области физики поверхности и освоение основных теоретических методов, применимых в этой области физики;
- формирование правильных теоретических подходов к выполнению исследований студентами в области физики поверхности в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики и математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем моделирования физических процессов, протекающих в твердых телах;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

##### **уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;



- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

**владеть:**

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- математическим моделированием физических задач.

**Темы и разделы курса:**

1. Основные понятия о поверхности как о специфическом объекте физических исследований.

Чистые поверхности. Поверхность металлов и полупроводников. Поверхностные состояния.

Электронная структура поверхности. Теоретические подходы. Экспериментальные методы исследования.

Кристаллическая структура. Реконструкция. Методы анализа.

Оптические свойства.

Физическая адсорбция.

Химическая адсорбция.

Поверхностные химические реакции.

Фазовые переходы на чистой поверхности и поверхности, покрытой адсорбатом.

Рост кристаллов на поверхности.

2. Экспериментальные подходы при работе с поверхностью твердого тела в контролируемых условиях сверхвысокого вакуума.

Основные экспериментальные методы анализа поверхности в сверхвысоком вакууме.

Сканирующая туннельная микроскопия/спектроскопия и ее возможности.

3. Современное состояние дел в области физики поверхности.

Современные проблемы физики поверхности.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в физику электронных пучков**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение основ физики электронных пучков.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами базовых знаний в области физики электронных пучков;
- приобретение теоретических знаний в области изучения свойств электронных пучков;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области физики электронных пучков;
- приобретение навыков работы в сфере изучения электронных пучков.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- явления, рассматриваемые физикой электронных пучков;
- экспериментальные основы физики электронных пучков.

##### **уметь:**

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;

- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценить степень их достоверности;
- самостоятельно формулировать и успешно решать задачи, связанные с физикой электронных пучков.

**владеть:**

- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами электронных пучков.

**Темы и разделы курса:**

1. Генерация электронных пучков.

Понятие пучка. Основные применения.

Термоэлектронная эмиссия чистых металлов. Теория Ричардсона-Дешмана. Работа выхода. Эффект Шоттки. Холодная эмиссия. Теория Фаулера-Нордгейма. Взрывная эмиссия.

Пространственный заряд в диодном промежутке. Закон  $3/2$  Чайльда-Ленгмюра. Биполярный диод. Релятивистский диод. Влияние геометрии диода. Первеанс.

2. Равновесные конфигурации электронных пучков.

Уравнение огибающей. Теорема Буша. Бриллюэновский поток. Иммерсионный катод.

Цилиндрический пучок. Нейтрализующий ионный фон. Геометрические свойства самофокусирующегося электронного пучка. Равновесный радиус. Длина самофокусировки. Бессилового пучок.

Неламинарные пучки. Эмиттанс.

Пинч Беннета. Беннетовское распределение в электронных пучках.

Вероятность ионизации газа сильноточным электронным пучком. Эффект выгорания.

### 3. Волны и неустойчивости в пучках.

Плоский электронный поток. Короткозамкнутый диод. Аперодическая неустойчивость. Задача Бурсиана. Задача Пирса.

Альфвеновский ток компенсированного электронного пучка.

Критические токи в пространстве дрейфа.

Пучковая неустойчивость. Кинетическая теория пучковой неустойчивости. Затухание Ландау.

Излучение электромагнитных волн заряженными частицами.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Введение в экзопланеты**

#### **Цель дисциплины:**

Курс «Введение в экзопланеты» входит в цикл образовательно-профессиональных дисциплин основной образовательной программы подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации в магистратуре по направлению 03.04.01 - Прикладные математика и физика

#### **Задачи дисциплины:**

Получение базовых знаний, необходимых студенту для проведения научных исследований в рамках своей магистерской работы.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основы физики космоса и вычислительной астрофизики

##### **уметь:**

выработать представление об актуальных проблемах науки и техники в области физики космоса, быть способным на научном языке формулировать профессиональные задачи

##### **владеть:**

системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Протопланетные диски**

Протозвездные облака. Гравитационные неустойчивости и коллапс. Механизмы отвода углового момента. Структура и состав протопланетного диска.

##### **2. Образование экзопланет**

Области формирования планет. Резонансы. Модели формирования планет. Миграция планет. Основные типы планет.

### 3. Методы наблюдения экзопланет

Транзитный метод. Метод лучевых скоростей. Метод микролинзирования. Метод прямого наблюдения

### 4. Методы наблюдения атмосфер экзопланет

Спектры поглощения в атмосферах экзопланет. Возможности наблюдения радиоизлучения. Основные ограничения наблюдательных методов, эффекты наблюдательной селекции. Основные наблюдательные миссии, нацеленные на открытие и исследование атмосфер экзопланет

### 5. Солнечная система - планеты

Солнечная система и ее архитектура. Гелиосфера. Основные характеристики планет (масса, плотность, характер вращения, свойства атмосферы, магнитные поля, условия на поверхности). Наземные и космические методы исследования тел Солнечной системы.

### 6. Солнечная система - малые тела

Малые тела Солнечной системы. Спутники и кольца планет. Астероиды и пояса астероидов. Кометы. Миры с океанами. Метеорное вещество.

### 7. Статистика экзопланет и их характеристика

Статистические исследования экзопланет необходимы для верификации моделей образования планет и получения оценок количества планет определенных типов в Галактике (например, планет земного типа в обитаемой зоне). Кроме того, вариации распространенности планет во всем пространстве параметров могут указывать на астрофизические явления, значимые в эволюции планетных систем. Анализ распределения экзопланет по радиусам, полученного на основе данных «Кеплера», привел к обнаружению т.н. «зазора Фултона» – примерно двукратного дефицита планет с радиусами 1.7-1.9 радиусов Земли, маркирующего границу между суперземлями (планетами преимущественно железокремнистого состава) и мини-нептунами (планетами, окруженными протяженными водородно-гелиевыми атмосферами, чья масса может достигать нескольких процентов от полной массы планеты).

### 8. Архитектура планетных систем

Планетные системы у других звезд. Компактные планетные системы. Планетные системы с горячими юпитерами и нептунами. Сравнение с архитектурой Солнечной системы.

### 9. Первичные атмосферы экзопланет

Формирование первичных и вторичных атмосфер экзопланет. Структура и динамика атмосфер. Атмосферы газовых и ледяных гигантов, суб-нептунов и планет-океанов, каменистых планет. Атмосферы супер-, экзо- и суб-земель.

### 10. Вторичные атмосферы экзопланет

Взаимодействие атмосфер со звездным ветром. Строение ионосферы, магнитосферы, взаимодействие магнитосферы со звездным ветром. Полярные сияния. Потеря атмосфер

и переход от первичных ко вторичным атмосферам. Типы протяженных оболочек горячих юпитеров.

#### 11. Зоны потенциальной обитаемости

Основные факторы, влияющие на обитаемость экзопланет. Влияние ранних стадий эволюции родительской звезды на положение зон обитаемости. Магнитное поле и зоны обитаемости. Возможные расширения потенциальных зон обитания.

#### 12. Атмосферные биомаркеры

Биомаркеры и возможности их наблюдений. Атмосферные биомаркеры. Ложно положительные и отрицательные биомаркеры. N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> атмосферы.

#### 13. Надтепловые частицы в планетных атмосферах

Структура планетной атмосферы. Описание атмосферы на микро- и макро- скопических уровнях. Кинетическое уравнение Больцмана и газодинамические уравнения для описания состояния атмосферы. Тепловые и надтепловые частицы. Фотохимические и плазменные источники надтепловых частиц. Роль надтепловых частиц в атмосферной химии и энергетике, в диссипации атмосферы.

#### 14. Кинетический метод Монте-Карло для исследования планетных атмосфер

Кинетика надтепловых частиц. Микро- и макроскопические уровни описания и математические модели. Кинетический метод Монте-Карло (КММК). Численные модели для исследования кинетики и динамики надтепловых частиц в планетных атмосферах. Приложения КММК для задач аэрономии и астрохимии.

#### 15. Перспективы исследования экзопланет

Текущие и будущие наземные и космические проекты исследования экзопланет. Наблюдательная программа внеатмосферной обсерватории «Спектр-УФ» по экзопланетам. Комплекс наземных исследований экзопланет на российских телескопах и инструментах.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Взаимодействие излучения с веществом**

#### **Цель дисциплины:**

Целью курса является ознакомление студентов магистратуры МФТИ с современными теоретическими методами исследования процессов взаимодействия оптического излучения (в том числе ультракоротких лазерных импульсов) с атомами, молекулами и наночастицами.

#### **Задачи дисциплины:**

- 1) Закрепление у студентов понимания основ физики взаимодействия излучения с веществом;
- 2) Изучение процессов многофотонного возбуждения и ионизации атомов и молекул;
- 3) Освоение теории Келдыша;
- 4) Изучение традиционных и современных методов селективного заселения уровней атомов;
- 5) Ознакомление студентов с принципами лазерного управления квантовыми системами;
- 6) Изучение методов создания коротких лазерных импульсов, обладающих заданными характеристиками.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Основные представления теории взаимодействия излучения с веществом;
- Основные представления схемы селективного заселения теории многофотонная процессов в атомах и молекулах;
- Основные схемы селективного заселения и основные современные методы лазерного управления.

##### **уметь:**



- Анализировать взаимодействие излучения с атомами и молекулами в рамках приближения вращающейся волны и определять условия адиабатичности при переходах в такой системе;
- Выбирать наиболее подходящий метод для селективного заселения состояний атомов и молекул.
- Оценивать характер и скорости многофотонных процессов при взаимодействии атомов и молекул с лазерным излучением, а также основные параметры излучения высоких гармоник опровергающего такие процессы.

**владеть:**

- Математическим аппаратом теории взаимодействия излучения с веществом
- Теоретическими основами современных методов лазерного управления.

**Темы и разделы курса:**

1. Основные представления теории взаимодействия излучения с веществом.

Уравнение Шредингера для взаимодействия с внешним полем. Уравнения сильной связи. Двухуровневая система. Резонансное приближение. Частота Раби и  $\pi$ -импульсы.

2. Адиабатические схемы селективного заселения.

Быстрый адиабатический перенос населенности (ARP). Стимулированный рамановский адиабатический перенос населенности (STIRAP).

3. Многофотонное возбуждение атомов и молекул.

Второй и более высокие порядки временной теории возмущений. Многофотонный матричный элемент. Полное приближение и связь матричных элементов  $K$ -того и  $K+1$  порядков. Влияние ширины уровня. Влияние ширины спектра короткого возбуждающего импульса. Резонансная ионизация. Многофотонная частота Раби.

4. Динамический эффект Штарка.

Система «Атом+поле». Квазиэнергии и квазиэнергетические состояния. Динамическая поляризуемость и ее свойства. Динамические резонансы.

5. Многофотонная ионизация атомов лазерным излучением.

Теория Келдыша. Туннельная и многофотонная ионизация.

6. Надпороговая ионизация атомов.

Структура спектра фотоэлектронов при многофотонной ионизации. Эффект перераспределения электрона на родительском ядре. Генерация высоких гармоник и получение аттосекундных импульсов.

7. Селективная фотофизика и фотохимия.

Молекулярные процессы в поле лазерного излучения. Вибронные переходы в молекулах. Лазерное разделение изотопов. Электронная фотохимия и колебательная фотохимия.

Элементарные процессы селективного воздействия лазерным излучением на вещество. Основные схемы селективного возбуждения.

8. Принципы когерентного лазерного управления.

Схема Шапиро-Брумера. Метод pump-dump. Разгон ядер множественными электронными переходами. Лазерно-индуцированные поверхности потенциальных энергий. Лазерное управление ориентацией.

9. Управление программируемыми широкополосными импульсами.

Жидкокристаллический модулятор. Экспериментальная схема лазерного управления с обратной связью. Генетические алгоритмы. Теория оптимального управления. Управление преобразованием лазерного излучения с целью разработки источников ультракоротких импульсов с заданными зависимостями интенсивности и частоты от времени.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Взаимодействие излучения с веществом**

#### **Цель дисциплины:**

Дать базовые знания о физических механизмах, протекающих в твердых, газовых и жидких средах, а также о возможных изменениях оптических, теплофизических и механических свойств материалов при воздействии на них лазерного или нейтронного излучения.

#### **Задачи дисциплины:**

- Развить представления о нелинейных и когерентных явлениях при взаимодействии лазерного излучения с резонансными и нерезонансными средами.
- Получить знания и возможность выполнять оценки по возможным результатам поведения сред под воздействием лазерного или нейтронного излучения
- По окончании курса, предполагается, что студенты овладеют методами теории нелинейной и когерентной оптики, уравнениями и теоретическими подходами для описания поведения точечных и протяженных дефектов в твердых телах, ознакомятся с экспериментальными результатами по изменению микроструктуры и свойств реакторных материалов, используемых в атомной энергетике.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- порядки численных величин, характерные для процессов взаимодействия лазерных импульсов с различными средами.;
- общие подходы к решению прикладных и теоретических задач в области физических процессов в топливе ядерных реакторов;
- основные теплофизические и механические свойства ядерного топлива;
- основные характеристики эволюции микроструктуры, теплофизических и механических свойств ядерного топлива с ростом выгорания.

##### **уметь:**

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;

- квалифицированно использовать полученные знания для решения простейших практических задач взаимодействия лазерных импульсов с различными средами;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- эффективно использовать полученную методическую подготовку в области решения задач физики процессов в топливе ядерных реакторов для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

**владеть:**

- практическими навыками исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками теоретического анализа реальных задач в разных областях физики процессов в топливе ядерных реакторов;
- умением искать теоретические объяснения экспериментальным результатам и экспериментальные подтверждения теоретическим моделям
- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования физических задач, навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления их с теоретическими расчетами;
- навыками самостоятельной работы с учебной, научной и справочной литературой, ведения поиска и ориентирования в библиографии.

**Темы и разделы курса:**

1. Распространение и взаимодействие лазерных импульсов с резонансными средами.

Вывод уравнений для описания взаимодействия лазерных импульсов с резонансными средами. Различные режимы взаимодействия лазерного излучения с резонансными средами. Когерентное взаимодействие: фотонное эхо,  $2\pi$ - и  $\pi$ -импульсы, светоиндуцированная прозрачность. Волны просветления в резонансных поглощающих средах. Эффект Дике. Охлаждение атомов резонансными лазерными пучками. Эффект светоиндуцированного дрейфа атомов (молекул) в лазерном поле и возможность разделения изотопов. Резонансное преобразование частот в многоуровневых средах

2. Термическое воздействие импульсов лазерного излучения на материалы.

Элементы теории лазерной резки и лазерной сварки. Воздействие лазерных импульсов на загрязненные нефтью водные поверхности. Введение в технологию модификации поверхностных слоев твердых материалов (сплавов) с использованием импульсов лазерного излучения.

### 3. Точечные и протяженные дефекты в реакторных материалах.

Точечные дефекты в твердых телах. Механизмы образования точечных дефектов в условиях термодинамического равновесия и при наличии радиационного облучения. Дислокации, дислокационные петли. Газонаполненные пузырьки и вакансионная пористость. Преципитаты - включения вторичных фаз.

### 4. Циркониевые сплавы в условиях эксплуатации в реакторах с водяным охлаждением.

Механические, физические и коррозионные свойства циркониевых сплавов. Физические процессы, роль легирования и микроструктуры, которые определяют режимы и скорость коррозии циркониевых сплавов. Эволюция микроструктуры и механических свойств циркониевых сплавов в условиях реакторного облучения. Модели роста оксидных пленок. Наводороживание циркониевых сплавов, гидриды в циркониевых оболочках тепловыделяющих элементов.

### 5. Физические процессы в топливе ядерных реакторов.

Деления ядер в топливе. Осколки деления, длины торможения ядер. Процессы, определяющие диффузию атомов в ядерном топливе. Выход осколков деления из топлива. Нарботка и неоднородное распределение плутония по радиусу топливной таблетки. Оксидное топливо с содержанием гадолиния. Процессы, определяющие теплопроводность топлива на основе диоксида урана.

### 6. Эволюция микроструктуры, теплофизических и механических свойств ядерного топлива с ростом выгорания.

Микроструктура ядерного топлива до облучения в реакторе. Рост топливных зерен. Процесс радиационного доспекания топлива. Распухание топлива - твердотельное и газовое. Формирования рим-структуры на краю топливных таблеток при высоких выгораниях. Скорость формоизменения топливных таблеток при наличии термомеханических напряжений - ползучесть поликристаллического топлива. Зависимость теплопроводности диоксидного топлива от температуры и выгорания.

### 7. Выход газовых продуктов деления из топлива и термомеханическое поведение тепловыделяющих элементов.

Феноменология поведения газовых продуктов деления в топливе на основе диоксида урана. Формирование и рост внутриверенных и межверенных газовых пузырьков в процессе эксплуатации топлива. Эффект перколяции межверенной пористости в топливе. Модели выхода стабильных и радиоактивных продуктов деления из топлива. Термомеханическое взаимодействие топливных таблеток с оболочкой твэла. Эффект замедленного гидридного растрескивания. Эффект йодного растрескивания оболочки твэла под напряжением. Термомеханическое поведение твэлов и выход активности при разгерметизации.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Взаимодействие излучения с веществом**

#### **Цель дисциплины:**

освоение студентами фундаментальных знаний в области взаимодействия электромагнитного излучения с атомами и молекулами, газообразным и конденсированным состояниями вещества.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области взаимодействия оптического излучения с квантовыми объектами и современной теории излучения, интегрирующей общезначимую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов принципам работы, создания и использования новейших квантовых устройств, выявлению особенностей их функциональных характеристик;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области электрофизики, оптики когерентного излучения, в рамках выполнения работ в лабораториях базовых предприятий.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные концепции, законы и принципы взаимодействия квантовой двухуровневой и многоуровневой системы с классическим и квантовым электромагнитным полем;

основные теоретические и экспериментальные методы, используемые в области воздействия света на квантовые системы;

основные результаты открытий и исследований, определивших пути развития квантовой и нелинейной оптики, физики взаимодействия излучения с веществом.

##### **уметь:**

проводить самостоятельно и в коллективе экспериментальные или теоретические исследования по физике взаимодействия излучения с веществом;

осуществлять процедуру измерения физических величин и правильно оценивать степень их достоверности;

анализировать и обобщать результаты экспериментальных исследований;

видеть и оценивать основные проблемы и ставить новые задачи.

**владеть:**

методикой экспериментальной работы с современными источниками излучения и приборами регистрации их характеристик;

основными приемами проведения модельных расчетов;

навыками представления своих результатов на семинарах и конференциях;

навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;

правилами написания научных статей.

**Темы и разделы курса:**

1. Когерентное взаимодействие

Резонансное приближение. Гамильтониан атома в электромагнитном поле. Динамическое полевое уширение. Нутации. Когерентное затухание. Метод медленных амплитуд.  $\pi/2$  и  $\pi$ -импульсы.

2. Фотонное эхо

Поляризация при воздействии двумя короткими резонансными импульсами. Обратимая расфазировка. Длительность сигнала эха.

3. Солитоны

Синус-уравнение Гордона. Автомодельное решение.  $2\pi$ -импульс. Взаимодействие солитонов.

4. Уравнения движения для матрицы плотности

Физический смысл диагональных и недиагональных элементов матрицы. Учет релаксационных процессов. Продольная и поперечная релаксации.

5. Самосогласованные уравнения для поля, поляризации и разности заселенностей уровней

Вывод уравнений для поля, поляризации и разности заселенностей уровней из уравнения для движения матрицы плотности. Физический смысл входящих в уравнения членов. Фактор Лоренца.

6. Восприимчивость двухуровневой системы

Восприимчивость двухуровневой системы и эффекты насыщения. Физический смысл параметра насыщения. Предельные значения поглощаемой и излучаемой мощности. Физические факторы, влияющие на значение коэффициента поглощения. Ширина линии.

7. Соотношения Крамерса - Кронига

Физический источник взаимосвязи коэффициентов поглощения и показателей преломления. Структура соотношений Крамерса – Кронига и их практическое значение.

#### 8. Взаимодействие света со сложными системами

Процессы в система одиночный уровень - зона уровней. Распад нижнего уровня в зону. Распределение заселенностей в зоне. Система типа зона- зона. Вырожденные зоны.

#### 9. Фотонная структура процессов взаимодействия

Процедура вторичного квантования светового поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов. Волновая функция ансамбля фотонов. Энергия нулевых колебаний.

#### 10. Поглощение и испускание фотонов

Формализм описания поглощения и испускания фотонов. Вероятности стимулированных процессов. Спонтанное испускание в дипольном приближении. Коэффициенты Эйнштейна.

#### 11. Светодинамика атомов

Сила светового давления. Ускорение и замедление атомов в световом поле. Светоиндуцированный дрейф в смеси атомов. Разделение изотопов.

#### 12. Воздействие на свободные электроны

Описание взаимодействия света со свободными электронами в нерелятивистком и релятивистком приближениях. Оценка вкладываемой мощности. Обратный тормозной эффект.

#### 13. Оптика сверхсильных полей

Способы получения фемтосекундных импульсов. Значение магнитной составляющей сверхсильного поля. Ускорение заряженных частиц. Генерация высоких гармоник. Рождение электрон-позитронных пар в поле фемтосекундных импульсов.

#### 14. Металлооптика

Комплексная диэлектрическая проницаемость. Решения уравнений Максвелла для металлов. Глубина проникновения излучения в металл. Зависимость коэффициентов отражения от длины волны излучения.

#### 15. Взаимодействие излучения с диэлектриками и полупроводниками

Комплексная диэлектрическая проницаемость. Решения уравнений Максвелла для металлов. Глубина проникновения излучения в металл. Зависимость коэффициентов отражения от длины волны излучения.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Взаимодействие плазмы с конструкционными материалами**

#### **Цель дисциплины:**

Дать базовые знания об основных физических процессах, происходящих при взаимодействии плазмы с конструкционными материалами как с целью формирования фундаментальных физических представлений о взаимодействии плазмы с твердотельными материалами, так и для приобретения практических навыков по применению полученных знаний при решении прикладных физических и научно-технических задач, в частности, для решения задач, связанных с разработкой и созданием первой стенки международного экспериментального термоядерного реактора ИТЭР.

#### **Задачи дисциплины:**

- Сформировать представление о взаимодействии плазмы с поверхностью материалов как совокупности большого количества одновременно протекающих физических процессов, относительная роль и влияние которых как на динамику взаимодействия, так и его конечные результаты (что произошло с материалом?) существенным образом зависят от условий облучения материала плазмой.
- Предполагается, что по окончании курса студенты приобретут четкие представления об основных физических явлениях, имеющих место быть при взаимодействии плазмы с конструкционными материалами, и сумеют применять полученные знания для решения практических задач, связанных с взаимодействием плазмы с материалами.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные физические процессы, развивающиеся при взаимодействии плазмы материалами;
- теоретические и экспериментальные методы, применяемые при изучении взаимодействия плазмы с материалами;
- последствия воздействия плазмы на материалы в зависимости от характеристик плазмы, условий облучения и сорта материала.

##### **уметь:**

- проводить самостоятельно и в составе коллектива экспериментальные/теоретические исследования в области взаимодействия плазмы с материалами;
- уметь выбирать и применять на практике адекватные методы диагностики;
- получать максимально точные значения измеряемых величин и правильно оценивать степень их достоверность;
- анализировать и обобщать результаты экспериментальных/теоретических исследований;
- выявлять и оценивать имеющиеся проблемы/противоречия и ставить новые задачи исследований.

**владеть:**

- экспериментальными методами исследования взаимодействия плазмы с материалами;
- навыками проведения модельных расчетов;
- культурой представления своих результатов на семинарах и конференциях;
- навыками написания научных статей.

**Темы и разделы курса:**

1. Вводный раздел: разрушительная и созидательная роль плазмы при облучении конструкционных материалов.

Умеренные потоки энергии. Улучшение свойств материалов при облучении плазмой (плазменные технологии).

Большие потоки энергии. Эрозия поверхности, объемное разрушение материалов под воздействием плазмы.

Проблема материалов первой стенки международного экспериментального термоядерного реактора ИТЭР.

2. Баланс энергии при взаимодействии потоков плазмы с материалами.

Основные каналы потерь энергии и их относительный вклад в общий баланс в зависимости от характеристик плазменного потока и условий облучения.

Нагрев поверхности. Распространение тепловой волны вглубь материала. Тепловой скин-слой. Предельный поток энергии, который может поглощаться материалом за счет теплопроводности.

3. Эффект экранировки.

Испарение материала. Ионизация пара. Образование мишенной плазмы перед поверхностью. Кулоновское торможение плазменного потока в плотной мишенной плазме. Поглощение энергии потока. «Vapor shielding effect» - эффект экранировки поверхности материала от воздействия плазменного потока слоем мишенной плазмы.

Энергетический порог экранировки для разных материалов. Результаты расчетов и экспериментов.

#### 4. Свойства плазмы экранирующего слоя.

Формирование, динамика и структура экранирующего слоя в зависимости от сорта облучаемого материала и интенсивности облучения.

Характеристики приповерхностной плазмы: плотность, температура, элементный состав, ионизационное состояние. Влияние магнитного поля на параметры экранирующего слоя.

#### 5. Эффективность экранировки.

Механизмы передачи энергии на поверхность облучаемого материала через экранирующий слой.

Эффект «самоэкранировки» плотных (столкновительных) плазменных потоков.

Эффективность ослабления теплового потока на поверхности материала в зависимости от характеристик потока и условий облучения.

#### 6. Преобразование энергии плазмы в излучение.

Преобразование энергии налетающего плазменного потока в излучение мишенной плазмы. Воздействие излучения на окружающие материалы. Эрозия материалов под воздействием света. Характер разрушения поверхности.

#### 7. Излучение мишенной плазмы.

Характеристики излучения мишенной плазмы. Интенсивность и спектр излучения. О возможности создания мощных источников EUV-излучения (2 – 30 нм) на основе взаимодействия потоков плазмы с материалами.

#### 8. Механизмы эрозии конструкционных материалов под действием плазмы.

Механизмы эрозии конструкционных материалов под действием плазмы.

Классические механизмы эрозии: физическое распыление, химическое распыление, радиационно-стимулированная эрозия.

Макроскопические механизмы эрозии: выброс частиц и капель с поверхности облучаемого материала. Хрупкое разрушение материалов. Кипение поверхностного слоя. Развитие неустойчивостей типа Релей-Тейлора или Кельвина-Гельмгольца в слое расплава с образованием капель. Образование кратера эрозии из-за перемещения расплава по поверхности.

## 9. Эрозионная стойкость конструкционных материалов.

Характер эрозии и поверхностных повреждений наиболее распространенных конструкционных материалов (сталь, медь, вольфрам, молибден, алюминий, титан, графит, углеграфитовые композиты др.). Классификация материалов по характеру разрушения поверхности. Сравнительный анализ эрозионной стойкости современных теплозащитных материалов.

## 10. Проблема материалов для первой стенки ИТЭР.

Международный экспериментальный термоядерный реактор ИТЭР. Характеристики плазмы в ИТЭР. Потоки тепла и частиц на стенку камеры ИТЭР во время стационарной работы токамака и переходных плазменных процессов. Эрозия материалов, обращенных к плазме. Проблема выбора теплозащитных материалов для первой стенки ИТЭР. Критерии выбора материалов. Наиболее перспективные материалы для первой стенки и дивертора ИТЭР. Результаты испытаний материалов.

## 11. Плазменная технология. Физические основы импульсной обработки поверхности.

Плазменная технология. Упрочнение конструкционных материалов импульсной плазмой. Повышение микротвердости, увеличение коррозионной стойкости, снижение коэффициента трения, рост износостойкости и т.п. Физические основы импульсной обработки поверхности.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Внутреннее строение планет**

#### **Цель дисциплины:**

Получить знания о внутреннем строении планет Солнечной системы и их спутников.

#### **Задачи дисциплины:**

1. Освоить теоретическую базу моделирования внутреннего строения планет и спутников.
2. Уметь пользоваться имеющимися данными наблюдений и методами их применения для построения моделей внутреннего строения планет и спутников.
3. Ознакомиться с развитием теорий и представлений о внутреннем строении планет Солнечной системы.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

стандартные методы обработки наблюдений

##### **уметь:**

Уметь применить новые математические и компьютерные методы для решения задач планетологии

##### **владеть:**

Владеть стандартными методами обработки наблюдений

#### **Темы и разделы курса:**

1. Образование Солнечной системы.

Образование Солнечной системы и распространенность элементов.

Почем важно выйти за пределы Земли? Развитие теоретических представлений, современные небулярные теории. Гипотеза Шмидта и ее развитие. Строение Солнечной

системы. Закон Тициуса-Боде. Приливное трение. Обилие элементов. Распространенность элементов в атмосфере Солнца. Метеориты: недифференцированные метеориты, дифференцированные метеориты, возраст и интервалы времени образования метеоритов.

2. Сейсмология: объемные волны, поверхностные волны, собственные колебания.

Регистрация первого сейсмического события на Земле. Как были получены границы ядра-мантия, кора-мантия, внутреннее ядро. Типы сейсмических волн. Понятие годографа, Определение скоростей волн как функции глубины. Причины, ослабляющие амплитуду сейсмического сигнала при его распространении в недрах планеты. Классы собственных колебаний. Затухание колебаний.

3. Состав и строение оболочек Земли. Фазовые превращения.

Развитие представлений о недрах Земли. уравнении Адамса-Вильямсона, области его применения. Современные модели Земли. Диссипативные свойства земных недр. Динамический модуль сдвига земных недр. Минералогический состав. Пиролитовая модель Земли. Фазовые переходы в основных породообразующих минералах.

4. Магнитное поле Земли. Генерация магнитного поля.

Ядро Земли. История геомагнетизма. Палеомагнитные исследования. Природа геомагнетизма – как генерируется магнитное поле в ядре. Схема работы гидромагнитного динамо.

5. Изостазия.

Землетрясения, извержения вулканов, изменения уровня моря показывают, что Земля не только изменялась в прошлом, но и теперь остается динамичной планетой. Какие же силы вызывали вертикальные движения, и как Земля реагирует на эти силы? Теория тектоники плит. Понятие изостазии. Время релаксации упругих напряжений. Теория пластичности твердых тел. Температура плавления и реология горных пород Граница литосфера-астеносфера.

6. Конвекция.

Адиабатический градиент температуры. Кондуктивный теплоперенос.

Конвективный теплоперенос, общее уравнение переноса тепла. Свободная тепловая конвекция. Схема движения жидкости в ячейке Бенара. Число Рэлея, число Нуссельта. О возможности свободной тепловой конвекции в мантии Земли.

7. Геотермика. Изостазия.

Геотермика изучает тепловое состояние Земли и распределение температуры в ее недрах. Вопрос о распределении температуры тесно связан с распределением источников тепла в глубинах Земли. Величина теплового потока, Измерения теплового потока в приповерхностных областях Земли. Изменения представлений о тепловом режиме земной коры по результатам глубокого континентального бурения. Как оценить температуру в недрах Земли: метод реперных точек. Горячие точки: горячие точки как реперы определения абсолютной скорости движения литосферных плит.

## 8. Теория гравитационного потенциала.

Гравиметрия связана с формой Земли, и таким образом, в геодезии, а последняя с топографией. Гравитационное поле определяет внешнюю баллистику планеты, значение которой в космический век не требует комментариев, данные гравитационного поля служат граничными условиями при построении моделей планет. Теорема Клеро. Эквипотенциальные поверхности. Фигура Земли. Высоты геоида. Формула Буге. Поверхностные аномалии силы тяжести.

## 9. Внутреннее строение Луны.

Аккреционный разогрев: понятие океана магмы. Фигура и гравитационное поле Луны. Масконы. Геология поверхности. Реголит. Сейсмология Луны. Модель внутреннего строения Луны. О возбуждении собственных колебаний. Магнитное поле Луны. Распределение электропроводности и температуры. Тепловой поток.

## 10. Внутреннее строение Марса.

Рельеф поверхности. Построение модели внутреннего строения Марса. Сейсмический эксперимент на Марсе. Двнные гравитационного поля и топографии: определение плотностных

неоднородностей в приповерхностных областях планеты. Магнитное поле.

## 11. Внутреннее строение Венеры.

Геология поверхности. Данные наблюдений. Землеподобные модели внутреннего строения Венеры. Оценки сейсмической активности. О возможности фиксации сейсмических событий по измерению изменений в атмосфере температуры, электронной плотности.

## 12. Внутреннее строение Меркурия.

Геология поверхности. Гипотезы образования. Данные наблюдений. Модели внутреннего строения Меркурия. Магнитное поле.

## 13. Внутреннее строение планет-гигантов.

История построения моделей внутреннего строения. Теория фигуры. Почему планеты-гиганты являются газо-жидкими телами. Адиабатическая модель. Уравнение состояния. Модели внутреннего строения. Сейсмология Юпитера и Сатурна.

## 14. Внутреннее строение спутников планет-гигантов.

Размер, форма и масса. Приливное трение. Данные спектроскопии как ограничение на состав. Данные наблюдений для моделирования внутренней структуры. Гравитационное поле. Двух и трехслойные модели внутреннего строения. Фазовые переходы. Океаны. Наведенные магнитные поля.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Высокотемпературная сверхпроводимость**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами фундаментальных знаний в области высокотемпературной (ВТСП) и многоцелевой сверхпроводимости, изучение основных методов исследования различных физических свойств высокотемпературных сверхпроводников и возможностей оптимизации параметров этих материалов, а также областей их практического применения.

#### **Задачи дисциплины:**

- Формирование базовых знаний в области ВТСП и многоцелевой сверхпроводимости;
- знакомство с существующими классами ВТСП соединений, современными представлениями о структуре и физических свойствах ВТСП, ознакомление с технологией синтеза и оптимизации ВТСП материалов;
- знакомство с основными современными методами, используемыми для выяснения сложной физической природы ВТСП, формирование базовых знаний в области эффектов, лежащих в основе этих методов;
- знакомство с основными теоретическими моделями, предложенными для описания сверхпроводящих свойств ВТСП и многоцелевых сверхпроводников, в том числе нефононными механизмами сверхпроводимости;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области ВТСП, формирование базовых знаний и умений для исследований в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Кристаллическую и электронную структуру, фазовую диаграмму основных семейств ВТСП соединений; основные формулы моделей сильной связи БКШ и Элиашберга, расширенной БКШ-модели для плоской зоны, модели ВТСП Абрикосова, спин-флуктуационной модели сверхпроводящего спаривания, двухзонной модели Москаленко и Сула; основные типы симметрии сверхпроводящего параметра порядка, эволюцию основных параметров ВТСП при изменении состава, допирования, давления; эффекты протяженной сингулярности ван Хофа, псевдощели, внутренний эффект Джозефсона.



**уметь:**

Анализировать свойства ВТСП и многощелевых сверхпроводников в рамках существующих теоретических представлений.

**владеть:**

Базовыми понятиями и формулами основных моделей сверхпроводящего состояния ВТСП материалов.

**Темы и разделы курса:****1. Обзор основных семейств ВТСП**

История открытия ВТСП. Основные семейства ВТСП: купраты, дибориды магния, железосодержащие сверхпроводники, системы с тяжелыми фермионами, сероводород. Особенности кристаллической и зонной структуры, анизотропия транспортных и электронных свойств. Магнитное упорядочение и спиновые корреляции. Фазовая диаграмма ВТСП и возможные механизмы спаривания. Основные параметры сверхпроводящего состояния известных ВТСП.

**2. Купратные ВТСП**

Структура и поверхность Ферми купратов. Вариация состава и допирования купратных ВТСП. Переход металл-изолятор. Влияние состава, допирования и давления на сверхпроводящие свойства купратных ВТСП. Симметрия сверхпроводящего параметра порядка. Изотопический эффект в купратах.

**3. Модели на основе сильного электрон-фононного взаимодействия**

Природа и механизмы сверхпроводимости. Щель в спектре возбуждений и критическая температура. Сверхпроводимость в трехмерных изотропных системах. Изотопический эффект. Кулоновское отталкивание. Учет сильной связи и наличия плоской зоны в модели Бардина-Купера-Шриффера (БКШ). Модель сильной связи Элиашберга. Формула Макмиллана. Влияние рассеяния на примесях на основные параметры сверхпроводящего состояния.

**4. Спин-флуктуационная модель**

Спаривание посредством спиновых флуктуаций. Знакопеременный параметр порядка. Конгруэнтность поверхностей Ферми. «Магнитный резонанс». Возможные типы симметрии параметра порядка. Влияние магнитных и немагнитных примесей.

**5. Псевдощель в купратах**

Псевдощель и ее обнаружение в эксперименте. Фазовая диаграмма купратов. Температурная зависимость сверхпроводящей щели и псевдощели. Влияние допирования на псевдощель.

**6. Теория ВТСП купратов А.А. Абрикосова**

Протяженная сингулярность ван Хофа и ее отличие от «плоской зоны». Проблемы изотопического эффекта в купратных ВТСП. Учет закона дисперсии вблизи протяженной сингулярности ван Хофа в БКШ-образной модели. Природа анизотропии сверхпроводящей щели в купратных ВТСП.

#### 7. Двухщелевая сверхпроводимость

Система уравнений Москаленко и Сула. Эффект близости. Константы связи. Межзонное и внутризонное взаимодействие. Температурные зависимости сверхпроводящих щелей. Предельные случаи: внутризонная и межзонная сверхпроводимость.

#### 8. Двухщелевая сверхпроводимость диборидов магния

Вариация состава и допирования диборидов магния. Кристаллическая, электронная структура и фазовая диаграмма. Основные параметры сверхпроводящего состояния.  $\sigma$ - и  $\rho$ -конденсаты. Изотопический эффект в диборидах магния. Температурные зависимости сверхпроводящих щелей.

#### 9. Теоретические модели двухщелевой сверхпроводимости диборидов магния

Электрон-фононное взаимодействие в диборидах магния, функция Элиашберга и ее экспериментальное обнаружение. Влияние допирования и примесей на сверхпроводящие свойства. «Грязный предел».

#### 10. Железосодержащие ВТСП

Пниктиды и халькогениды железа. Основные классы железосодержащих сверхпроводников и их свойства. Кристаллическая и электронная структура, фазовая диаграмма. Поверхность Ферми железосодержащих сверхпроводников по данным фотоэмиссии углового разрешения (ARPES).

#### 11. Основные модели сверхпроводимости железосодержащих ВТСП

Изотопический эффект в железосодержащих ВТСП. Электрон-фононное взаимодействие в железосодержащих ВТСП. Спин-флуктуационная  $s_{\pm}$ -модель: знакопеременный параметр порядка, «магнитный резонанс» по данным нейтронного рассеяния. Анизотропия сверхпроводящей щели в импульсном пространстве.  $s_{++}$ -спаривание посредством орбитальных флуктуаций. Основные типы симметрии параметра порядка в железосодержащих ВТСП и их эволюция при изменении состава и допирования. БКШ-БЭК-переход и переход Лифшица, «суперстрайпы» в железосодержащих ВТСП.

#### 12. Электрон-бозонное взаимодействие в ВТСП. Другие классы ВТСП

Наблюдение фононных резонансов на туннельных спектрах ВТСП купратов. Рамановская спектроскопия. Наблюдение спинового экситона в железосодержащих сверхпроводниках. Системы с тяжелыми фермионами, сероводороды. Монослой селенида железа. Сравнение свойств трехмерных сверхпроводящих систем и слоистых ВТСП. Сравнение свойств различных ВТСП. Основные теоретические проблемы описания механизма ВТСП.

#### 13. Применения ВТСП

Сильноточные применения. Слаботочные применения. ВТСП-ленты. Терагерцевые генераторы и детекторы. СВЧ - фильтры.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Вычислительные методы**

#### **Цель дисциплины:**

Обучить основным методам численно-математического моделирования на практических примерах.

#### **Задачи дисциплины:**

Изучение основ численной линейной алгебры и её приложений. Изучение методов оптимизации и решения интегральных и дифференциальных уравнений. Введение в метод Монте-Карло и его приложения. Знакомство со стандартными библиотеками языка Python.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Основы численной линейной алгебры, методов решения дифференциальных и интегральных уравнений, а также методов Монте-Карло.

##### **уметь:**

Реализовывать простейшие версии основных алгоритмов для решения задач численного моделирования и использовать стандартные специализированные библиотеки.

##### **владеть:**

Вычислительными методами.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Векторные и матричные нормы. Унитарные матрицы. SVD разложение. Проекторы. Задача о наименьших квадратах. QR факторизация.

Рассматриваются векторные и матричные нормы. Кратко напомним об унитарных матрицах и проекторах. Приводится задача о SVD разложении и алгоритмах его реализующих. Задача о наименьших квадратах и QR факторизация

2. Вычисления с плавающей точкой. Вычислительная устойчивость.

Представление числа в экспоненциальной форме. Особенности вычисления с плавающей точкой. Понятие об устойчивости вычислительной схемы. Вычислительная устойчивость.

3. Матричный ранг. Приближение низкого ранга и приложения SVD.

Матричный ранг. Приближение низкого ранга. Применение SVD разложения в понижении размерности задачи и другие приложения SVD.

4. Системы линейных уравнений. Число обусловленности.

Методы решения систем линейных уравнений (СЛАУ). Основные алгоритмы решения СЛАУ и библиотеки их реализующие. Понятие числа обусловленности для алгоритма решения СЛАУ.

5. Собственные векторы и собственные значения. Методы решения симметричной задачи на собственные значения.

Численная задача поиска собственных векторов и собственных значений. Методы и алгоритмы решения симметричной задачи на собственные значения.

6. Разреженные матрицы. Библиотеки numru и sciru. Итеративные методы линейной алгебры.

Понятие разреженной матрицы и алгоритмы работы с ними. Библиотеки numru и sciru и их реализация итеративных методов линейной алгебры.

7. Решение систем нелинейных уравнений. Введение в методы оптимизации.

Основные методы решения систем нелинейных уравнений. Особенности реализации методов решения систем нелинейных уравнений. Введение в методы оптимизации. Основные алгоритмы численной оптимизации.

8. Численное интегрирование и дифференцирование. Методы интерполяции. Решение интегральных уравнений.

Численное интегрирование и дифференцирование. Точность метода численного дифференцирования и интегрирования. Основные реализации методов численного интегрирования и дифференцирования. Методы интерполяции. Решение линейных интегральных уравнений. Реализация методов решения интегральных уравнений.

9. Основные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных.

Основные численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных. Точность основных методов обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных. Библиотеки, реализующие основные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных.

10. Введение в методы Монте-Карло. Методы сэмпирования.

Введение в методы Монте-Карло. Понятие псевдослучайности и генерация псевдослучайных чисел. Основные методы сэмпирования. Скорость работы и применимость основных методов сэмпирования.

11. Марковские цепи Монте-Карло. Алгоритм Метрополиса - Гастингса. Сэмплирование по Гиббсу. Гамильтонов Монте-Карло.

Марковские цепи Монте-Карло. (МЦМК). Методы семплирования на основе МЦМК. Алгоритм Метрополиса — Гастингса. Сэмплирование по Гиббсу как частный случай алгоритма Метрополиса-Гастингса. Понятие гамильтонова Монте-Карло и его реализация.

12. Модели пространства состояний. Линейные динамические системы. Фильтр Калмана.

Модели пространства состояний. Основы анализа временных рядов. Линейные динамические системы как представление временного ряда. Баесовская сеть как линейная динамическая система. Фильтр Калмана. Дискретный фильтр Калмана и задача прогнозирования.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Вычислительные средства: GEANT 4**

#### **Цель дисциплины:**

- ознакомление с методами моделирования физических установок с помощью пакета GEANT4.

#### **Задачи дисциплины:**

- обучение студентов моделированию случайных процессов методом Монте-Карло;
- ознакомление с принципами работы, способами использования и пределами применимости программного пакета GEANT4;
- формирование у студентов практических навыков разработки компьютерных программ моделирования физических процессов в веществе с применением программного пакета GEANT4.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- общую схему метода Монте-Карло;
- способы моделирования основных случайных распределений;
- способы построения геометрической модели детектора в пакете Geant4;
- принципы составления наборов моделей физических процессов в пакете Geant4;
- пределы применимости основных моделей физических процессов в пакете Geant4;
- способы развития функциональности пакета Geant4.

##### **уметь:**

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для создания программ моделирования и решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной экспериментальной физики элементарных частиц.

##### **владеть:**

□ техникой моделирования физических процессов в веществе с применением программного пакета GEANT4.

### **Темы и разделы курса:**

1. Цели и способы моделирования физических процессов в детекторах.

Цели и задачи моделирования. История развития специализированных программ. Сравнение существующих программ (FLUKA, GEANT3, GEANT4, MCNP).

Цикл моделирования события. Обязательные блоки: модель детектора, генератор первичной вершины, набор моделей физических процессов. Создание простой программы моделирования.

2. Метод Монте-Карло.

Общая схема метода Монте-Карло. Моделирование распределений. Имитация случайных процессов.

3. Структура программ в пакете Geant4.

Ядро Geant4. Иерархия классов. Понятия сеанс, событие, трек.

4. Интерфейс пользователя.

Работа в интерактивном режиме. Пакетный режим. Создание новых команд. Действия, определяемые пользователем.

5. Построение модели детектора.

Способы описания материалов. Описание объема: форма, логический объем, физический объем. Параметризация физического объема. Системы координат. Вложенность объемов.

6. Моделирование отклика детектора.

Понятие чувствительного объема. Срабатывание. Оцифровка сигналов.

7. Описание электрического и магнитного полей.

Принцип моделирования полей в Geant4. Задание однородного магнитного поля. Сложные поля. Поля, меняющиеся во времени.

8. Визуализация детектора и событий.

Какие элементы детектора можно визуализировать. Графические драйверы. Управление визуализацией.

9. Описание элементарных частиц.

Частицы, моделируемые в Geant4. Конструкторы частиц. Особенности моделирования тяжелых ионов. Как создать новую частицу.

10. Генераторы первичной вершины.

Генераторы первичной вершины. Использование внешних программ-генераторов событий. Интерфейсы к форматам HEPEVT и HepMC.

#### 11. Моделирование физических процессов. Трекинг.

Задание набора физических процессов, учитываемых в моделировании. Стандартные наборы. Описание новой частицы. Описание нового процесса. Пороги рождения частиц. Ограничения, определяемые пользователем. Как происходит один шаг в моделировании.

#### 12. Модели взаимодействия электромагнитных взаимодействий.

Стандартный набор электромагнитных процессов. Набор процессов для частиц низких энергий. Моделирование многократного рассеяния. Моделирование ионизации. Моделирование оптических явлений.

#### 13. Модели взаимодействия адронов.

Таблицы сечений. Схема моделирования адрон-ядерных взаимодействий. Использование параметризации экспериментальных данных (GHEISHA). Струнные модели. Каскадные модели. Модели возбуждения ядер. Взаимодействие нейтронов. Распады.

#### 14. Сохранение результатов моделирования.

Способы использования возможностей пакета ROOT для сохранения данных. Как управлять сохранением в «дерево» ROOT.

#### 15. Применение пакета Geant4 в современных экспериментах.

Особенности моделирования сложных установок. Перспективы развития Geant4.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Геодинамическая безопасность и мониторинг при разработке месторождений**

#### **Цель дисциплины:**

Знакомство с основными видами негативных геодинамических последствий длительной разработки месторождений, методами геодинамического мониторинга месторождений и анализа результатов измерений, подходами к оценке геодинамической опасности объектов инфраструктуры месторождений и разработке превентивных мероприятий по снижению геодинамического риска.

#### **Задачи дисциплины:**

Дисциплина направлена на решение следующих задач:

1. Получение знаний о современном геодинамическом состоянии недр на разрабатываемых месторождениях нефти и газа.
2. Ознакомление студентов с современными методами геодинамического мониторинга месторождений и анализа получаемой информации.
3. Приобретение навыков оценки геодинамической опасности месторождений.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Основные положения механики деформируемого твердого тела, особенности геологии и разработки месторождений нефти и газа и эксплуатации подземных газохранилищ, базовые методы спутниковой и наземной геодезии, особенности механических свойств осадочных горных пород.

##### **уметь:**

Применять методы механики деформируемого твердого тела к решению таких задач деформирования земной поверхности и горного массива месторождений, как: расчет оседаний земной поверхности и оценка локального напряженно-деформированного состояния в пределах разломных зон. Оптимизировать методы геодинамического мониторинга в зависимости от специфики объекта и выявлять аномальное поведение измеряемых параметров. Оценивать текущий уровень деформационной активности недр и

степень геодинамической опасности конкретных объектов обустройства месторождений (скважина, промысловый трубопровод и др.).

**владеть:**

Навыками применения методов геодинамической диагностики месторождений к решению практических задач на разрабатываемых нефтегазовых месторождениях и эксплуатируемых подземных газохранилищах.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение

Предмет и методы решения задач обеспечения геодинамической безопасности объектов нефтегазового комплекса на основе мониторинга разрабатываемых месторождений углеводородов.

2. Современное геодинамическое состояние недр

Принципиальная схема формирования современного геодинамического состояния недр разрабатываемых месторождений. Характеристика эндогенных, экзогенных и техногенных факторов определяющих современную геодинамику разрабатываемых месторождений. Темы семинаров: оценка уровня и масштабов природных и техногенных деформаций земной поверхности для различных регионов.

3. Основные виды геодинамических последствий разработки месторождений нефти и газа

Классификация сейсмодеоформационных последствий по генезису формирование. Типизация и интенсивность техногенных и техногенно-индуцированных геодинамических последствий. Основные предпосылки формирования аномальных деформаций и сейсмических событий. Темы семинаров: Анализ формирования обширных оседаний, деформационной активизации разломов и землетрясений на конкретных месторождениях.

4. Аналитические и численные модели оседаний земной поверхности месторождений

Аналитические методы оценки оседаний земной поверхности месторождений с использованием теории деформационных ядер и методов Папковича-Нейбера и функций Грина. Численные расчеты оседаний на основе методов конечных и граничных элементов. Темы семинаров: Примеры реализации аналитических и численных методов расчета смещений земной поверхности конкретных месторождений.

5. Моделирование деформационной активизации разломов при разработке месторождений

Дислокационные модели разломов для упругих, упруго-вязких и многослойных сред. Применение моделей упругих включений и параметрического индуцирования для расчета локальных полей смещений, деформаций и напряжений в зонах разломов. Темы семинаров: Проведение расчетов и сравнительный анализ полей смещений для различных моделей разломов на примере нефтегазовых месторождений и подземных газохранилищ.

6. Методы геодинамического мониторинга месторождений

Методы наземной и спутниковой геодезии измерения деформаций земной поверхности. Метрология и совмещение методов мониторинга с различной пространственно-временной детальностью измерений. Оптимизация регламента мониторинговых наблюдений в зависимости от специфики нефтегазовых объектов. Темы семинаров: Конкретные примеры реализации геодинамического мониторинга для условий сухопутных месторождений, шельфовых объектов и подземных хранилищ газа.

#### 7. Опасные разломы и их диагностика

Определение опасного разлома, и его деформационные характеристики. Методы выявления опасных разломов и примеры аварийности скважин и промысловых трубопроводов в местах их проявления. Темы семинаров: Выявление зон опасных разломов на различных месторождениях и подземных хранилищах газа.

#### 8. Оценка геодинамической опасности объектов инфраструктуры месторождений

Представления о геодинамической опасности и геодинамическом риске объектов нефтегазового комплекса. Критерии и градация степени опасности в зависимости от уровня аномального геодинамического состояния недр месторождения на различных стадиях его разработки. Тема семинара: районирование территории конкретных месторождений и подземных газохранилищ по степени геодинамической опасности.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Геомеханика месторождений**

#### **Цель дисциплины:**

Знакомство с основными проблемами современной геомеханики в приложении к задачам разработки месторождений углеводородов, формирование представления об основных этапах геомеханического моделирования и особенностях математического описания механического поведения массивов горных пород.

#### **Задачи дисциплины:**

Дисциплина направлена на решение следующих задач:

1. Получение студентами опыта использования аппарата механики сплошных сред для решения прикладных задач геомеханики месторождений;
2. Ознакомление студентов с основными этапами геомеханического моделирования.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

базовые теоретические положения механики деформируемого твердого тела;

основные этапы построения модели механических свойств массива горных пород по данным разномасштабных геофизических исследований;

основные подходы к расчету напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

##### **уметь:**

планировать предварительные исследования, требующиеся для получения достоверных решений прикладных задач геомеханики месторождений углеводородов;

строить модель механических свойств массива горных пород по результатам геофизических исследований;

рассчитывать пространственные распределения напряжений и деформаций в массиве горных пород;

решать основные прикладные задачи геомеханики месторождений углеводородов: рассчитывать устойчивость ствола скважины, прогнозировать геометрию трещины гидроразрыва пласта, прогнозировать зоны развитой трещиноватости.

**владеть:**

математическим аппаратом механики сплошных сред, используемым при решении прикладных задач месторождений углеводородов.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение

Предмет и актуальные задачи геомеханики месторождений, современная стадия развития методов решения прикладных задач геомеханики месторождений.

2. Теоретические основы геомеханики

Основные понятия механики деформируемого твердого тела: скалярные, векторные и тензорные величины; напряжения и деформации. Замкнутая система уравнений механики сплошных сред. Проблема определяющих соотношений. Темы семинаров: решение нескольких задач теории упругости.

3. Реология и трещиноватость горных пород

Проблема учета насыщающего породу флюида при решении задач механики, модель пороупругости. Нелинейность реологии горных пород. Критерии разрушения, ассоциированные и неассоциированные законы пластического течения. Развитие трещиноватости в горных породах по мере изменения их напряженно-деформированного состояния. Естественная трещиноватость. Темы семинаров: решение нескольких задач теории пластичности и пороупругости.

4. Моделирование полей напряжений

Проблема моделирования полей напряжений в массивах горных пород: математическая постановка начальных и граничных условий в задачах геомеханики. Скважинные методы изучения напряженно-деформированного состояния массива горных пород. Этапы реконструкции профилей напряжений в породах околоскважинного пространства и методы трехмерного моделирования полей напряжений и деформаций. Темы семинаров: интерпретация данных скважинных исследований для реконструкции профилей напряжений вдоль вертикальных и наклонных скважин.

5. Расчет устойчивости ствола скважины

Использование результатов реконструкции профилей напряжений для прогноза проявлений при бурении и выработки рекомендаций по подбору плотности бурового раствора. Механические процессы при бурении: образование вывалов и трещин растяжения. Бурение наклонно-направленных и горизонтальных скважин. Роль тектонических напряжений в расчете устойчивости ствола скважины. Темы семинаров: расчет плотности бурового раствора при бурении вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин в породах с различными условиями залегания.

## 6. Геомеханика и гидроразрыв пласта

Технология гидроразрыва пласта, оптимизация дизайна гидроразрыва, существующие модели, используемые для математического описания зарождения и развития трещины гидроразрыва, взаимодействия трещин многостадийного гидроразрыва между собой. Темы семинаров – расчет нескольких простых задач хрупкого разрушения – развития трещины раскрытия, находящейся под внутренним давлением.

## 7. Вынос песка

Модели, описывающие процесс выноса твердой фазы при добыче нефти и газа. Использование закона пластического течения для описания механического поведения пород околоскважинного пространства при разработке месторождения. Содержание семинаров: выбор режима работы скважины, не допускающего вынос твердой фазы для различных условий залегания пород, слагающих месторождения.

## 8. Проседание земной поверхности

Взаимосвязи между напряженно-деформированным состоянием пород, слагающих месторождения углеводородов, и вышележащих пород. Проблема концентрации напряжений во вмещающих породах. Возможность прогноза изменения рельефа над разрабатываемыми месторождениями углеводородов.

## 9. Динамические процессы при разработке

Четырехмерное геомеханическое моделирование, совмещение гидродинамического и геомеханического моделирования, существующие методы совмещения. Влияние геомеханических эффектов на динамику добычи и его физические основы – изменения фильтрационно-емкостных свойств горных пород при изменении их напряженно-деформированного состояния.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Геофизика и интерпретация геофизических данных**

#### **Цель дисциплины:**

Ознакомление с методами разведочной геофизики, применяемые при поисках и разведке руд и металлов. Усвоение методологии, основных методов и подходов к обработке и интерпретации геофизических данных, решению прямых и обратных задач геофизики, математическому моделированию геофизических полей и процессов.

#### **Задачи дисциплины:**

Задачи изучения курса состоят в получении теоретических знаний о физических принципах, лежащих в основе геофизических методов разведки, а также - о математических методах решения прямых и обратных задач и выработке практических навыков по применению этих методов для обработки и интерпретации полевых геофизических данных. Рассматриваются задачи пометодной и комплексной интерпретации геофизических данных, анализа и привлечения априорной геолого-геофизической информации, геологическому истолкованию полученных результатов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- физико-математическую теорию геофизических методов исследований;
- принципы и методы моделирования геофизических полей;
- основные методы и алгоритмы обработки и интерпретации геофизических данных;
- принципы решения прямых и обратных задач геофизики;
- принципы построения геологических моделей месторождений полезных рудных ископаемых и способы корректировки плана геолого-разведочных работ на основе результатов интерпретации геофизических данных;
- основы методики проведения полевых геофизических исследований и получения геофизических данных.

##### **уметь:**

- на основании информации о геологическом строении, литолого-фациальном и минералогическом составе среды проводить моделирование геофизических полей и процессов;
- на основании данных о значениях наблюдаемых физических полей реконструировать строение и физические свойства геологической среды;
- давать геологическое истолкование результатов обработки и интерпретации геофизических данных.

**владеть:**

следующими навыками:

- анализа и обработки первичных геофизических данных;
- использования компьютерных программ анализа и обработки геофизической информации;
- подготовки заданий и отчетов по проектам обработки и интерпретации геофизических данных.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение

Цель, задачи и значение курса. Предмет и методы исследования.

2. Методы математической физики

Основные уравнения математической физики в применении к геофизическим процессам и полям. Краевые задачи математической физики, теория потенциала и применение в геофизике. Волны и колебания в геофизике, отражение и преломление. Конволюция и деконволюция, спектральный анализ, применение к сейсмическим исследованиям.

3. Геофизические поля. Прямые задачи геофизики, гравиметрия, магнитометрия, электроразведка и сейсмические исследования

Поле силы тяжести, его компоненты. Аномалии силы тяжести, редукции силы тяжести. Методы измерений поля силы тяжести. Связь аномалий силы тяжести с геологическим строением и месторождениями полезных ископаемых. Моделирование аномалий силы тяжести.

Магнитное поле Земли, его компоненты. Аномальное магнитное поле Земли. Методы измерения магнитного поля Земли. Связь аномалий магнитного поля Земли с геологическим строением и месторождениями полезных ископаемых. Виды намагниченности горных пород. Моделирование аномалий магнитного поля.

Основы геоэлектрики. Пассивные методы: ЕП, МТЗ. Методы постоянного тока: ВЭЗ, ЭП, ДЗ. Методы переменного тока: ЧЗ, ЗС в различных модификациях. Связь электрических свойств земной коры с геологическим строением и месторождениями полезных ископаемых. Способы расчёта электрических полей Земли.



Поля времён сейсмических волн в слоистых и трёхмерно-неоднородных средах. Применение сейсморазведки при поисках и разведке полезных ископаемых. Методы расчёта волновых полей.

#### 4. Обратные задачи геофизики

Постановка обратных задач. Задачи на условный и безусловный минимум. Вариационные методы. Понятие корректности по Адамару. Некорректные и условно-корректные обратные задачи. Метод регуляризации А.Н. Тихонова. Обратные задачи теории потенциала. Методы аналитического (аппроксимационного) продолжения, особые точки аномальных полей. Определение интегральных характеристик возмущающих масс. Единственность в рудных и структурных обратных задачах. Обратные задачи сейсмологии. Обратные задачи кинематической сейсмологии, способы их решения. Сейсмическая томография. Обратные задачи метода поверхностных волн.

#### 5. Статистические методы обработки и интерпретации геофизических данных

Вероятностная модель экспериментального материала. Понятие статистической гипотезы. Проверка статистических гипотез. Ошибки первого и второго рода, их вероятности. Правила принятия решений, критерии оптимальности. Случайные процессы. Геофизические поля как случайные процессы. Обнаружение сигналов на фоне помех. Оценки параметров сигналов по выборке. Свойства оценок: состоятельность, несмещённость, эффективность. Оптимальная фильтрация по Колмогорову-Винеру, её применение в задачах разделения и интерполяции аномальных полей. “Предсказывающая” деконволюция в обработке сейсмических записей. Статистическое обоснование метода наименьших квадратов, свойства минимально-квадратических оценок.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Геоэлектрика**

#### **Цель дисциплины:**

Формирование базовых знаний в области электромагнитных методов, применяемых в геофизической разведке полезных ископаемых, при исследовании внутренней структуры и геодинамических процессов, протекающих в литосфере и верхней мантии Земли, а также при решении задач прогноза космической погоды (геомагнитно-индуцированных токов).

#### **Задачи дисциплины:**

Дисциплина направлена на решение следующих задач:

1. Получение студентами опыта использования аппарата электродинамики для решения прикладных задач геоэлектрики (изучения электрических свойств горных пород *in situ*);
2. Ознакомление с основными подходами к решению прямых и обратных задач геоэлектрики;
3. Знакомство с методикой и аппаратурой, применяемых в электромагнитной геофизике.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

математические модели электромагнитных полей, применяемые в методах электромагнитной геофизики; принципы решения обратных задач электромагнитного зондирования; особенности применяемой аппаратуры и методики наблюдений; подходы к геологической интерпретации данных геоэлектрики.

##### **уметь:**

выбрать соответствующий электромагнитный метод для решения той или иной геолого-геофизической задачи; предложить метод интерпретации электромагнитных данных, в зависимости от используемого метода и особенностей данных; оценить надежность получаемых в результате интерпретации геоэлектрических моделей.

##### **владеть:**

математическим аппаратом электродинамики сплошных сред, используемым при решении прикладных задач электромагнитного зондирования.

### **Темы и разделы курса:**

#### **1. Электромагнитные свойства горных пород и геоэлектрические модели**

Электропроводность, диэлектрическая и магнитная проницаемость горных пород. Стандартные геоэлектрические модели. Размерность моделей (1D/2D/3D). Природа аномалий электропроводности земной коры.

#### **2. Элементы теории электромагнитного поля**

Уравнения Максвелла. Модели электромагнитных (ЭМ) полей: стационарная, квазистационарная, волновая. Особенности поведения поля в зависимости от параметров геосреды.

#### **3. Поле постоянного тока и принципы зондирования методом сопротивлений**

Уравнения поля постоянного тока. Закон Ома. Модели источника и среды. Точечный источник тока. Горизонтальный электрический и вертикальный магнитный диполи. Принципы решения краевых задач для электромагнитного поля. Уравнение Лапласа. Поле точечного источника в однородной, двухслойной и многослойной среде с горизонтальными границами. Принципы расчета постоянного электрического поля в 2D/3D моделях среды. Анализ поведения поля в различных моделях среды и источника. Понятие кажущегося сопротивления. Электроразведочные установки. Конфигурация установок, связь с глубиной. Симметричная и дипольная установки. Генераторы и измерительные устройства. Питающие и измерительные электроды. Влияние переходного сопротивления электродов. Многоэлектродные установки. Методы вертикального электрического зондирования и электрической томографии. Представление об обратных задачах в геофизике и электроразведке методами постоянного тока. Связь с геологической интерпретацией. Неустойчивость. Регуляризация решения. Принципы решения обратных задач. Методы Ньютона и градиентного спуска. Алгоритм решения обратной задачи вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). Примеры интерпретации данных ВЭЗ и электротомографии.

#### **4. Принципы электромагнитного зондирования на переменном токе**

Уравнения Максвелла в квазистационарном приближении во временной и частотной областях. Особенности поведения квазистационарных полей. Скин-эффект и толщина скин-слоя. Зондирование. Моделирование ЭМ полей в методах переменного тока. Поля электрического и магнитного диполей в однородном полупространстве, двухслойной и многослойной моделях среды с горизонтальными границами, особенности их поведения. Методы частотного и импульсного зондирования, связь между ними. Переход из частотной области во временную. Возможности и ограничения. Ближняя и дальняя зона источника (частотная область). Ранняя и поздняя стадия (временная область). Зондирующие установки и применяемая аппаратура. Особенности импульсного зондирования на акваториях. Примеры интерпретации данных.

#### **5. Методы переменного тока с естественным источником поля. Магнитотеллурическое зондирование**

Методы магнитотеллурического и магнитовариационного зондирования. Возможности и ограничения. Принципы обработки данных. Зондирующие установки и применяемая аппаратура. Особенности магнитотеллурического зондирования на акваториях. Примеры интерпретации данных. Естественные поля электрокинетической и электрохимической природы. Измерения и интерпретация.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Гидро- и газодинамика высокотемпературных процессов**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины «Гидро- и газодинамика высокотемпературных процессов» является формирование базовых знаний о развитии динамических процессов в сплошных средах при высокоэнергетических воздействиях на среду, а также навыков использования методологии решения фундаментальных и прикладных задач с учетом газодинамических и термодинамических процессов.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся базовых знаний по гидро- и газодинамике высокотемпературных процессов;
- формирование общефизической культуры;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для решения физических задач и разработки новых технологий, самостоятельного анализа полученных результатов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку задач физического и математического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

##### **уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;

представлять панораму универсальных методов и законов современного естествознания;  
работать на современном экспериментальном оборудовании;  
абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;  
планировать оптимальное проведение эксперимента.

**владеть:**

планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;  
научной картиной газодинамики в мире;  
навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании.

**Темы и разделы курса:**

1. Основы газодинамики

Лекции по теме:

Введение. Основные определения Основные положения механики сплошных сред. Базовые законы динамики сплошной среды. Понятие идеальной жидкости. Линии тока. Закон сохранения циркуляции. Характеристики. Основы метода характеристик. Одномерное изоэнтропийное течение. Инварианты Римана. Скорость звука. Плоское изоэнтропийное течение совершенного газа. Нелинейное уравнение переноса Римана. Анализ нелинейности. Гиперболичность уравнений газодинамики. Центрированная волна разрежения. Автомодельное движение газа. Разрывы в решении задачи Римана. Условия формирования разрыва в задаче о сжатии газа поршнем. Понятие произвольного разрыва. Классификация. Тангенциальный разрыв. Контактный разрыв. Ударная волна. Условия на разрыве.

Семинары по теме:

- Базовые характеристики и соотношения газодинамики.
- Решение задач о плоском изоэнтропийном течении методом характеристик.
- Неустойчивость газодинамических разрывов.

2. Физика ударных волн

Лекции по теме:

Соотношения на фронте ударной волны. Ударная адиабата. Ударная адиабата совершенного газа с постоянной теплоемкостью. Изменение энтропии при сжатии газа в ударной волне. Природа скачка энтропии в ударной волне. Геометрическая интерпретация закономерностей ударного сжатия. Механическое и термодинамическое обоснование

устойчивости ударных волн сжатия и волн разрежения в веществе с нормальными и аномальными свойствами. Явление зеркального откола.

Семинары по теме:

- Ударная адиабата.
- Одномерные течения с ударными волнами и волнами разрежения.
- Решение задач о динамике сплошной среды в акустическом приближении.

### 3. Динамика вязкой теплопроводной среды

Лекции по теме:

Вязкость и теплопроводность среды. Вывод базовых законов движения среды с учетом вязкости и теплопроводности. Вторая вязкость. Критерии подобия Рейнольдса, Пекле и Прандтля. Поглощение звука в вязкой теплопроводной среде. Задача Бюргера. Структура ударной волны в вязкой теплопроводной среде. Волны в средах с релаксацией. Турбулентность. Модели турбулентности. Теория однородной изотропной турбулентности.

Семинары по теме:

- Решение уравнения Бюргера. Эквивалентность уравнения Бюргера уравнению теплопроводности.

### 4. Автомодельные течения

Лекции по теме:

Задача о сильном взрыве в однородной атмосфере. Задача о сходящейся ударной волне. Задача Рэлея о схлопывании пузырька.

Семинары по теме:

- Пи Теорема. Решение задач механики методом анализа размерности. Решения уравнений переноса в форме бегущей волны.
- Решение задач газодинамики методом анализа размерности.

### 5. Тепловое излучение и лучистый теплообмен

Лекции по теме:

Характеристики теплового излучения их связь друг с другом. Оптические характеристики вещества. Рассеяние и поглощение. Оптические характеристики вещества. Спонтанное и вынужденное испускание. Расчет характеристик равновесного излучения. Уравнение переноса излучения. Уравнение энергии среды с учетом потерь и источников, связанных с излучением. Диффузионное приближение для расчета потока излучения. Локальное термодинамическое равновесие и приближение лучистой теплопроводности. Тепловые волны. Молекулярная и лучистая теплопроводность.

Семинары по теме:

- Решение задач о распространении тепла в неограниченной холодной среде от локализованного источника.

6. Элементы теории горения и взрыва

Основные термины и определения. Задача о тепловом взрыве. Распространение пламени.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Гидродинамика многофазных течений**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний по гидродинамике и теплофизике многофазных течений, а также их приложений в области безопасности атомной энергетики.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами базовых знаний в области механики многофазных течений;
- обучение студентов методам решения практических задач в области механики многофазных течений;
- оказание студентам консультаций и помощи в проведении собственных исследований;
- обучение студентов навыкам программной реализации изучаемых методов;
- приобретение студентами навыков качественного анализа и количественных оценок применительно к проблеме безопасности атомных станций.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в гидродинамике многофазных течений;
- постановку проблем физического моделирования;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики, в том числе гидродинамики многофазных систем;
- физику гидродинамических неустойчивостей;
- специфические особенности гидродинамических и теплофизических процессов в задачах по проблеме безопасности атомной энергетики.

##### **уметь:**

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных процессов гидродинамики многофазных сред;

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных и технологических задач;
- эффективно использовать специфические особенности гидродинамических и теплофизических процессов в задачах по проблеме безопасности атомной энергетики;
- работать на современном вычислительном оборудовании.

**владеть:**

- навыками освоения большого объема информации;
- математическим моделированием физических задач гидродинамики и теплофизики многофазных систем;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач, относящихся к проблеме безопасности атомной энергетики.
- навыками грамотной обработки результатов расчетов и сопоставления с экспериментальными данными.

**Темы и разделы курса:**

1. Модели и математическое описание двухфазных систем.

Двухфазные системы как области сплошной среды с границами сильных разрывов. Модели раздельного течения, многоскоростного континуума, гомогенная.

Общая форма уравнений сохранения. Уравнения сохранения массы, импульса и энергии в интегральной и дифференциальной формах. Эмпирические законы молекулярного переноса импульса и энергии. Уравнение сохранения массы компонента в смеси.

Универсальные условия совместности на межфазных границах: общая формулировка, запись для потоков массы, импульса, энергии, массы компонента в смеси. Универсальные условия совместности в системе наблюдателя.

Специальные условия совместности на межфазных границах в процессе тепло и массообмена. Неравновесные эффекты при обтекании газом плоской поверхности, при испарении и конденсации. Специальные условия совместности в квазигомогенном приближении.

2. Элементы теории подобия.

Подобие и аналогия.

Теоремы теории подобия.

Физический смысл критериев и чисел подобия для процессов гидродинамики, тепло- и массообмена в одно- и двухфазных потоках.

3. Гидростатика газожидкостных систем.

Поверхностные явления, поверхностное натяжение, теплота образования и энтропия поверхности раздела.

Смачиваемость.

Формула Лапласа.

Основное уравнение гидростатического равновесия; форма поверхности жидкости в сосудах, высота капиллярного поднятия.

Равновесные осесимметричные поверхности раздела.

Результаты анализа устойчивости, максимальные участки устойчивости равновесных поверхностей.

Предельные (предотрывные) размеры капель и пузырей в гидростатических условиях.

4. Волны на межфазной поверхности. Гидродинамика жидких пленок.

Прогрессивные и стоячие волны на поверхности жидкости. Устойчивость горизонтальной поверхности раздела двух фаз. Дисперсионное уравнение. Капиллярные и гравитационные волны на поверхности жидкости. Неустойчивости Тейлора и Гельмгольца. Волны конечной амплитуды. Солитоны.

Ламинарные гравитационные пленки жидкости.

Математическое описание; начальный участок, характеристики стабилизированного течения. Устойчивость жидких пленок. Волновые пленки. Турбулентные жидкие пленки. Движение жидкой пленки под действием потока газа.

5. Механика пузырьков и капель в установившемся течении.

Модельные задачи о движении сферы в идеальной и вязкой жидкости.

Формулы Стокса и Рыбчинского-Адамара.

Результаты экспериментальных наблюдений и расчет скорости всплытия газовых пузырьков в спокойной жидкости.

Модель движения жидкости со свободной поверхностью как метод анализа движения крупных пузырей.

Особенности движения капель в газовых потоках. Дробление пузырей и капель.

6. Неустановившееся движение капель и пузырьков.

Уравнение Рэлея в классической и "энергетической" интерпретации. Кавитационное схлопывание газовой полости в жидкости.

Ускоренное движение сферы в идеальной жидкости. Присоединенная масса.

Рост паровых пузырьков в объеме равномерно перегретой жидкости (предельные инерционная и тепловая энергетическая схемы, анализ экспериментальных наблюдений).

Условия роста паровых пузырьков на стенке (при кипении).

Условия отрыва паровых пузырьков от стенки: строгая постановка задачи, критический анализ существующих подходов; приближенные кинематические схемы отрыва для случаев кипения в свободном объеме и при вынужденном течении жидкости.

## 7. Элементы теории конвективного теплообмена.

Основные определения. Коэффициент теплоотдачи как гидродинамическая характеристика Толщина эквивалентной пленки.

Основные допущения теории пограничного слоя. Теплообмен при ламинарном обтекании плоской пластины.

Осредненные уравнения турбулентного течения и теплообмена. Кажущиеся напряжения турбулентного трения и турбулентный тепловой поток. Структура пристеночной турбулентной области.

Аналогия Рейнольдса, ее современный вариант как основа для инженерных расчетов теплообмена при турбулентном течении.

Свободная конвекция: механизм процесса, математическое описание, основные расчетные соотношения.

Теплообмен при однофазном течении в трубах. Теплообмен при ламинарном течении на входном участке. Стабилизированный теплообмен при турбулентном течении.

## 8. Парожидкостные потоки в каналах.

Количественные характеристики, определения. Структура двухфазных течений в горизонтальных и вертикальных каналах. Методы определения границ режимов течения.

Одномерные уравнения импульса и энергии для двухфазных потоков. Гомогенная модель для расчета трения. Расчет истинного объемного паросодержания в квазигомогенных потоках. Модели дисперсно-кольцевых режимов течения; методы расчета трения на границе пленки.

Парожидкостные потоки в условиях теплообмена. Теплообмен при конденсации неподвижного пара (задача Нуссельта, современные подходы). Конденсация в трубах.

Теплообмен при кипении жидкостей. Условия зарождения паровой фазы в объеме метастабильной жидкости и на твердой стенке. Кривая кипения. Методы расчета теплообмена при пузырьковом, пленочном и переходном кипении. Теплообмен при кипении жидкости в каналах.

Кризис пузырькового кипения в объеме и в каналах.

## 9. Моделирование турбулентных парокапельных течений с фазовыми переходами.

Спонтанная конденсация (нуклеация). Гетерогенная конденсация, конденсация на примесях (бинарная конденсация).

Методы моделирования эволюции спектра капель. Метод моментов. Метод фракций.  
Метод дельта аппроксимации.

Влияние турбулентности и начальных примесей на процессы конденсации.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Голографическая дуальность и конформная теория поля**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение основных положений, методов и структур конформных теорий поля и связанных с ними голографических дуальностей.

#### **Задачи дисциплины:**

Познакомить студентов с основными понятиями и идеями голографических дуальностей и конформной теории поля, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что, прослушав этот курс, студенты смогут использовать методы и подходы этой области в своей научно-исследовательской работе.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия по теме дисциплины.

##### **уметь:**

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### **владеть:**

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Конформная симметрия в  $d$  измерениях. Конформная теория поля.

Группа и алгебра конформной симметрии в  $d=2$  и  $d>2$  измерениях.

2. Теория представлений алгебры конформной симметрии. Примарные операторы, потомки, граница унитарности. Операторное разложение в конформной теории поля, подход конформного бутстрапа.

Представления конформной алгебры, конформные поля. Примарные поля и поля-потомки. Граница унитарности.

3. Пространство анти-де Ситтера: геометрия, причинная структура, конформная граница. Теория представлений алгебры Анти-де Ситтера. Синглетоны Дирака.

Пространство анти-де Ситтера: геометрия, причинная структура, конформная граница. Теория представлений алгебры Анти-де Ситтера. Синглетоны Дирака.

4. Планарный предел в теории Янга-Миллса. Гипотеза AdS/CFT соответствия. Метод Габсера-Клебанова-Полякова-Виттена вычисления корреляторов.

Планарный предел в теории Янга-Миллса. Гипотеза AdS/CFT соответствия. Метод Габсера-Клебанова-Полякова-Виттена вычисления корреляторов.

5. Голографическое соответствие при конечной температуре и энтропия черных дыр.

Голографическое соответствие при конечной температуре и энтропия черных дыр.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Голографические методы в квантовой теории поля**

#### **Цель дисциплины:**

изучение дуальных струнных модели. Дальнейшее последовательное изучение разделов студентами, специализирующихся по квантовой теории поля будет, таким образом, базироваться на данном курсе.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся базовых знаний и концепций,
- умение проводить основные вычисления, встречающиеся в курсе,
- знание основных утверждений,
- формирование умений применять полученные знания для решения задач, характерных в теории струн, и самостоятельного анализа полученных результатов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

голографическую дуальность между калибровочной квантовой теорией поля и теорией струн в искривленном пространстве;

основные примеры теории струн, состав частиц, симметрии.

##### **уметь:**

работать с основными объектами теории струн: амплитуды, физические вертексы;

решать задачи на анализ состояний в теории струн.

##### **владеть:**

математическим аппаратом конформной теории поля в приложении к теории струн.

#### **Темы и разделы курса:**



## 1. Суперсимметрия в квантовой механике.

a. Индекс Виттена. Алгебра суперсимметрии в одном измерении. Вырождение спектра. Индекс Виттена и примеры его вычисления. Простейшие модели суперсимметричных теорий поля.

b. Модель Весса-Зумино. Алгебра суперсимметрии в теории поля. Модель Весса-Зумино и классификация суперполей. Вукуумная структура модели и ее приложения.

## 2. Центральные заряды и солитонные конфигурации в суперсимметричных теориях поля.

a. Определения центральных зарядов и их свойства. Состояния, сохраняющие половину суперсимметрии. Множественность состояний. Стабильность спектра.

b. Суперсимметричные сигма-модели на поверхности струны. Суперсимметрия в теории струн. Действие суперструн. Суперструны в присутствии гравитационного поля. Центральные заряды на мировой поверхности струны.

## 3. Суперсимметричная электродинамика.

a. Вакуумы. Суперсимметричное обобщение электродинамики. Состав полей. Спектр теории. Перенормировки.

b. Теория Янга-Миллса. Суперсимметричная КХД. Состав полей и лагранжианы.

## 4. Теории с расширенной суперсимметрией и вакуумные долины.

a. Калибровочные теории с расширенной суперсимметрией. Примеры в разном числе измерений. Вычисление индекса Виттена. Физические приложения.

b. Петлевые вычисления в неабелевых суперсимметричных теориях. Примеры вычисления перенормировок в суперсимметричных калибровочных теориях. Бэта-функция. Конформная суперсимметричная КХД.

## 5. Теория Зайберга-Виттена и вакуумное решение.

a. Спектр масс стабильных частиц. Формулировка теории Зайберга-Виттена. Аналитические свойства препотенциала. Спектр масс стабильных частиц. Ренормгруппа и интегрируемость. Нарушение симметрии и дуальный эффект Мейсснера.

b.  $N=1$  суперсимметричные теории поля. Глюонный конденсат. Доменные стенки.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Гравиметрия и магнитометрия**

#### **Цель дисциплины:**

Знакомство с основными проблемами современной гравиметрии и магнитометрии в приложении к задачам поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, а также – навигации по потенциальным полям Земли.

#### **Задачи дисциплины:**

1. Получение студентами знаний о магнитном поле Земли и поле силы тяжести, методах их измерения;
2. Ознакомление студентов с основными принципами решения обратных задач гравиметрии и магнитометрии;
3. Знакомство с применением гравиметрии и магнитометрии при поиске и разведке месторождений, а также – в геонавигации.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- сведения о природе и структурно-морфологических особенностях поля силы тяжести и магнитного поля Земли, их нормальной и аномальной части;
- понятие о фигуре Земли и основы физической геодезии;
- связь между аномалиями полей и физическими свойствами горных пород;
- физические принципы, методы и приборы для измерения полей;
- применение полей при решении задач навигации, включая бурение скважин;
- методы и подходы к решению обратных задач гравиметрии и магнитометрии;
- современные проблемы развития гравиметрии и магнитометрии.

##### **уметь:**

- определять необходимость проведения гравиметрических и магнитометрических исследований при решении конкретных прикладных задач;

- определять требования к аппаратуре и методике проведения измерений гравитационного и магнитного полей Земли;
- проводить обработку результатов измерений;
- ставить и решать задачи по определению физических свойств горных пород по данным об аномалиях гравитационного и магнитного полей Земли (обратные задачи);
- применять данные о полях для решения задач навигации.

**владеть:**

- математическим аппаратом и методами моделирования аномалий магнитного поля Земли и поля силы тяжести;
- методами решения обратных задач гравиметрии и магнитометрии;
- навыками обработки и интерпретации результатов измерений.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение

Рассматривается значение поля силы тяжести и магнитного поля Земли в задачах прикладной геофизики. Даются основные определения и исторический экскурс.

2. Поле силы тяжести и фигура Земли

Изучается поле силы тяжести как совокупность сил гравитационного притяжения земных масс и центробежной силы. Рассматривается связь между полем силы тяжести и фигурой Земли. Вводится понятие о нормальном поле Земли, методах его определения и связи с распределением масс. Рассматривается задача определения фигуры Земли (физической геодезии). Рассматриваются приливные вариации силы тяжести.

3. Измерения поля силы тяжести

Рассматриваются основные принципы и методы измерения силы тяжести. Абсолютные измерения: баллистический метод, маятниковый метод. Относительные измерения. Сверхпроводящий гравиметр. Методика проведения гравиметрических съёмок и первичной обработки результатов. Измерения на подвижном носителе, в том числе – с использованием БПЛА. Спутниковые системы измерений поля силы тяжести. Современные тенденции и проблемы создания гравиметрической аппаратуры.

4. Аномальное поле силы тяжести

Изучаются аномалии силы тяжести во взаимосвязи с распределением плотности в недрах Земли. Вычисление аномалий силы тяжести: аномалии в свободном воздухе, аномалии в топографической редукции (полной, неполной, аномалии Буге), аномалии Гленни, геологические редукции. Построение карт аномалий силы тяжести, метод истокообразных аппроксимаций. Рассматривается связь аномалий силы тяжести с глубинным строением и современной динамикой планеты.

5. Магнитное поле Земли: происхождение, структура

Изучается вопрос природы магнитного поля Земли (МПЗ). Главное (ГМПЗ) и аномальное (АМПЗ) магнитное поле Земли. Геомагнитное динамо: основные принципы, современное состояние теории. Пространственно-временная структура МПЗ. Взаимодействие МПЗ с космическим излучением, магнитосфера. Временные вариации МПЗ внутреннего и внешнего происхождения. Источники постоянного АМПЗ. Магнитные свойства горных пород, их связь с составом и геологическим строением, геодинамикой. Палеомагнетизм.

#### 6. Измерения магнитного поля Земли

Рассматриваются основные принципы и методы измерения магнитного поля Земли, включая методы ядерного магнитного и электронного парамагнитного резонанса, индукционные (феррозондовые) магнитометры. Изучаются методики проведения обсерваторских и полевых магнитных измерений, и обработки их результатов. Учёт вариаций магнитного поля. Построение карт и аппроксимационных моделей МПЗ. Измерения магнитного поля в скважинах. Измерения на подвижном носителе. Морская и аэромагниторазведка. Применение БПЛА при магнитных измерениях. Спутниковые системы измерения МПЗ.

#### 7. Обратные задачи грави- и магнитометрии

Даются основы теории потенциала в приложении к задачам гравиметрии и магнитометрии. Изучаются вопросы реконструкции строения геологических сред по данным об аномалиях поля силы тяжести и аномальном магнитном поле. Изучаются вопросы корректности (единственности и устойчивости решений) обратных задач в различных классах сред. Понятие об аналитической аппроксимации и аппроксимационном продолжении поля. Особые точки аномальных полей, их связь со строением среды, определение положения. Корреляционные и спектральные методы в решении обратных задач. Модели случайных полей и случайных источников. Детерминистические методы решения обратных задач. Роль априорной информации о строении среды при решении обратных задач. Методы решения некорректных обратных задач, регуляризация. Численные методы в решении обратных задач гравиметрии и магнитометрии.

#### 8. Интерпретация результатов грави- и магнитометрии

Рассматриваются вопросы построения геологических моделей и выдачи рекомендаций на дальнейшее проведение геолого-разведочных работ и(или) разработки месторождений полезных ископаемых по результатам проведения гравиразведки и магниторазведки и решения соответствующих обратных задач, в комплексе с другими геолого-геофизическими данными. В частности, рассматриваются задачи разведки и оценки запасов углеводородов по комплексу данных сейсморазведки, гравиразведки и магниторазведки.

#### 9. Гравитационное и магнитное поля Земли в задачах навигации

Рассматриваются вопросы навигации с использованием данных о гравитационном и магнитном полях Земли. Роль данных об аномалиях силы тяжести в задачах геодезии. Навигация по магнитному полю Земли. Влияние АМПЗ и вариаций МПЗ на навигацию. Использование навигации по МПЗ в задачах наклонно-направленного бурения. Способы оценки аномалий склонения МПЗ по данным об АМПЗ при решении задач навигации.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Группы и алгебры Ли**

#### **Цель дисциплины:**

Введение в теорию групп и алгебр Ли в объеме, необходимом будущим физикам-теоретикам.

#### **Задачи дисциплины:**

Сформировать представление о теории групп и алгебр Ли. Обучить студентов основным методам решения задач по этому разделу, связанных с проблемами теоретической физики и математики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основы теории групп и алгебр Ли и их представлений.

##### **уметь:**

производить вычисления с применением теории групп и их представлений.

##### **владеть:**

математическим аппаратом теории групп и алгебр Ли в применении к геометрическим и физическим задачам.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Конечные и матричные группы. Группы преобразований

Группы, подгруппы, факторгруппы. Примеры групп преобразований.

2. Группы и алгебры Ли

Топологические группы и группы Ли, алгебры Ли инвариантных векторных полей, эквивалентность категорий групп и алгебр Ли.

### 3. Универсальные обертывающие алгебры

Универсальные обертывающие алгебры алгебр Ли, теорема Пуанкаре-Биркгоффа-Витта.

### 4. Разрешимые и полупростые алгебры Ли

Разрешимые, и полупростые алгебры Ли, разложение Леви.

### 5. Классификация полупростых алгебр Ли

Классификация Картана полупростых алгебр Ли.

### 6. Вещественные формы алгебр Ли

Вещественные формы алгебр Ли, компактные алгебры Ли.

### 7. Представления конечных групп

Представления конечных групп, симметрическая группа, диаграммы Юнга.

### 8. Представления компактных групп

Представления компактных групп, разложение Петера-Вейля.

### 9. Конечномерные представления $SU(2)$ и $SL(2, \mathbb{C})$ и их алгебр Ли

Конечномерные представления простых алгебр Ли..

### 10. Конечномерные представления простых групп

Конечномерные представления  $SU(2)$  и  $SL(2, \mathbb{C})$  и их алгебр Ли.

### 11. Конечномерные представления $SU(N)$ и $SL(N)$ и их алгебр Ли

Конечномерные представления  $SU(N)$  и  $SL(N)$  и их алгебр Ли.

### 12. Базис Гельфанда-Цейтлина

Разрешимые, и полупростые алгебры Ли, разложение Леви.

### 13. Группы Лоренца и Пуанкаре и их представления

Группы Лоренца и Пуанкаре и их представления.

### 14. Однородные пространства

Однородные пространства, действие группы на функциях, сферические функции.

### 15. Связность

Связности в главных и векторных расслоениях. Теория калибровочных полей и физика элементарных частиц.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Гуманитарный минимум**

#### **Цель дисциплины:**

- расширить общую эрудицию студентов, дать им представление о культурном контексте нашей и предшествующих эпох для лучшего понимания места избранной профессии в общем культурном процессе становления общества.

#### **Задачи дисциплины:**

- Приобретение знаний по истории и теории культуры классического Востока, Древней Греции и Рима, Христианско-Европейской и Русской культуры;
- обучение умению первичного анализа произведения искусства с учетом его исторических и идеологических характеристик;
- формирование навыка работы с учебно-методической и научной литературой по проблематике курса.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- историческую и национальную специфику изучаемой проблемы.
- устанавливать межкультурные связи.

##### **уметь:**

- рассматривать признаки заката культуры разных цивилизаций в культурном контексте эпохи.
- анализировать произведения искусства в единстве формы и содержания.
- пользоваться справочной и критической литературой (литературными энциклопедиями, словарями, библиографическими справочниками).
- в письменной форме ответить на контрольные вопросы по курсу.
- самостоятельно подготовить к экзамену некоторые вопросы, не освещенные в лекционном курсе.

**Владеть:**

- навыками ведения дискуссии по проблемам курса на практических занятиях.
- основными сведениями о биографии крупнейших писа-телей, представлять специфику жанров литературной мистификации.
- навыками реферирования и конспектирования крити-ческой литературы по рассматриваемым вопросам.

**Темы и разделы курса:****1. Идеопластика и физиопластика. Введение**

Понятие культуры. Определения Культуры. Проблема “культура и цивилизация” в трактовке О.Шпенглера. Законы изменения языка мировой культуры. Различные системы кодировки информации. Язык как таковой и языки искусства. Особенность исторических законов, действующих в языке. Исторические законы, действующие в иных информационных системах. Сопоставление культурного языка Европы XIX и XX вв. Разрушение идеи эволюционного развития на рубеже XIX-XX веков. Зарождение культуры. Первобытный синкретизм. Идеопластика и физиопластика. Словоупотребление терминов “культура” и “цивилизация”. Знаки заката культуры и перехода ее в высшую, финальную фазу цивилизации. Появление спорта. Сексуальная революция. Рост материального благосостояния. Появление дизайна (“искусство становится удобным”). Появление мирового города (мегаполиса). Оптимистическое мировосприятие. Смерть культуры. Феллашество. Мировая культура и омницид. Первобытный синкретизм. Предметный синкретизм. Лингвистический синкретизм. Мифологический синкретизм.

**2. Искусство Древнего мира**

Периодизация первобытной культуры. Страницы истории открытий палеолитической пещерной живописи и монументальной скульптуры. Формы предискусства. Образ зверя и человека в монументальном и мобильном искусстве палеолита. Петроглифы и наскальные росписи мезолита и неолита. Неолитическая керамика. Декоративно-прикладное искусство эпох неолита, бронзы и железа. Мегалитическая архитектура.

Культура Древнего Египта. Традиционная хронология Древнего Египта. Общая характеристика Додинастического периода, Раннего царства, Древнего царства, Среднего царства, первого и второго переходного периода, Позднего периода, македонской эпохи, эпохи Птолемеев, римской эпохи.

Понятие греко-римской культуры. Общая характеристика крито-микенской культуры. Архитектура. Живопись. Вазопись. Древнегреческая архаика. Вазопись. Геометрический стиль. Скульптура древнегреческой архаики. Древнегреческая расписная керамика VII-IV вв. до р.Х.. Ордерные конструкции в древнегреческой архитектуре. Памятники афинского акрополя. Проблема движения в древнегреческой скульптуре.

**3. Искусство Средних веков и эпохи Возрождения**



Базиликальный и центрический храмы. Происхождение крестово-купольного храма. Система выразительных средств византийской живописи (иконопись, смальтовая мозаика). Архитектура Византии. Трехнефная базилика. Храм св. Софии в Константинополе.

Периодизация средневековья. Темное средневековье. Романика. Готика. Сопоставительный анализ романской и готической архитектуры, Проблема бокового распора и ее решение. Особенности готической скульптуры и живописи.

Вопрос о Возрождении в современном искусствоведении. Новые веяния в архитектуре Возрождения. Брунеллески. Открытия Джотто в области живописи. Общая характеристика кватроченто. Вклад Боттичелли в развитие итальянской живописи. Творческий путь Леонардо да Винчи. Основные работы. Творческий путь Микеланджело. Основные работы. Характерные особенности живописи Рафаэля. Открытия Венецианской школы (Джорджоне, Тициан). Феномен «Северного Возрождения». А.Дюрер – новое слово в живописи северян. Темы и образы живописи И.Босха. Особенности образной системы П.Брейгеля.

Древнерусская живопись. Древняя Русь и Балканы. Древняя Русь и Византия. Сергей Радонежский и художественная культура Москвы XIV-XV вв.

#### 4. Искусство XVII-XVIII вв.

Барокко как направление в искусстве. Лоренцо Бернини как мастер барокко. Франко-фламандская школа. П.П.Рубенс. Натюрморт как барочный жанр. Особенности художественного языка Эль-Греко. Место Рембрандта в истории европейской станковой живописи. Н.Пуссен как родоначальник классицизма во французской живописи. Темы, идеи, образы живописи Ж.Л.Давида. Тематика произведений Хогарта. Рококо как направление во французском искусстве XVIII в. XVIII в. в России.

#### 5. Искусство XIX в.

Политическое, экономическое и духовное состояние Европы после Великой французской буржуазной революции. Крах просветительской идеи о царстве разума, утрата веры в возможность изменить существующий миропорядок. “Внутренняя эмиграция” деятелей культуры. Романтизм как литературное направление. Этимология слова “романтизм”. Специфика зарождения романтизма в немецкой литературе. Понятие “немецкой романтической школы”. Влияние философских идей Канта, Шеллинга, Фихте и Шлейермахера на становление романтической концепции мира и человека. Типологические параллели в литературе и живописи немецкого романтизма. Каспар Давид Фридрих: образы картины "Над обрывом". Тыльная постановка фигуры. Романтическое окно в творчестве К.Д.Фридриха, Ф.О.Рунге, Г.Ф.Керстинга. О точке зрения в пейзаже Фридриха. Творческий путь Э.Делакруа. У.Тернер – новое слово в маринистике.

Сравнительная характеристика романтизма и реализма. Реалистическая живопись Ж.Ф.Милле. Русская реалистическая живопись. Передвижники и Репин. Открытия импрессионистов.

#### 6. Искусство первой половины XX в.

«Крик» как категория эстетики Э.Мунка и экспрессионистов. Импрессионизм и экспрессионизм. Сходные процессы в русском изобразительном искусстве. Эстетика изображения сменяется эстетикой выражения. Академизм и авангард. Основные тенденции в культуре и искусстве XX века. Кубизм П.Пикассо. Фовизм А.Матисса. Супрематизм К.Малевича. Дадаизм и сюрреализм. А.Бретон, М.Эрнст, С.Дали. Искусство тоталитарных сообществ. Зарождение поп-арта. Инсталляции М.Дюшана. Поп-арт и кич. Р.Лихтенштейн, Э.Уорхол, Р.Раушенберг, Х.Арп. Роль цитаты в современной рекламе. Основные тенденции в современном культурном процессе России, Западной Европы и США.

#### 7. Искусство второй половины XX в.

«Крик» как категория эстетики Э.Мунка и экспрессионистов. Импрессионизм и экспрессионизм. Сходные процессы в русском изобразительном искусстве. Эстетика изображения сменяется эстетикой выражения. Академизм и авангард. Основные тенденции в культуре и искусстве XX века. Кубизм П.Пикассо. Фовизм А.Матисса. Супрематизм К.Малевича. Дадаизм и сюрреализм. А.Бретон, М.Эрнст, С.Дали. Искусство тоталитарных сообществ. Зарождение поп-арта. Инсталляции М.Дюшана. Поп-арт и кич. Р.Лихтенштейн, Э.Уорхол, Р.Раушенберг, Х.Арп. Роль цитаты в современной рекламе. Основные тенденции в современном культурном процессе России, Западной Европы и США.

#### 8. Современное искусство

«Крик» как категория эстетики Э.Мунка и экспрессионистов. Импрессионизм и экспрессионизм. Сходные процессы в русском изобразительном искусстве. Эстетика изображения сменяется эстетикой выражения. Академизм и авангард. Основные тенденции в культуре и искусстве XX века. Кубизм П.Пикассо. Фовизм А.Матисса. Супрематизм К.Малевича. Дадаизм и сюрреализм. А.Бретон, М.Эрнст, С.Дали. Искусство тоталитарных сообществ. Зарождение поп-арта. Инсталляции М.Дюшана. Поп-арт и кич. Р.Лихтенштейн, Э.Уорхол, Р.Раушенберг, Х.Арп. Роль цитаты в современной рекламе. Основные тенденции в современном культурном процессе России, Западной Европы и США.

#### 9. Выводы

Общие выводы по курсу

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Диагностика высокотемпературной плазмы**

#### **Цель дисциплины:**

усвоение студентами основных методов диагностики параметров инерциально удерживаемой плазмы и высокотемпературной нестационарной плотной плазмы, получаемой при нагреве и сжатии термоядерных мишеней, облучаемых мощным лазерным излучением.

#### **Задачи дисциплины:**

освоение студентами основных методов измерения различных рентгеновских и корпускулярных потоков, возникающих при облучении мишеней и ознакомление студентов с различной диагностической аппаратурой, применяемой на мощных лазерных установках, в частности на установке «Искра-5».

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные определения плазмы;
- основные характеристики лазерного излучения;
- различия в принципах построения систем с магнитным удержанием плазмы и систем на основе инерциального удержания с использованием различных драйверов;
- критерии достижения энергетически выгодной термоядерной реакции;
- типы применяемых приемников различного вида излучений;
- основные методы диагностики плазмы, в том числе: оптические, рентгеновские, корпускулярные, нейтронные;
- иметь представление о проблемах управляемого термоядерного синтеза и основных принципах диагностики плазмы на мощных лазерных установках.

##### **уметь:**

- обрабатывать экспериментальные данные (двумерные изображения, реальные осциллограммы, спектрограммы и т.д.);

- пользоваться простейшими средствами измерений;
- проводить анализ и расчет погрешностей проведенных измерений.

**владеть:**

- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач.

**Темы и разделы курса:**

1. Что такое плазма?

Определение плазмы.

Радиус (расстояние) Дебаевского экранирования.

2. Управляемый термоядерный синтез и физика высоких плотностей энергии.

УТС с магнитным удержанием плазмы:

- Минимально необходимая температура плазмы.

- Критерий Лоусона.

Инерциальный термоядерный синтез:

- Основные понятия.

- Аналог критерия Лоусона.

- Минимальная требуемая энергия лазера для зажигания твердой сплошной мишени.

- Мишени прямого облучения.

- Мишени непрямого облучения (цилиндрический и сферический кожух-конвертер).

3. Детекторы рентгеновского излучения и их применение.

Фотоэмульсионный детектор.

Сцинтилляционный детектор.

Приборы с зарядовой связью.

Вакуумные рентгеновские диоды.

Полупроводниковые рентгеновские диоды.

Электронно-оптические рентгеновские регистраторы(хронограф, лупа времени).

Микроканальные регистраторы.

Рентгеновский калориметр.

#### 4. Формирование рентгеновских изображений.

Камера – обскура (оптическая схема, увеличение, пространственное разрешение).

Рентгеновские микроскопы:

- Схема Киркпатрика — Баеза.
- Схема Вольтера.
- Использование многослойных интерференционных структур.
- Использование кристаллов.

Зонные пластины Френеля.

#### 5. Спектрографы для рентгеновского излучения.

Спектрографы с кристаллическими диспергирующими элементами:

- Спектрограф с плоским кристаллом.
- Спектрограф с выпуклым кристаллом.
- Спектрограф с фокусировкой по схеме Иоганна.
- Спектрограф с кристаллом, изогнутым по сферической поверхности.

#### 6. Спектрометрия импульсного рентгеновского излучения.

Метод краевых фильтров (К-фильтров).

Метод фильтров Росса.

Метод флуоресцентного конвертера.

Метод поглощающих ("серых") фильтров.

#### 7. Корпускулярная диагностика плазмы.

Ионный коллектор.

Трековые детекторы.

Масс-спектрограф Томсона.

#### 8. Нейтронные измерения.

Измерения интегрального нейтронного выхода:

- Метод протонов отдачи.
- Метод активационных детекторов.
- Метод затянутой регистрации.

Измерения ионной температуры по уширению нейтронного импульса на заданном расстоянии (время-пролетная методика).

9. Диагностика сжатого ядра мишени.

Регистрация изображений в собственном излучении ядра.

Излучение примесных газов.

Спектроскопия линий примесных ионов.

Рентгеновское зондирование с использованием внешнего источника.

10. Диагностика заряженных продуктов термоядерных реакций. Области применимости методов диагностики  $\langle pr \rangle$ .

Спектры заряженных иониз.

Ядра отдачи.

Активационная диагностика параметров  $\langle pr \rangle$  и  $\langle p \Delta r \rangle$ .

Вторичные термоядерные реакции:

- Спектры вторичных протонов и нейтронов.

- Выходы вторичных частиц.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Долгое эхо Макиавелли: забытая генеалогия современной политики**

#### **Цель дисциплины:**

– познакомить слушателей курса с наиболее влиятельными дискурсами политической культуры раннего Нового времени. В результате этого знакомства они получают представление о генеалогии, исторической семантике центральных понятий современной политической культуры, не утративших актуальности и по сей день (суверенитет, *coup d'état*, государство, полиция, общество, прогресс), а также системе парадигм и архетипов, образующих «фигуративный шлейф» этих категорий.

#### **Задачи дисциплины:**

- детальный анализ (в формате «медленного чтения») ключевых фрагментов «канонических» памятников политической мысли XVI – XVII вв., таких как: «Государя» Никколо Макиавелли, «О государственном интересе» Джованни Ботеро, «Заметки о делах политических и гражданских» Франческо Гвиччардини, «Левиафан» Томаса Гоббса, «Два трактата о правлении» Джона Локка, «Новая природа об общей природе наций» Джамбаттисты Вико. Результатом этого чтения станет реконструкция генеалогии ключевых политических терминов (*virtù*, *status*, *ratio status*, *coup d'état*), их историческая контекстуализация, фиксация тех тектонических сдвигов в политическом мышлении, которые становятся ощутимыми начиная с Макиавелли и достигают пиковых значений накануне эпохи Просвещения.

- картографирование дискурсивного ландшафта политической культуры раннего Нового времени. Смысл этой работы в том, чтобы показать, что никакого монолитного «языка политической теории», никакой «политической науки» с четко определенными границами в на рубеже Модерна не существовало. Для того, чтобы разобраться в исторической семантике современных политических категорий, необходимо учитывать, что они формировались на пересечении множества дискурсов ученой культуры: библейской герменевтики, риторики, медицины, историографии, физики и ряда др.

- знакомство с наиболее влиятельными архетипами и визуальными топосами ранненовременной политической культуры, формировавшими политическое воображение и «модели действия» (прежде всего, библейскими и античными, такими как римская Лукреция, дочь Иеффая, Ахитофел, Катон Утический, Муций Сцевола, Деции, Курции, Горации и т.д.).

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

- методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- стилистические особенности представления результатов научной деятельности в устной и письменной форме на государственном и иностранном языках.

**уметь:**

- анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать потенциальные выигрыши/проигрыши реализации этих вариантов;
- следовать основным нормам, принятым в научном общении на государственном и иностранном языках.

**владеть:**

- навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях;
- навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных;
- навыками анализа научных текстов на государственном и иностранном языках.

**Темы и разделы курса:****1. Политический аристотелизм на рубеже Нового времени**

Основные категории аристотелевской этики (*ἔθδαμονία*, *ἀρετή*, *προαίρεσις*, *δικαιοσύνη*, *φρονήσις*, *φιλία*) и политики (*πόλις*, *κοινωνία*, *πολιτικὸν ζῆον*). Политика как отрасль этики. Политическое счастье как высшая цель человеческой жизни. «Политика», «Никомахова этика» и «Об обязанностях» Цицерона как резервуар общих мест позднесредневековой и ранненововековой политической мысли. Важнейшие представители перипатетической политики в позднее Средневековье и раннее Новое время и переводы «Политики» на народные языки (Николя Орем, Луи Леруа, Донато Аччайуоли, Леонардо Бруни, Жоашен Перион). Идея «добродетельной республики» (Франческо Патрици): от политической «этики добродетелей» к политике макиавеллиевской *virtù*.

**2. Ренессанс античной политической риторики в гуманистическом движении**

Концепт «гражданского гуманизма»: теории Ганса Барона, Джона Покока, Роланда Витта, Ю.В. Ивановой. Флорентийский республиканизм. Концепт *florentina libertas*. Политическое цicerонианство и его крах. Гуманистический диалог как территория этических экспериментов, возрождение вытесненных этических языков (стоицизм, эпикурейство) на



примере диалога Лоренцо Валлы «Об истинном и ложном благе». Деконструкция аристотелевского этического языка в «Перекапывании диалектики» Лоренцо Валлы. Формирование «мифа о Венеции».

### 3. «Момент Макиавелли»: новая парадигма политического мышления

«Государь» Макиавелли в контексте жанра «Зерцал государевых». Теория «момента Макиавелли» Дж. Покока: напряжение между временной конечностью республики и вневременным характером воплощаемых ею ценностей. Концепты *principio nuovo*, *stato*, *virtù* и *fortuna*. Трансформация модальности политического языка: то такое «действительная истина вещей» (*verità effettuale delle cose*) у Макиавелли? «Комментарии на первую декаду Тита Ливия»: Макиавелли-республиканец. «Мандрагора»: Макиавелли как разрушитель политических архетипов. Апологетическая и критическая рецепция Макиавелли: Инносан Жайнтие и Луи Машон. Попытки нейтрализации языка макиавеллиевской политики: «*De regnandi peritia*» Агостино Нифо. Контрреформационные оппоненты Макиавелли: Томмазо Боцио. Политический тацитизм: от Макиавелли до Юста Липсия. «Государь, извлеченный из эмблем Альчиато» Джулио Чезаре Капаччо.

### 4. Ratio status: генезис конструкции «государственного интереса»

Формирование дискурса «государственного интереса» на стыке макиавеллизма и тацитизма. «О государственном интересе» Джованни Ботеро: три составляющих *ratio status* (основание, сохранение и расширение государства). Отношение категорий *dominio* и *stato* в конструкции «государственного интереса». *Ratio status* как функция от политического проекта (*proposito*) государя в трактате Лодовико Дзукколо. Влияние литературы «тайн империи» (*arcana imperii*) на дискурс «государственного интереса».

### 5. Суверенитет: от Жана Бодена до Томаса Гоббса

Основания ранненововой теории суверенитета в римском праве (*princeps legibus solutus*). Концепция «абсолютной и постоянной» власти у Жана Бодена. Фигура суверена у Томаса Гоббса. Роль в формировании дискурса о суверенитете «вторичной», «массовой» интеллектуальной политической продукции: трактатов и диссертаций давно забытых юристов и политических теоретиков (или, наоборот, забытых трактатов теоретиков известных, например, «Шесть уроков для преподавателей математики» Томаса Гоббса), трудов представителей постригентской католической схоластики, комментариев к «Дигестам» или политическим сочинениям Аристотеля, массовой художественной продукции, книжной иллюстрации. Тематизация сферы чрезвычайного политического действия в ритуалах публичной власти, в практиках управления, в медицинской и теологической литературе, в барочном романе и барочной драме, в монументальной живописи и архитектуре. Суверенная, дисциплинарная и «биополитическая» власть (М. Фуко).

### 6. Апория достоверного знания о контингентном: возможна ли политика как достоверная наука?

Невозможность науки о контингентном как аксиома перипатетической эпистемологии. История как знание о действительном в противоположность поэзии, предметом которой является возможное или «действительное как возможное». Политическое измерение проблемы «будущих контингентных событий» от Аристотеля до Франческо Гвиччардини. Различие между единичными и серийными контингентными феноменами: от этики к «моральной науке». Онтология морального сущего у Хуана Карамуэля. «Рождение

социологии из посттридентской моральной теологии» (Свен Кнебель). Концепция «контингентности как собственной ценности Модерна» Никласа Лумана. «Наука о моральных гражданских вещах» и «мудрейшая критика человеческого произвола» у Джамбаттисты Вико.

#### 7. Медицинский аргумент в политическом языке раннего Нового времени

Медицинская метафорика в политическом языке Аристотеля и Макиавелли. Риторика как общая почва этики, политики и медицины. История и риторика как «область эпистемологической неопределенности». Политическая эмбриология: границы политического воздействия на тело. Риторика как *medicina mentis*. Нормализация телесности в школах для бедных и рождение дисциплинарной власти.

#### 8. Атлас политических архетипов раннего Модерна

Наиболее влиятельные античные архетипические фигуры и нарративы о них в раннее Новое время: римская Лукреция, Юний Брут и его дети, Ливия Друзилла, Муций Сцевола, Катон Утический. Политические архетипы между схоластикой и «внешкольной» философией. Социальный адресат политического архетипа. Роль визуального аргумента в политическом языке раннего Нового времени. Травестия и перекодирование политических архетипов: «анти-Лукреция» от Макиавелли до Йоста ван ден Вондела. Библейские политические архетипы: дочь Иеффая, Гидеон, Иисус Навин, Моисей (от Макиавелли до Спинозы), Юдифь, Иаиль. Роль библейского политического архетипа у монархомахов и в радикальной протестантской риторике.

#### 9. Полития и полис: город и территориальное государство как конкурирующие парадигмы политического порядка

Город как парадигма политического единства у Платона и Аристотеля; связь пространственной ограниченности с «самодостаточностью» государства. Территориальное измерение власти: государство как общность права и единство интересов (*civitas* по Цицеирону) vs государство как «политический статус в территориальной замкнутости». Суверенное государство как парадигма политического порядка (*Maß- und Ordnungsbegriff*, по Карлу Шмитту). Роль ренессансной и барочной урбанистической утопии в современном политическом воображении. Суперпозиция моделей полиса и территориального государства: «Метрополия» Александра Леметра.

#### 10. Гражданские науки раннего Нового времени: анахронизм или упущенная альтернатива?

Рецепция ренессансных и барочных «гражданских наук» в XIX – XXI вв. Формирование канона истории политической мысли: от Якоба Брукера и Давида Морхоффа до Вильгельма Виндельбанда. Вытесненные политические языки раннего Модерна: политическое цicerонианство, гражданский гуманизм, «моральные науки». Ранненовове́ременный смысл понятия «морального» у Дюркгейма и ряда других социологических и политических теоретиков XX в. В чем может быть актуальность обращения к исторической семантике базовых понятий политического языка? Актуальность взгляда на политику как знание о «массовых контингентных феноменах»?

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Дополнительные главы квантовой механики**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами новейших знаний по квантовой механике, не входящих в стандартные курсы физических факультетов, и которые в дальнейшем будут использоваться в теоретических и экспериментальных исследованиях.

#### **Задачи дисциплины:**

Познакомить студентов с современными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и лучше понимать текущую научную периодику в этой области.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия по теме дисциплины.

##### **уметь:**

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### **владеть:**

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Фазы Берри**

Адиабатическая эволюция и геометрическая фаза. Связность Берри спиновой системы и блоховских состояний в кристалле. Связь с движением в потенциале решетки: аномальная скорость волнового пакета. Приложения к аномальному эффекту Холла и квазиклассическому квантованию уровней Ландау.

## 2. Фейнмановский интеграл по траекториям

Интеграл по путям для амплитуды перехода  $K(x, x')$  и уравнение Шредингера. Факторизация решения для  $K(x, x')$  для квадратичных потенциалов. Явное вычисление для свободного движения и для гармонического осциллятора (с предэкспонентой). Вычисление функциональных детерминантов методом Гельфанда-Яглома.

## 3. Матрица плотности

Описание смешанных состояний матрицей плотности. Разложение Шмидта и редуцированные матрицы плотности. Энтропия запутанности.

## 4. Поправки к адиабатическому приближению

Поправки к адиабатическому приближению. Экспоненциально малые эффекты. Эффект Ландау-Зинера. Квазиклассическое приближение в комплексной плоскости координаты и времени.

## 5. Декогерентность и матрица плотности

Дефазировка и измерения на языке матрицы плотности. Двухуровневая система и осциллятор, взаимодействующие с тепловой баней. Когерентные состояния. Марковское приближение и Линдбладдиан.

## 6. Катастрофа ортогональности – 1

Многочастичные волновые функции свободных фермионов и внезапное включение локального рассеивателя. Оценка Андерсона для интегралов перекрытия и адиабатическое вычисление. Связь с задачей о поглощении фотона (Fermi-edgesingularity) и с подавлением когерентного туннелирования трением.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Дополнительные главы квантовой физики и квантовой информатики**

#### **Цель дисциплины:**

- формирование у студентов навыков применения методов квантовой физики и квантовой информации для постановки и решения экспериментальных и теоретических задач.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование знаний и умений, необходимых для успешного представления результатов научной деятельности в области физики квантовых технологий и квантовых вычислений и теоретических исследований по современным актуальным проблемам;

- формирование навыков ведения научной дискуссии.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные методы построения научного доклада.

##### **уметь:**

- сделать доклад по своей работе или по работе, описанной в журнальной статье;

- ответить на вопросы по своему докладу;

- вести/модерировать научную дискуссию.

##### **владеть:**

- аппаратом квантовой механики и статистической физики, экспериментальными методами квантовых измерений, методами квантовых технологий.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Дополнительные главы квантовой механики

Рассматриваются главы релятивистской квантовой механики, включая элементы квантовой электродинамики и теории электрослабых взаимодействий.

## 2. Дополнительные главы квантовой информатики

Рассматриваются специальные вопросы описания квантовых каналов.

## 3. Дополнительные главы квантовой криптографии

Рассматриваются вопросы реализации различных протоколов на существующих устройствах.

## 4. Теория квантовых измерений

Рассматривается описание эволюции квантовых систем, обладающих дискретным спектром, в том числе подходы к введению неунитарной эволюции с неэрмитовым гамильтонианом. Рассматривается проблема обратимости описания квантовых систем/ Рассматривается решение проблемы квантовых неразрушающих измерений. Излагается общая теория квантовых измерений. Реализация теоретических результатов на сверхпроводящих, твердотельных, оптических и спиновых системах.

## 5. Новейшие результаты физики квантовых технологий

Проводится обзор новейших результатов, полученных в различных направлениях квантовых технологий. Обзор проводится в виде докладов студентов по научным публикациям, связанным с темами магистерских работ.

## 6. Доклады о состоянии выполнения магистерской работы

Доклады студентов по результатам, полученным в ходе выполнения магистерских работ. Доклад выполняется в форме доклада научной конференции.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Дополнительные главы теории струн и теории высших спинов**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение основных положений, методов и внутренней структуры теории струн.

#### **Задачи дисциплины:**

Ознакомление студентов с основами теории суперструн, её современными приложениями и местом в физической картине мира. Предполагается, что, прослушав этот курс, студенты смогут использовать методы и идеи теории струн в своей научно-исследовательской работе.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия по теме дисциплины.

##### **уметь:**

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### **владеть:**

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Свободная бозонная струна**

Свободная бозонная струна, действия Намбу-Гото и Полякова, симметрии, осцилляторные разложения, классические решения.

##### **2. Квантование бозонной струны**

Каноническое квантование, алгебра Вирасоро, уравнения движения и связи. Квантование в калибровке светового конуса, спектр состояний бозонной струны. Элементы конформной теории поля, БРСТ квантование. Метод континуального интеграла. Граничные условия Дирихле и спектр струны. Факторы Чана-Патона, квантование открытой струны на D-бране.

### 3. Суперсимметрия на мировом листе

Спиноры в общей теории относительности. Суперструна в формализме RNS. Граничные условия и осцилляторные разложения, супералгебра Вирасоро, связи и конформная инвариантность. Каноническое квантование и квантование в калибровке светового конуса. GSO-проекция.

### 4. Суперсимметрия в пространстве-времени

Действие для частицы и струны в суперпространстве, каппа-симметрия. Квантование и сокращение аномалий. Спектр открытых и замкнутых струн, RR-поля. Суперструна типа I и II, гетеротические суперструны.

### 5. Взаимодействующие струны

Структура струнной теории возмущений. Древесные амплитуды замкнутых и открытых струн. Амплитуда Вирасоро-Шапиро, амплитуда Венециано. Флуктуации D-бран и натяжение. Функция распределения струны в однопетлевом приближении. Модулярная инвариантность.

### 6. Низкоэнергетические эффективные теории

Сокращение аномалий, теория рассеяния и эффективные теории. Предел  $\alpha' \rightarrow 0$ , супергравитация и супер-Янг-Миллс. КК-разложение и размерная редукция. Супергравитации N=1 d=11, N=2 d=10 IА и IВ.

### 7. D-браны и AdS/CFT

T-дуальность для открытых и замкнутых струн и суперструн. Солитонные решения в супергравитации и D-браны. Заряд и натяжение D-браны. T-дуальность в фоновых полях, действие DBI для D-браны. D3-браны и N=4 супер-Янг-Миллс. Предел вблизи горизонта D-бран, голографическая дуальность.

### 8. M-теория и дуальности

S-дуальность в теориях IВ и гетеротических суперструн. Предел сильной связи теории IА и M-теория. Фундаментальные M2 и M5-браны, солитонные решения и компактификация. U-дуальность.

### 9. Предел нулевого натяжения и теория высших спинов

Предел нулевого натяжения. Поведение струнных амплитуд рассеяния. Теория высших спинов.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Дополнительные главы физики конденсированных сред**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины является углубленное изучение теоретических методов и подходов квантовой физики конденсированных сред, знакомство с основными известными экспериментальными фактами, а также некоторыми современными направлениями в этой области.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у студентов представления о физике твёрдого тела как о разделе физического знания, базирующегося на квантовой теории многочастичных систем с взаимодействующими частицами;
- ознакомление студентов с математическим аппаратом квантовой теории многочастичных систем и с примерами применения этого аппарата в физике металлов;
- ознакомление аспирантов с квантовыми эффектами в проводимости металлов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- приближение Хартри-Фока для описания эффектов электрон – электронного взаимодействия в твердых телах, модель Хартри-Фока для свободных электронов, основы теории экранировки в металлах, приближение Томаса – Ферми, теорию Линдхарда, осцилляции Фриделя, плазменные колебания, основные подходы теории ферми-жидкости, классическую и квантовую теорию колебаний решетки, гамильтониан Фрелиха, основы квантового теоретического описания транспортных явлений, канонические преобразования, методы диагонализации квадратичных по операторам рождения-уничтожения гамильтонианов.

##### **уметь:**

- применять метод вторичного квантования к системам взаимодействующих частиц, рассчитывать потенциал точечного заряда в металле, электронные орбиты в твердом теле в магнитном поле, квазиклассический спектр электронов в твердом теле в магнитном поле, влияние электрон-фононного взаимодействия на электронный спектр, вклад рассеяния электронов на фононах в сопротивление, интерференционную поправку к проводимости.

## **Владеть:**

- основными представлениями о концепции квазичастиц, нулевом звуке в ферми-жидкости, спиновых волнах в ферми-жидкости, взаимодействии света с твердыми телами, ангармонических эффектах в кристаллах, электрон-фононном взаимодействии, обменном взаимодействии и его роли в ферромагнетиках, теории рассеяния рентгеновского излучения в кристаллах, теории слабой локализации, мезоскопике, теории Ландауэра, теории Ландау фазовых переходов II рода, флуктуациях параметра порядка.

## **Темы и разделы курса:**

### 1. Взаимодействующие электроны в металлах

В приближении Хартри-Фока будут рассмотрены экранирующие свойства газа электронов, взаимодействующих по закону Кулона. Будет определена энергия когезии в металлах в приближении свободных электронов. В рамках теории Линдхарда будет определена диэлектрическая проницаемость металла и будет рассмотрено экранирование точечного заряда электронами в различных предельных случаях (приближение Томаса-Ферми, предел низких температур с выводом осцилляций Фриделя). Будут рассмотрены некоторые следствия нестационарной теории Линдхарда: плазменные колебания и затухание Ландау в металлах.

### 2. Элементы теории Ферми-жидкости

Будут изложены основы теории Ферми-жидкости. Будет рассмотрена магнитная восприимчивость ферми-жидкости, а также нулевой звук и спиновые волны в ферми-жидкости.

### 3. Электроны в кристаллах в сильных магнитных полях

Тема включает изучение следующих вопросов и разделов.

Квазиклассическое приближение. Магнитный пробой. Парамагнетизм Паули и диамагнетизм Ландау. Расчет осцилляций магнитного момента в эффекте де Гааза – ван Альфена. Эффект Шубникова – де Гааза.

### 4. Электрон-фононное взаимодействие

Предполагается введение в квантовую теорию фононов и электрон-фононного взаимодействия. Будет рассмотрено изменение спектра электронов в результате взаимодействия с фононами. Будет выведен закон Блоха-Грюнайзена для добавки к сопротивлению металла, вызванной электрон-фононным взаимодействием.

### 5. Элементы квантовой теории твердых тел

Тема включает изучение следующих вопросов и разделов.

Вторичное квантование. Бозе- и Ферми- частицы. Примеры вторично-квантованных гамильтонианов. Электрон во внешнем потенциале. Взаимодействующие электроны. Гамильтониан сильной связи. Модель Хаббарда. Фононы. Электрон-фононное

взаимодействие. Гамильтониан Фрёлиха. Взаимодействующие бозе-частицы. Частицы и дырки (античастицы). Квадратичные по операторам рождения-уничтожения гамильтонианы. Диагонализация. Канонические преобразования. О технике функций Грина в физике конденсированных сред.

#### 6. Введение в физику квантового транспорта

Будут получены оценки интерференционных поправок к проводимости металла (слабая локализация), в том числе – в присутствии магнитного поля. Будет рассмотрен эффект Ааронова-Бома в металлическом кольце. Будет изложена теория Ландауэра для контактного квантового точечного контакта и теория квантовой локализации в одномодовом проводе.

#### 7. Элементы флуктуационной теории фазовых переходов

Будет изложена теория Ландау фазовых переходов второго рода, а также теория Гинзбурга-Ландау для пространственно-неоднородных состояний. Будет разобран метод расчёта флуктуаций параметра порядка и будет получен критерий применимости теории Ландау.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Дополнительные разделы квантовой теории поля**

#### **Цель дисциплины:**

- изучение дополнительных глав квантовой теории поля, которые позволяют сформировать более широкий взгляд на достигнутые в последние годы успехи и понять перспективы дальнейшего развития этого научного направления.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение методов вычисления функций Грина квантовых полей; освоение теории перенормировок; освоение ренормгрупповых методов; знакомство с аналитическими методами квантовой теории поля.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

– принципы перенормировки квантовых полей, ренормгруппу, аналитические методы исследования квантовых полей.

##### **уметь:**

– выделять перенормируемые взаимодействия, вычислять интегралы Фейнмана, перенормировать простейшие теории, вычислять ренормгрупповые коэффициенты.

##### **владеть:**

– навыками освоения большого объема информации, навыками самостоятельной работы.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Функции Грина в квантовой теории поля. Метод производящих функционалов.

Функции Грина в квантовой теории поля. Диаграммы Фейнмана. Типы диаграмм. Метод производящих функционалов для получения связанных функций Грина. Почему важны функции Грина.

2. Ультрафиолетовые расходимости петлевых интегралов. Методы регуляризации. Регуляризация Паули-Вилларса.

Демонстрация методов вычисления петлевых интегралов на примере однопетлевого вклада в 4х-точечную функцию Грина в скалярной теории с самодействием. Метод фейнмановских параметров, поворот Вика.

Причина появления ультрафиолетовых расходимостей в петлевых интегралах. Методы регуляризации. Регуляризация Паули-Вилларса.

3. Размерная регуляризация. Спиноры и матрицы Дирака в пространстве произвольной размерности. Примеры вычислений фейнмановских интегралов.

Размерная регуляризация. Нахождение однопетлевых вкладов в 2х и 4х точечные функции Грина в скалярной теории. Спиноры и матрицы Дирака в пространстве произвольной размерности. Общие формулы для нахождения фейнмановских интегралов.

4. Введение в теорию перенормировок. Стандартная схема перенормировки. Схема вычитаний на массовой поверхности в скалярной теории (однопетлевое приближение).

Введение в теорию перенормировок. Стандартная схема перенормировки. Схема вычитаний на массовой поверхности в скалярной теории (однопетлевое приближение).

5. БПХЦ-схема перенормировок. Введение в перенормировку многопетлевых диаграмм.

БПХЦ-схема перенормировок. Введение в перенормировку многопетлевых диаграмм. Рекурсивная процедура построения лагранжиана контрчленов.

6. Метод подсчета степеней расходимостей. Перенормируемые и неперенормируемые теории. Схема минимальных вычитаний. Особенности схемы минимальных вычитаний.

Метод подсчета степеней расходимостей. Перенормируемые и неперенормируемые теории.

Классификация неперенормируемых теорий. Схема минимальных вычитаний. Особенности схемы минимальных вычитаний.

7. Перенормировка в квантовой электродинамике. Калибровочная инвариантность и перенормировки. Тождества Уорда

Перенормировка в квантовой электродинамике. Калибровочная инвариантность и перенормировки. Тождества Уорда. Вывод тождеств Уорда в КЭД. Следствия тождеств Уорда. Доказательство перенормируемости КЭД во всех порядках теории возмущений.

8. Ренормализационная группа. Ренормгрупповое уравнение. Вычисление ренормгрупповых коэффициентов.

Свобода в выборе перенормировочного предписания. Ренормализационная группа и перенормируемость теории. Ренормгрупповое уравнение. Ренормгрупповые коэффициенты в однопетлевом приближении в скалярной теории. Вычисление ренормгрупповых коэффициентов во всех порядках теории возмущений. Уравнение Калана-Симанчика.

9. Применения ренормгруппы. Анализ асимптотического поведения функций Грина. Теорема Вайнберга. Ведущие логарифмы.

Применения ренормгруппы. Анализ асимптотического поведения функций Грина. Теорема Вайнберга. Суммирование ведущих логарифмов на примере 2х-точечной функции Грина в скалярной теории.

10. Эффективная масса и константа связи. Разновидности высокоэнергетического и низкоэнергетического поведения. Асимптотическая свобода.

Метод подсчета степеней расходимостей. Перенормируемые и неперенормируемые теории.

Классификация неперенормируемых теорий. Схема минимальных вычитаний. Особенности схемы минимальных вычитаний.

11. Спектральные представления функций Грина. Оптическая теорема. Представление Челлена-Лемана.

Полнота гильбертова пространства. Вывод оптической теоремы. Получение представления Челлена-Лемана для пропагатора.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Импульсная энергетика, электроника, плазменные пинчи**

#### **Цель дисциплины:**

освоение студентами фундаментальных знаний в области наносекундной импульсной энергетике и электроники, физики плотной высокотемпературной плазмы и инерциального управляемого синтеза. Основной акцент сделан на изложение основных положений этого направления науки и перспективы ее применения в науке и практике. Актуальность данного курса определяется быстрым развитием современных энергетических технологий, их использованием в различных областях науки и техники. Введение данного курса связано также с острой необходимостью в подготовке для высшей школы, научных учреждений и промышленности высококвалифицированных специалистов в области импульсной энергетике и электроники, физики плотной высокотемпературной плазмы.

#### **Задачи дисциплины:**

формирование базовых знаний в области наносекундной импульсной энергетике и электроники, физики плотной высокотемпературной плазмы и инерциального управляемого синтеза, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;

обучение студентов принципам работы, создания и использования новейших импульсных электрофизических устройств выявление особенностей их функциональных характеристик;

формирование подходов к выполнению исследований студентами в области электрофизики, оптики когерентного излучения, физики плотной высокотемпературной плазмы в рамках выполнения работ в лабораториях базовых предприятий.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные концепции, законы и принципы, применяемые при изучении современной физики плазмы;
- основные теоретические и экспериментальные методы, используемые при изучении быстропротекающих импульсных процессов;
- основные результаты открытий и исследований, определивших пути развития электрофизики, физики плазмы.

**уметь:**

- проводить самостоятельно и в коллективе экспериментальные или теоретические исследования по физике плазмы, управляемых термоядерных реакций;
- уметь получать наилучшие значения измеряемых величин и правильно оценивать степень их достоверность;
- анализировать и обобщать результаты экспериментальных исследований;
- видеть и оценивать основные проблемы и ставить новые задачи.

**владеть:**

- методикой экспериментальной работы с современными сильноточными ускорителями;
- культурой проведения модельных расчетов;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей.

**Темы и разделы курса:****1. Основы теории электрических цепей.**

Квазистатические и волновые электромагнитные поля. Сосредоточенные линейные элементы электрических цепей. Методы описания процессов в электрических цепях. Передача сигналов линейными цепями. Переходные процессы в цепях.

**2. Передача и трансформация мощных электрических импульсов в линиях.**

Передача энергии в импульсной форме. Кабельные линии. Телеграфные уравнения. Линии с нагрузкой. Трансформирование импульсов неоднородными линиями. Магнитная самоизоляция вакуумных линий.

**3. Методы формирования наносекундных импульсов тока и напряжения.**

Разряд емкостных накопителей. Использование индуктивных накопителей. Формирования наносекундных импульсов с помощью длинных линий.

**4. Методы умножения импульсов напряжений.**

Умножение напряжения в генераторах с сосредоточенными элементами. Умножение напряжения в генераторах с линиями. Импульсные трансформаторы.

**5. Импульсные процессы и импульсные генераторы тока и напряжения.**

Импульсная энергетика и сильноточная электроника. Общие принципы построения мощных импульсных генераторов. Z (SANDIA National Laboratories, USA); Ангара-5-1



(ТРИНИТИ, Троицк); ГИТ-12 (ИСЭ СО РАН, Томск); PTS (Китай); С-300 (Курчатовский институт); Sphinx machine (Centre d'Etudes de Gramat, Gramat, France). Накопители энергии.

6. Транспортировка токов мегаамперного уровня по магнитоизолированным вакуумным транспортирующим линиям (МИВТЛ).

Импульсный электрический пробой в вакууме. Взрывная электронная эмиссия. Исследования состояния токнесущих элементов, по которым ток генератора мегаамперного уровня транспортируется на нагрузку.

7. Методы измерения наносекундных мощных импульсов тока и напряжения.

Особенности токовых измерений на сильноточных машинах. Коаксиальный шунт. Измерения тока магнитными зондами. Пояс Роговского с интегрирующей цепочкой. Пояс Роговского с обратным витком. Измерение импульсного напряжения: резистивный делитель; емкостной делитель; компенсированный делитель.

8. Генерация плотной высокотемпературной плазмы и инерциальный управляемый термоядерный синтез (УТС).

Критерий Лоусона. УТС с инерционным удержанием. Критерий зажигания мишени в инерционных системах.

9. Инерциальный лазерный термоядерный синтез.

Физические проблемы лазерного термоядерного синтеза: поглощение и рассеяние мощного лазерного излучения плазмой, перенос энергии из зоны поглощения на поверхность твердой мишени, режимы сжатия и нагрева термоядерного топлива. Прямой и непрямой способы зажигания мишени. Искра (РФЯЦ-ВНИИЭФ), NIF (Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California, USA).

10. Инерциальный термоядерный синтез на основе быстрых z-пинчей (плазменных лайнеров).

Z-пинча – драйвер для инерциального термоядерного синтеза. Хольраум. Проект динамического хольраума. Концепция реализации частотного Z-пинча импульсного термоядерного реактора для энергетических систем.

11. Основные принципы диагностики в физике плазмы.

Анализ процессов, происходящих в плазме, при изучении которых можно определять ее параметры (температуру и концентрацию ее подсистем – нейтралов, электронов и ионов различного заряда. Введенная в вещество энергия; пространственно-временная картина общих изменений формы плазмы в процессе ее существования и распада; распределение в пространстве и во времени полей, окружающих плазму; излучению в различных спектральных диапазонах; процессов прохождения, ослабления и рассеяния излучения плазмой; анализом частиц, вылетающих из плазмы, так и взаимодействие электронных, ионных и молекулярных пучков с плазмой.

12. Приемники светового излучения.

Избирательность и быстродействие. Шумы и флуктуации. Тепловой шум Джонсона. Дробовой шум. Шумы цифровой записи. Фотоэмиссионные приемники излучения. Фотоумножители. Многофотонная фотоэлектронная эмиссия металлов. Важные свойства фотоэффекта. Квантовый выход фотокатодов в различных спектральных

диапазонах. Пороговая чувствительность фотоумножителя. Электронно-оптический преобразователь. Регистрация исследуемых процессов в кадровом, многокадровом и хронографическом режиме.

### 13. Методы теневой фотографии.

Основные принципы получения интерференционного изображения. Показатель преломления электронной и нейтральной компонент плазмы. Интерферометр Маха-Цендера; Интерферометр сдвига. Абелизация в случае цилиндрических объектов. Примеры анализа интерференционных изображений, полученных на различных установках. Интерферометр с фотоэлектрической регистрацией. Чувствительность интерференционного метода.

### 14. Методы теневой фотографии.

Типичная схема теневого оптического зондирования. Механизмы появления тени на фотографиях при зондировании плазменных объектов: “отсечка” зондирующего излучения в плазме; обратное тормозное поглощение зондирующего излучения в плазме; рефракция зондирующего пучка в областях с градиентами концентрации электронов плазмы. Резонансная интерферометрия. Примеры анализа теневых изображений, полученных на различных установках. Шлирен – метод. Комплексный анализ интерференционных, теневых и шпирен-изображений; оценки параметров вещества в разрядном канале. Влияние длительности лазерного импульса на разрешение полученных изображений.

### 15. Рентгеновские диагностики.

Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Формирование рентгеновских изображений. Камера-обскура. Конструкция щелевой камеры со ступенчатым ослабителем. Схема линейной Брэгг-Френелевской линзы. Конструкция преломляющей капиллярно-пузырьковой линзы. Рентгеновская спектроскопия. Рентгеновские спектрографы. Спектрограф с выпуклым кристаллом. Цилиндрический фокусирующий спектрограф. Определение параметров плазмы по спектрам. Схема регистрации спектров с временным разрешением. Рентгеновское зондирование вещества: рентгеновские трубки, синхротронное излучение, формирование рентгеновского источника при облучении лазером мишени, X-пинч. Схемы рентгеновской радиографии. Метод фазового контраста.

### 16. Рентгеновское и корпускулярное излучение пинча.

Сцинтилляционные конверторы гамма-нейтронных изображений. Сцинтилляционные детекторы. Применение сцинтилляторов для регистрации мягкого рентгеновского излучения.

### 17. Измерение потоков рентгеновского излучения.

Генерация рентгеновского излучения. Вакуумные рентгеновские диоды. Полупроводниковые детекторы. Зависимость тока фотоэмиссии открытого вакуумного диода от температуры плазмы источника излучения. Ограничение тока диода. Примеры анализа измерений рентгеновского излучения на различных установках. Шумы.

18. Математическое моделирование взрыва одиночных проволочек и многопроволочныхборок.

МГД моделирование плазменных пинчей в одно-, двух и трехмерных приближениях. Моделирование распада метастабильного состояния A1 проволоочки при ее взрыве. Развитие неустойчивостей в пинчах.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Интегралы по путям и квантовая механика открытых систем**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами углублённых знаний по квантовой механике, не входящих в стандартные курсы физических факультетов, и которые в дальнейшем будут использоваться в теоретических и экспериментальных исследованиях.

#### **Задачи дисциплины:**

Познакомить студентов с современными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и лучше понимать текущую научную периодику в этой области.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия по теме дисциплины.

##### **уметь:**

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### **владеть:**

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Туннельное расщепление и распад и «инстантоны»**

Интеграл по путям в мнимом времени. Амплитуда перехода ALR для 2-явного потенциала и выражение для нее через интеграл по путям. Экстремальное решение типа «кинк» и флуктуации около него на примере модели потенциала  $V_1(x) = -x^2 + x^4$ . Выделение «нулевой моды». Выражение для амплитуды ALR через действие кинка и отношение

детерминантов флуктуаций в поле безотражательного потенциала. Задача о распаде метастабильного состояния на примере потенциала  $V_2(x) = x^2 - x^3$ . Вычисление мнимой части энергии состояния (т.е. скорости распада) через интеграл по путям. Перевальное решение типа «bounce» и отрицательная мода. Вычисление мнимой части расходящегося интеграла. Выражение для скорости распада через действие кинка и отношение детерминантов флуктуаций в поле безотражательного потенциала.

## 2. Катастрофа ортогональности-2

Катастрофа ортогонализации в бозонизированном представлении. Сингулярность ферми-края. Дефазировка и катастрофа ортогональности в интерферометре. Диссипативная двухуровневая система: введение.

## 3. Функционал влияния Фейнмана-Вернона для матрицы плотности – 1

Равновесная (тепловая) матрица плотности. Уравнение эволюции от 0 до  $1/T$  по мнимому времени и интеграл по путям. Статистическая сумма. Равновесная матрица плотности частицы в магнитном и в электрическом полях. Вариационный принцип. Матрица плотности при линейной связи с внешним полем. Функционал влияния в мнимом времени. Задача о поляроне.

## 4. Функционал влияния Фейнмана-Вернона для матрицы плотности – 2

Неравновесная матрица плотности: интеграл по путям «туда и обратно» по времени. Усреднение по состояниям «среды» и функционал влияния. Среда, состоящая из набора осцилляторов при заданной температуре  $T$ . Периодичность по мнимому времени. Вычисление потенциала влияния через функции Грина на контуре «туда и обратно». Среда с линейной («омической») диссипацией. Квантовый аналог уравнения Ланжевена и его классический предел. Классическая диссипативная динамика и суперсимметрия. Функция Грина быстрой частицы в случайном магнитном поле.

## 5. Диссипация в квантовой механике – 1

### 1. Примеры физических систем:

- о туннелирование между вырожденными двумя состояниями: молекула аммиака и подобные ей, туннелирование спина  $S \gg 1$  в молекулярных кластерах, кубиты, TLS в металлах;

- о проблема узкой зоны:  $\mu$ -мезоны в металле, динамика фазы в джозефсоновских контактах;

- о распад метастабильного состояния в присутствии диссипации: phase slip in biased Josephson junction, туннелирование электрона в грязный металл, крип дислокаций в квантовом кристалле.

### 2. Общая теория квантового распада при наличии диссипации.

### 3. Переход от тепловой активации к диссипативному туннелированию. Пре-экспоненциальный фактор.

## 6. Диссипация в квантовой механике – 2

### 1. Двух-уровневая система:

- o Двух-уровневая система с диссипацией в мнимом времени при слабой связи  $\alpha \ll 1$ .
  - o Точно решаемый случай: ДУС с  $\alpha = 1/2$ .
  - o Фазовый переход при  $\alpha = 1$  – блокада туннелирования.
2. Разрушение зонного движения в периодическом потенциале:
- o разложение по инстантонам и дуальное к нему,
  - o фазовый переход Шмида и его физ. смысл,
  - o диссипация, периодическая по фазе.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Интегралы по траекториям с помощью молекулярной динамики**

#### **Цель дисциплины:**

ознакомление студентов с методом интегралов по траекториям с помощью молекулярной динамики и его практической реализацией на многопроцессорных вычислительных системах.

#### **Задачи дисциплины:**

- погружение в теоретическую часть метода интегралов по траекториям;
- приобретение обучающимися практических умений и навыков, необходимых для работы с многопроцессорными вычислительными системами;
- ознакомление обучающихся с прикладной частью метода интегралов по траекториям;
- формирование умений и навыков для применения полученных знаний для моделирования квантовых систем;
- привлечение студентов к работе над актуальными физическими задачами.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Теоретические основы метода интегралов по траекториям, границы применимости метода.

##### **уметь:**

Моделировать простые системы с помощью метода интегралов по траекториям, проводить анализ полученных результатов.

##### **владеть:**

навыками компиляции и запуска последовательных и параллельных программ с использованием систем очередей;

навыками создания модели и её осуществления с помощью прикладного метода интегралов по траекториям; методами анализа полученных из модели результатов.

## **Темы и разделы курса:**

### **1. Формулировка квантовой теории через интегралы по траекториям**

Введение. Формулировка Фейнмана. Основные понятия. Понятие интеграла по траектории. Вывод интегралов по траекториям через каноническую матрицу плотности и оператор эволюции времени. Переход к статсумме. Высокотемпературный предел, переход к классической механике.

### **2. Получение наблюдаемых величин через интегралы по траекториям**

Выражение для оператора наблюдаемой величины. Вывод среднего значения через интегралы по траекториям. Функциональные интегралы. Многочастичные интегралы по траекториям. Автокорреляционные функции. Метод получения динамических величин.

### **3. Численная реализация метода на практике**

История. Область применения. Понятие квантового полимера. Метод молекулярной динамики центроида. Решение уравнений движения в нормальных модах. Метод цепочечной молекулярной динамики. Различия реализаций. Понятие цветного термостата. Использование термостатов в расчете. Получение наблюдаемых величин из расчета.

### **4. Использование программных пакетов для моделирования**

Ознакомление с реализацией метода интегралов по траекториям *i*-PI. Изучение программного языка *i*-PI, обзор возможностей программного пакета. Рассмотрение пакетов молекулярного моделирования, используемых для работы совместно с *i*-PI. Установка программного обеспечения, проведение тестовых расчетов.

### **5. Моделирование конкретных физических систем**

Расчет квантовых поправок для жидкой воды, жидкого водорода и жидкого гелия. Вычисление термодинамических и транспортных свойств рассматриваемых систем. Расчет спектров. Учет квантовости ядер в реакционной динамике. Получение энергетических барьеров химических реакций.

### **6. Перспективы развития и новые приложения метода**

Обзор решенных проблем. Направления развития вычислительных методов. Физические задачи, требующие использования данного подхода.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Интегрируемые модели квантовой теории поля**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение интегрируемых (точно решаемых) моделей квантовой теории поля.

#### **Задачи дисциплины:**

Сформировать представление об интегрируемых моделях квантовой теории поля. Научить отыскивать модели, допускающие точное решение, разобраться в том, какие величины и в каком смысле могут быть найдены точно.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные критерии интегрируемости и методы решения интегрируемых моделей в квантовой теории поля.

##### **уметь:**

- находить спектры, точные  $S$ -матрицы и формфакторы интегрируемых моделей квантовой теории поля, осуществлять бозон-фермионное соответствие, получать и исследовать уравнения Бете.

##### **владеть:**

- методами исследования интегрируемых моделей квантовой теории поля.

#### **Темы и разделы курса:**

1.  $O(2)$ -модель и переход Березинского—Костерлица—Таулеса

- вихри в  $O(2)$ -модели и переход газ-плазма;

- связь с моделью синус-Гордона.

2. Бозонизация модели Тирринга

- определение модели;
- безмассовая модель Тирринга и выражение фермионов через свободные бозоны;
- теория возмущений по массе как теория возмущений по потенциальному члену в модели синус-Гордона.

### 3. Двухчастичные S-матрицы: теория возмущений

- двухчастичная S-матрица в двумерной теории поля;
- вычисление двухчастичной S-матрицы фермионов по теории возмущений в модели Тирринга;
- вычисление двухчастичной S-матрицы 1-бризеров в модели синус-Гордона;
- вычисление двухчастичной S-матрицы 1-бризера и топологического солитона в модели синус-Гордона.

### 4. O(N)-модель: 1/N-разложение

- 1/N-разложение для O(N)-модели;
- вычисление S-матрицы в пределе больших N.

### 5. O(N)-модель: интегрируемость и точная S-матрица

- высшие интегралы движения в O(N)-модели;
- высшие интегралы движения и гипотеза факторизованного рассеяния;
- уравнения Янга–Бакстера, унитарности и кроссинг-симметрии;
- точное решение бутстрапных уравнений для O(N)-модели с  $N \geq 3$ .

### 6. Бозоны и фермионы с контактным взаимодействием

- модель Либа–Линихера, решение методом анзаца Бете, S-матрица и интегралы движения;
- простейшая фермионная модель Янга–Годена, ее решение методом анзаца Бете.

### 7. Решение модели Тирринга методом анзаца Бете: построение собственных состояний

- модель Тирринга в гамильтоновой формулировке;
- псевдовакуум и море Дирака; псевдочастицы;
- рассеяние псевдочастиц и волновые функции Бете;
- заполнение моря Дирака и основное состояние.

### 8. Решение модели Тирринга методом анзаца Бете: спектр частиц и матрица рассеяния

- возбуждения над основным состоянием; перенормировка волновой функции;
- энергия дырочных возбуждений и перенормировка массы;
- модель скалярных фермионов и S-матрица дырок;
- достраивание S-матрицы с помощью уравнения Янга–Бакстера; связанные состояния.

## 9. Интегрируемые возмущения минимальных моделей двумерной конформной теории поля

- интегралы движения в конформной теории поля;
- возмущение конформной теории поля релевантными операторами;
- возмущение локальных интегралов движения, условие сохранения интеграла движения;
- проверка условия сохранения для простейших интегралов движения, роль нуль-векторов;
- простейший подсчет интегралов движения и альтернативные методы поиска интегралов движения.

## 10. Интегралы движения и матрицы рассеяния

- асимптотическая волновая функция и операторы Фаддеева–Замолотчикова;
- условия совместности интегралов движения с точной S-матрицей;
- примеры использования условий совместности: возмущение «ленточных» минимальных моделей и теория поля Изинга во внешнем магнитном поле.

## 11. Термодинамический анзац Бете: основы метода

- две картины для модели на «тонком» торе  $R \ll L$ ;
- возмущенная конформная теория поля в R-картине;
- анзац Бете при конечной температуре в L-картине на основе S-матрицы; энтропия, псевдоэнергии, уравнение Янга–Янга;
- выражение физических величин через псевдоэнергии.

## 12. Термодинамический анзац Бете: результаты

- высокотемпературное разложение  $R/L \ll 1$  в L-картине;
- вычисление скейлинговой функции и дилогарифм Роджерса;
- вычисление эффективного центрального заряда по S-матрице;
- плотность энергии вакуума и S-матрица.

## 13. Конформная теория возмущений

- операторные разложения, структурные функции и вакуумные средние; непертурбативная природа вакуумных средних;
- теория возмущений для парных и тройных корреляционных функций; сокращение инфракрасной расходимости в структурных функциях;
- сокращение ультрафиолетовых расходимостей смешиванием операторов; явление операторного резонанса;
- примеры вычисления точных вакуумных средних;
- вычисление структурных функций на примере модели Ли–Янга.

#### 14. Точные формфакторы квазилокальных операторов

- разложение операторов теории по операторам Фаддеева–Замолотчикова;
- условия (квази)локальности операторов — формфакторные аксиомы (Каровского–Вайша–Смирнова);
- теорема Смирнова, набросок доказательства;
- примеры точных формфакторов: теория поля Изинга при нулевом магнитном поле и модель sh-Гордона.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **История, философия и методология естествознания**

#### **Цель дисциплины:**

приобщить студентов к историческому опыту мировой философской мысли, дать ясное представление об основных этапах, направлениях и проблемах истории и философии науки, способствовать формированию навыков работы с предельными вопросами, связанными с границами и основаниями различных наук и научной рациональности, овладению принципами рационального философского подхода к процессам и тенденциям развития современной науки.

#### **Задачи дисциплины:**

- систематизированное изучение философских и методологических проблем естествознания с учетом историко-философского контекста и современного состояния науки;
- приобретение студентами теоретических представлений о многообразии форм человеческого опыта и знания, природе мышления, соотношении истины и заблуждения;
- понимание роль науки в развитии цивилизации, соотношение науки и техники и связанные с ними современные социальные и этические проблемы, умение различать исторические типы научной рациональности, знать структуру, формы и методы научного познания в их историческом генезисе, современные философские модели научного знания;
- знакомство с основными научными школами, направлениями, концепциями, с ролью новейших информационных технологий в мире современной культуры и в области гуманитарных и естественных наук;
- понимание смысла соотношения биологического и социального в человеке, отношения человека к природе, дискуссий о характере изменений, происходящих с человеком и человечеством на рубеже третьего тысячелетия;
- знание и понимание диалектики формирования личности, ее свободы и ответственности, своеобразия интеллектуального, нравственного и эстетического опыта разных исторических эпох.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

- структуру естественных и социо-гуманитарных наук, специфику их методологического аппарата;
- соотношение принципов и гипотез в построении научных систем и теорий;
- основы современной научной картины мира, базовые принципы научного познания и ключевые направления междисциплинарных исследований;
- концепции развития науки и разные подходы к проблеме когнитивного статуса научного знания;
- проблему материи и движения;
- понятия энергии и энтропии;
- проблемы пространства–времени;
- современные проблемы физики, химии, математики, биологии, экологии;
- великие научные открытия XX и XXI веков;
- ключевые события истории развития науки с древнейших времён до наших дней;
- взаимосвязь мировоззрения и науки;
- проблему формирования мировоззрения;
- систему интердисциплинарных отношений в науке, проблему редукционизма в науке;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях к естественным наукам;
- о Вселенной в целом как физическом объекте и ее эволюции;
- о соотношении порядка и беспорядка в природе, о проблемах нелинейных процессов и самоорганизующихся систем;
- динамические и статистические закономерности в природе;
- о роли вероятностных описаний в научной картине мира;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания для создания технических устройств;
- особенности биологической формы организации материи, принципы воспроизводства и развития живых систем;
- о биосфере и направлении ее эволюции.

**уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, гипотезы, доказательства, законы;
- применять методологию естествознания при организации конкретных исследований;
- дать панораму наиболее универсальных методов и законов современного естествознания.

**владеть:**

- научной методологией как исходным принципом познания объективного мира;
- принципами выбора адекватной методологии исследования конкретных научных проблем;
- системным анализом;
- знанием научной картины мира;
- понятийным и методологическим аппаратом междисциплинарных подходов в науке.

**Темы и разделы курса:****1. Возникновение и развитие науки на Западе и на Востоке**

Проблема возникновения науки в древности. Рецептурный и прикладной характер знания на Древнем Востоке. Рождение философии. Научные программы Платона, Аристотеля и Демокрита. Зарождение античной науки: математика, физика, астрономия и биология. Проблема социальной организации античной науки. «Мусический» культ и научно-философские школы. Александрийский Мусейон и дальнейшее развитие эллинистической науки. Наука Древнего Рима. Арабская средневековая наука. Наука в Европе в Средние века. Христианство и наука Спор веры и разума. Переосмысление античного наследия. Средневековый эмпиризм. Николай Кузанский и понятие бесконечности. Мировоззренческий поворот эпохи Возрождения. Возникновение науки Нового времени: основные концепции и ключевые персоналии. Ключевые исследовательские программы новоевропейской науки. Триумф ньютоновской физики и становление математического естествознания. Центральные теоретические постулаты и методы классического естествознания.

**2. Методология научного и философского познания**

Познание как философская проблема. Природа, основание и условия познания. Основные понятия: истина и ее критерии, истина и мнение, истина/заблуждение/ложь. Различные концепции истины. Чувственное и рациональное познание. Деление познавательных способностей (чувственность, рассудок, разум, понятие интеллектуальной интуиции). Субъект и объект познания. Возможности и границы познания. Период метафизики (XVII–XVIII вв.). Спор рационализма и эмпиризма Рационалистическое направление: метод дедукции и понятие интеллектуальной интуиции в философии Декарта и Спинозы. Декартовский пробабиллизм. Теория врожденных идей. Учение Лейбница об „истинах факта“ и „истинах разума“, о видах знания, об анализе и синтезе. Рационалистическая трактовка тезиса о соответствии бытия и мышления. Традиция английского эмпиризма: бэконовское учение об опыте, о роли индукции, об „идолах“ познания. Локковская модель научного познания. Тезис Беркли: быть — значит быть воспринимаемым. Юмовский скептицизм и психологизм, критика понятия причинности. Кантовское решение проблемы познания. Постановка вопроса о возможности познания. Пространство и время как формы чувственности. конструирование предметности в процессе познания. Разум как законодатель. Специфика кантовского понимания мышления. Критика возможности сверхчувственного познания. Понятие „вещи в себе“. Антиномии разума. Трактовка

познания в неокантианстве. Марбургская и баденская школы неокантианства. Неокантианская разработка теории познания. Деление наук на номотетические и идиографические. Проблема ценностей в Баденской школе. Логический позитивизм и «лингвистический поворот». Гносеологические вопросы в философии новейшего времени. Ф. Ницше: познание как выражение «воли к власти». Разум и интуиция в философии А. Бергсона. Природа познания и понимание истины в позитивизме и прагматизме. Теория познания в русской философской традиции: интуитивизм Н. Лосского. Отказ от идеи репрезентации у Д. Дьюи, Л. Витгенштейна, М. Хайдеггера. Логическая критика позитивизма К. Поппером: проблемы индукции и демаркации; принцип фальсификации; отношение к истине. Концепция роста науки К. Поппера: фаллибилизм и

теория правдоподобия. Развитие современной космологии и физики элементарных частиц.

Историческая критика позитивизма. Существуют ли «решающие эксперименты»? Тезис о

«несоизмеримости теорий». Куновская модель развития науки: научное сообщество и научная

парадигма, «нормальная» и «аномальная» фазы в истории науки. Модель исследовательских

программ И. Лакатоса: «жесткое ядро» и «защитный пояс гипотез»; «прогрессивный сдвиг

проблем» как критерий отброса исследовательских программ. Исторический релятивизм П.

Фейерабенда. Спор реализма и антиреализма в современной философии науки.

Социологизация современной философии науки. Спор о модели «внешней» и «внутренней»

истории Лакатоса. Место лаборатории в науке. Взаимоотношения науки и техники во второй

половине XX – начале XXI в.

Структура естественно-научного знания. Место математики и измерений. Место оснований и

теорий явлений. Место методологических принципов.

Взаимоотношение науки и техники. Происхождение техники и ее сущность. Проблема

научно-технического прогресса. Этические проблемы современной науки. Формы сочетания

науки и техники в XX в.

3. Современная философия о проблемах естественнонаучного знания

Понятие динамических и статистических закономерностей и вероятности как объективной характеристики природных объектов. Место принципов симметрии и законов сохранения.



Синергетика, самоорганизация и соотношение порядка и беспорядка. Модель глобального эволюционизма.

#### 4. Современная философия о проблемах естественнонаучного знания

Особенности наук о живом. Вопрос о редукции биологии и химии к физике. Противоречия между природой и человеком в наши дни. Глобальные проблемы современной цивилизации, возможности экологической катастрофы. Биосфера, ноосфера, экология и проблема устойчивого развития.

Междисциплинарные подходы в современной науке.

#### 5. Современная философия о проблемах социального и гуманитарного знания

Гуссерлевская критика психологизма в логике. Феноменология как строгая наука. Истина и метод: от разума законодательствующего к разуму интерпретирующему; Г.-Р. Гадамер, П. Рикер и др. «Философия и зеркало природы»: Р. Рорти. Философская антропология (Шелер, Гелен). Структурализм (Л. Леви-Брюль, К. Леви-Строс и др.); постструктурализм (Р. Барт, М. Фуко и др.). Фундаментальная онтология М. Хайдеггера. Герменевтика Х. Гадамера.

#### 6. Наука, религия, философия

Религия и философское знание. Ранние формы религии. Многообразие подходов к проблемам

ранних религиозных форм: эволюционизм (У. Тейлор), структурализм (Леви-Брюль, Леви-Строс), марксизм.

От мифа к логосу: возникновение греческой философии, противопоставление умозрительного и технического. Натурфилософия, онтология, этика, логика. Гармония человека и природы в древневосточной философии. Человек и природа в традиции европейской культуры. Эволюция европейской мысли от “фюсис” античности — к “природе” и “материи” Нового Времени. Наука Нового времени как наследница греческой натурфилософии. Натурфилософские традиции прошлого и современные философские и научные подходы к пониманию природы, отношений человека и природы.

Взаимоотношение мировых религий с философией и наукой. Решение проблем соотношения веры и разума, свободы воли и предопределенности в различных ветвях христианства и в исламе. Проблема возможности существования религиозной философии. Религиозно-философские концепции немецких романтиков (Ф. Шлейермахер). Религиозная философия С. Кьеркегора. Границы существования религиозной философии в рамках католицизма (неотомизм), протестантизма, православия. Русская религиозная метафизика.

#### 7. Проблема кризиса культуры в научном и философском дискурсе

Культ разума и идея прогресса эпохи Просвещения и антипросвещенческие иррационалистические течения конца XIX и вв. С. Кьеркегор, А. Шопенгауэр, Ф. Ницше. З. Фрейд, его последователи и оппоненты. Учение о коллективном бессознательном К.Г. Юнга. Антисциентизм и кризис культуры. Марксизм советский и западный, переосмысление марксистского наследия в творчестве представителей Франкфуртской школы социологии (М. Хоркхаймер, Т. Адорно, Г. Маркузе, Ю. Хабермас). Экзистенциализм (Ж.-П. Сартр, А. Камю, К. Ясперс), его основные проблемы и парадоксы.

Философский постмодерн (Лиотар, Бодрийар, Делез и др.). Образ философии и ее истории в современных философских дискуссиях.

#### 8. Наука и философия о природе сознания

Феномен сознания как философская проблема. Знание, сознание, самосознание. Реальное и идеальное. Бытие и сознание. Сознание–речь–язык. Вещь–сознание–имя. Сверхсознание–сознание–бессознательное. Принцип тождества бытия и мышления (сознания): от элеатов до Г. Гегеля. Сознание и самосознание в философии Г. Гегеля. Проблематика сознания у философов XIX-XX вв.

## Аннотации к рабочим программам дисциплин.

Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность: Общая и прикладная физика

### Качественные методы гидродинамики

#### Цель дисциплины:

Дать студентам знания в области описания различных квантовых физических явлений и методы построения соответствующих математических моделей, показать соответствие и непротиворечивость системы постулатов, положенных в основу квантовой теории, существующим экспериментальным данным, что позволяет считать теорию достоверной. Дать навыки, позволяющие понять адекватность теоретической модели соответствующему физическому явлению.

#### Задачи дисциплины:

- Изучение свойств точно решаемых задач-моделей гидродинамических систем;
- изучение приближенных методов решения задач гидродинамики;
- изучение методов описания сложных систем
- овладение методами гидродинамики для описания свойств различных физических систем.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### знать:

- Постулаты и принципы гидродинамики, методы описания гидродинамических систем, связь состояний и операторов с наблюдаемыми и измеряемыми величинами;
- основные свойства точно решаемых моделей гидродинамических систем;
- основные приближенные методы решения задач механики сплошных сред;
- методы описания сложных и незамкнутых систем;
- методы и способы описания систем многих частиц в гидродинамической теории;
- методы описания рассеяния микрочастиц в газах; описание взаимодействия электромагнитного излучения с газами.

##### уметь:

- Определять средние значения (физические величины) гидродинамических систем;

- применять разнообразные приближения для оценки гидродинамических процессов;
- применять стационарную теорию возмущений для определения распространения звука в океане;
- вычислять дифференциальные сечения рассеяния наночастиц различными потенциалами;
- определять возможные сценарии турбулентности.

**владеть:**

- Основными методами решения задач различных систем многих тел;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами микроскопических и наносистем, обладающих как дискретным, так и непрерывным спектрами.

**Темы и разделы курса:**

1. Гидродинамика горения газа

Медленное горение. Детонация. Распространение волны детонации. Соотношение между различными режимами горения. Конденсационные скачки.

2. Звуковые волны.

Скорость звуковой волны. Энергия и импульс звуковых волн. Распространение звуковых колебаний. Излучение звука колеблющимся телом. Излучение звука пульсирующим телом. Рассеяние звука на препятствиях. Рассеяние звука на малых частицах. Движение тел под действием звука. Звуковые волны при колебаниях температуры излучателя. Распространение звука в трубках. Поглощение звука. Акустическое течение. Геометрическая акустика. Собственные колебания.

3. Конвекция и диффузия

Свободная конвекция нагретой жидкости. Конвективная неустойчивость неподвижной жидкости. Восходящие потоки нагретого газа. Коэффициенты диффузии и термодиффузии. Диффузия взвешенных частиц в жидкости.

4. Одномерное течение газа

Истечение газа через сопло. Вязкое течение сжимаемого газа по трубе. Одномерное автомодельное течение. Характеристики. Инварианты Римана. Сильный взрыв в атмосфере. Теория мелкой воды.

5. Плоское течение газа

Потенциальное течение сжимаемого газа. Сверхзвуковое обтекание угла. Стационарные простые волны. Переход через звуковую скорость. Обтекание со звуковой скоростью. Дозвуковое обтекание тонкого крыла. Сверхзвуковое обтекание крыла.

#### 6. Поверхностные явления

Движение жидкости по капиллярам. Формула Лапласа. Капиллярные волны. Влияние адсорбированных на движение жидкости.

#### 7. Пограничный слой.

Ламинарный пограничный слой. Устойчивость течения в ламинарном пограничном слое. Логарифмический профиль скорости. Турбулентный пограничный слой. Турбулентное течение в трубах. Кризис сопротивления. Подъемная сила тонкого крыла.

#### 8. Теплопередача в жидкости и газе

Распространение теплоты в среде. Нелинейная теплопроводность. Теплопередача при обтекании тел жидкостью. Нагревание тел при обтекании их жидкостью. Теплопередача в ламинарном пограничном слое. Теплопередача в турбулентном пограничном слое.

#### 9. Течение вязкого газа и вязкой жидкости

Течение через трубки и поры. Движение тел в жидкости. Ламинарный след. Поглощение энергии в вязкой жидкости. Течение по трубе. Вязкость суспензий. Затухание гравитационных волн.

#### 10. Течение идеальной жидкости и его физическая интерпретация

Обтекание тел жидкостью. Гравитационные волны на поверхности жидкости. Сила сопротивления при потенциальном обтекании. Внутренние волны в воде. Условие отсутствия конвекции.

#### 11. Турбулентность

Развитая турбулентность. Турбулентный след. Релаксация турбулентного течения. Модель Фейгенбаума. Ренормализационные группы. Устойчивость течения по трубе. Странный аттрактор. Теорема Жуковского.

#### 12. Ударные волны

Стационарный поток сжимаемого газа. Ударная адиабата. Слабые ударные волны. Распространение ударной волны по трубе. Ширина ударных волн. Солитонная структура фронта ударной волны. Неустойчивость ударных волн. Слабые разрывы. Косая ударная волна.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантование динамических систем и кинетические уравнения**

#### **Цель дисциплины:**

дать студентам основы знаний в области математического формализма квантовой статистической механики.

#### **Задачи дисциплины:**

освоить формализм квантования, изучить математические основы квантовой кинетической теории, уметь выводить и анализировать квантовые и классические кинетические уравнения.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

линейное квантование, квантовое уравнение Лиувилля, цепочка Боголюбова, функция Вигнера, уравнение Мойала

##### **уметь:**

работать с квантовыми статистическими операторами

##### **владеть:**

базовыми понятиями теории линейного квантования и квантовой статистической механики.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Динамические системы.

Уравнение Лиувилля и динамически-инвариантная мера.

Определение сингулярного множества динамической системы.

2. Вырожденные лагранжианы.

Примеры вырожденных динамических систем.

Принцип продолжения траектории на основе непрерывности первых интегралов.

3. Релятивистские модели взаимодействующих частиц.

Динамически-инвариантная мера в теории т.н. «прямых взаимодействий» релятивистских частиц. Лагранжианы Дарвина и Фока-Фихтенгольца-Инфельда.

4. Лагранжианы с высшими производными.

Лагранжианы, зависящие от высших производных.

Модель динамики с ограниченным ускорением.

5. Цепочка Боголюбова. Функциональная гипотеза и уравнения эволюции моментов.

Функция распределения в статистической механике. Цепочка Боголюбова.

Уравнения эволюции моментов функции распределения. Функциональная гипотеза Боголюбова. Уравнения первого приближения.

6. Расцепление цепочки Боголюбова и кинетические уравнения.

Методы расцепления уравнений Боголюбова. Кинетические уравнения Больцмана и Власова.

7. Линейное квантование динамических систем.

Квантования Вейля, Йордана, Борна. Общий подход к симметризации оператора Гамильтона.

8. Квантовая цепочка Боголюбова. Квантование в окрестности динамической сингулярности.

Уравнение Шредингера и квантовое уравнение Лиувилля.

Матрица плотности. Квантовая цепочка Боголюбова.

Примеры квантования гамильтониана в окрестности динамической сингулярности.

9. Вторичное квантование.

Вторичное квантование. Символы векторов и операторов.

10. Модельные гамильтонианы квантовой оптики.

Модельные гамильтонианы квантовой оптики.

Представление когерентных состояний для нестандартных коммутационных соотношений.

11. Асимптотика спектра гамильтонианов комбинационного рассеяния.

Асимптотические оценки спектров гамильтонианов комбинационного рассеяния.

12. Системы ортогональных полиномов в задачах квантовой оптики. Функция Вигнера.

Системы ортогональных полиномов в задачах квантовой оптики.

Функция Вигнера в квантовой статистической механике.

13. Уравнение Мойала. Стационарные решения.

Уравнение эволюции функции Вигнера и его зависимость от правила квантования динамических систем.

14. Формулы Фейнмана и теорема Чернова.

Формулы Фейнмана и теорема Чернова. Итерационное построение решения уравнения Шредингера.

15. Усреднение квантовых полугрупп. Случайные блуждания в пространстве когерентных состояний.

Усреднение квантовых полугрупп. Эквивалентность по Чернову. Построение равновесных распределений для линейных квантований. Гармонический осциллятор.

Случайные блуждания в пространстве когерентных состояний. Эквивалентные по Чернову операторы сдвига.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовая гравитация и космология**

#### **Цель дисциплины:**

Ознакомление с основными подходами и методами квантования гравитации и их применениями в квантовой космологии.

#### **Задачи дисциплины:**

Познакомить студентов с основными понятиями и идеями квантовой гравитации и их места в современной космологии, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что, прослушав этот курс, студенты смогут использовать методы и подходы этой области в своей научно-исследовательской работе.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия по теме дисциплины.

##### **уметь:**

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### **владеть:**

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Методы вычисления квантового эффективного действия.

Фейнмановская диаграммная техника, метод ядра теплопроводности в искривленном пространстве-времени, ультрафиолетовые расходимости, аномалии, градиентное разложение в формализме фонового поля, элементы ренормгруппы.

2. Перенормировки в квантовой теории поля.

Контрчлены, перенормировка эффективного действия в калибровочных теориях, BRST структура перенормировок.

### 3. Основы космологии и теория космологических возмущений.

Основы космологии ранней и современной Вселенной, теория космологической инфляции, проблема темной энергии, инфляционные спектры микроволнового космологического фона.

### 4. Модифицированные модели гравитации.

Теория гравитации с высшими производными, унимодулярная гравитация, гравитация Хоравы-Лифшица.

### 5. Элементы квантовой космологии.

Уравнение Уилера-ДеВитта, теория квантовых начальных данных для ранней Вселенной, волновая функция Вселенной Хартла-Хокинга, туннелирующая волновая функция, матрица плотности Вселенной.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовая информатика**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний в области квантовых вычислений и квантовой теории информации.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области квантовых вычислений и квантовой теории информации, изучение применения квантовых схем для решение задачи факторизации, задач безопасной передачи информации по квантовым каналам и разработки алгоритмов для квантовых компьютеров;
- изучение перепутанных состояний, парадокса ЭПР, неравенства Белла и трехчастичных перепутанных состояний;
- ознакомление с физическими реализациями кубитов и примерами квантовых вычислений. Ознакомление с однофотонными линиями в квантовых коммуникационных системах;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области квантовых вычислений и квантовой теории информации в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основы теории информации, основные методы преобразования кубитов, основные квантовые алгоритмы (квантовые цепочки), принцип локальности, неравенства Белла, основные протоколы передачи квантовой информации с помощью однофотонных линий.

##### **уметь:**

- формировать квантовые цепочки, решать теоретические задачи в рамках курса, находить аналогии в широком кругу квантовых систем, позволяющие реализовывать новые алгоритмы.

## **владеть:**

- методами расчета квантовых цепочек и преобразования волновых функций, основными методами квантовой логики, методами коррекции ошибок, методами описания интерференционных и перепутанных состояний.

## **Темы и разделы курса:**

### 1. Введение, понятие информации, бита, кубита.

Становление теории квантовой информации и квантовых вычислений. Классическая и квантовая физика. Суперпозиционные и перепутанные состояния. От бита к кубиту. Пространство состояний. Перемешивание состояний, селекция состояний и операции над ними. Уравнение движения. Измерения в классической физике. Проективное измерение. Непроективное измерение. Составные системы. Коллективные системы.

### 2. Основы теории информации.

Классическая теория информации Необходимые сведения из термодинамики и статистической физики. Информационная энтропия Шеннона, ее математические свойства. Связь между энтропией и информацией (демон Максвелла). Информационные сообщения. Сжатие данных. Условная энтропия и взаимная информация. Канал связи и его информационная емкость. Теорема Шеннона для канала связи без шумов. Оптимальное кодирование информации. Криптография и теория информации. Обратимые логические операции.

### 3. Однокубитные операции.

Операции с одним кубитом Однокубитные операции: логические, деполяризация, реполяризация, отражение. Подготовка и определение состояния кубита: подготовка известного состояния и перемешивание, определение ансамбля неизвестного состояния, определение одного состояния (не клонирование), надежность (fidelity) двух состояний, примерное определение состояния и клонирование. Неразличимость двух неортогональных состояний: неразличимость при проективном и непроективном измерениях.

### 4. Теорема о запрете клонирования.

Теорема о запрете клонирования. Суперпозиция состояний. Параллелизм квантовых алгоритмов. Задача Дойча. Пример отличия операций классического и квантового вычислений. Возможность проекции на различные базисы.

### 5. Алгоритм коррекции ошибок.

Коррекция ошибок при квантовых вычислениях. Эффекты декогерентности квантовых состояний и влияния окружающей среды. Модели ошибок при квантовых вычислениях. Отличия методов исправления ошибок при квантовых вычислениях от классических. Коды, исправляющие ошибки. Предельный уровень исправляемых ошибок при квантовых вычислениях.

### 6. Операции над несколькими кубитами.

Двухсоставные квантовые системы: декомпозиция Шмидта, очистка состояния, измерение степени перепутанности, перепутанность и локальные операции, перепутанность чистых

состояний двух кубитов. Гейты. Гейт C-NOT. Применения квантовых корреляций: сверхплотное кодирование. Квантовая телепортация Копирование и передача квантовых состояний. Протокол квантовой телепортации. Обзор экспериментальных результатов по телепортации.

#### 7. Квантовое Фурье-преобразование и алгоритм Шора.

Квантовое Фурье-преобразование. Задача поиска фазы. Задача факторизации. Поиск периода. Факторизация составного числа с использованием квантового алгоритма. Вероятностные вычисления.

#### 8. Физическая реализация кубитов.

Фотоны в резонаторах. Ионные системы. Сверхпроводящие цепи. ЯМР-ячейки. Поляризационные состояния фотона. Квантовые компьютеры (КК) на ионах, захваченных в ловушку. Пример реализации. КК на основе эффекта ядерного магнитного резонанса (ЯМР). КК на фотонах. Пример реализации.

#### 9. Перепутанные состояния.

Перепутанные состояния. Об истории квантовых корреляций: парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена (EPR), нелокальность Эйнштейна. Неравенства Белла. Трехчастичные перепутанные состояния ГХЦ. Подготовка, реализация.

#### 10. Основы квантовой криптографии.

Квантовая криптография Поляризация -- скрытая квантовая переменная. Использование поляризации фотонов для кодирования/декодирования сообщений. Идея квантовой криптографии. Квантовое распределение ключа (КРК), схема протокола КРК. Протокол BB84 КРК. Сырой и просеянный ключ. Пример реализации протокола квантовой криптографии. Коррекция ошибок. Проблема подслушивания. Критерии стойкости протоколов квантовой криптографии.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовая криптография**

#### **Цель дисциплины:**

дать студентам знания об основных методах доказательства стойкости протоколов квантовой криптографии. Эти знания охватывают постановку задачи секретной передачи данных, введение критериев секретности протоколов квантового распределения ключей, изучение наиболее «чистого» протокола ЭПР-состояний и сведение к нему ряда других протоколов. Даются представления об обеспечении независимости протоколов квантовой криптографии от использования аппаратуры и квантовых аналогов ряда энтропий Реньи, которые участвуют в оценке стойкости схем квантовой криптографии.

#### **Задачи дисциплины:**

- овладение математическим аппаратом классической криптографии;
- исследование методов обоснования стойкости протоколов квантовой криптографии;
- изучение квантовых аналогов энтропий Реньи;
- изучение независимых от аппаратуры схем квантовой криптографии.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- математические принципы классической криптографии;
- семейство энтропий Реньи в классическом и квантовом случае, их свойства;
- методы сведения обоснования стойкости протоколов квантовой криптографии к стойкости протокола ЭПР;
- методы обоснования стойкости схем квантовой криптографии в условиях влияния перехватчика на оборудование;
- основы квантовых кодов исправления ошибок.

##### **уметь:**

- ставить задачи обеспечения секретности для ряда протоколов квантовой криптографии;
- обосновывать секретность некоторых протоколов квантовой криптографии;

-строить простые схемы для обеспечения стойкости протоколов квантовой криптографии в условиях недоверия к оборудованию.

**владеть:**

-математическим аппаратом классической криптографии;

-математическим аппаратом энтропий одночастичных и составных квантовых состояний;

-методами обеспечения стойкости протоколов для независимости от оборудования.

**Темы и разделы курса:**

1. Обзорное занятие

План курса, основные современные проблемы квантовой криптографии

2. Протокол ЭПР квантового распределения ключей (протокол Экерта)

Неравенства Белла, CHSH-игра. Протоколы Экерта и BBM92, сведение протокола BB84 к распределению сцепленных состояний

3. Условная квантовая энтропия и её роль в обосновании стойкости

Условная энтропия, роль её отрицательных значений для сцепленных состояний. Обоснование отсутствия информации перехватчика при наличии сцепленного состояния у легитимных пользователей.

4. Квантовые коды исправления ошибок, стойкость протокола BB84, доказательство Шора-Прескилла

Классические линейные коды коррекции ошибок, синдромное декодирование. Квантовые коды коррекции ошибок и их применение для увеличения сцепленности между удаленными пользователями. CSS-коды. Этапы сведения протокола BB84 к измерению сцепленных состояний: протокол Ло-Чу, протокол CSS-кодов.

5. Построение схем квантовой криптографии, независимых от аппаратуры

Понятие независимой от аппаратуры квантовой криптографии (MDI QKD, DI QKD), использование эффекта Хонга-О-Манделя для распределения ключей.

6. Семейство квантовых энтропий Реньи

Относительная энтропия, её свойства. Квантовая относительная энтропия. Энтропия Реньи и её применение в квантовой криптографии

7. Обоснование стойкости протоколов квантовой криптографии через энтропийные соотношения неопределенностей

Энтропийные соотношения неопределенностей и их использование в квантовой криптографии. Связь с традиционными соотношениями неопределенностей. Обоснование стойкости протокола BB84.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовая мезоскопика. Квантовый эффект Холла**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами новейших знаний по квантовой механике, не входящих в стандартные курсы физических факультетов, и которые в дальнейшем будут использоваться в теоретических и экспериментальных исследованиях.

#### **Задачи дисциплины:**

Познакомить студентов с современными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и лучше понимать текущую научную периодику в этой области.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия по теме дисциплины.

##### **уметь:**

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### **владеть:**

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Часть I. Элементарное описание ЦКЭХ. Введение

- 1) Элементарная теория ЦКЭХ.
- 2) Экспериментальное наблюдение квантования холловской проводимости.
- 3) Двумерный газ в кремниевом МОП-транзисторе и инверсионных слоях.



- 4) Холловская проводимость электронного газа. Классическое рассмотрение.
- 5) Краевые состояния и калибровочный аргумент Лафлина.
- 6) Электростатика краевых состояний.

## 2. Двумерный электронный газ с одной примесью в магнитном поле

- 1) Примесные состояния.
- 2) Влияние одной примеси на холловский ток.

## 3. ЦКЭХ в плавном случайном потенциале

- 1) Классическая перколяция в плавном потенциале.
- 2) Учет квантового туннелирования.
- 3) Модель Чалкера-Коддингтона.

## 4. ЦКЭХ в $\delta$ -коррелированном случайном потенциале

- 1) Хвосты плотности состояний.
- 2) Холловский изолятор.
- 3) Прыжковая проводимость на плато.

## 5. Часть II. Теоретико-полевое описание ЦКЭХ

Репличная нелинейная  $\sigma$ -модель с топологическим членом для двумерного электронного газа с  $\delta$ -коррелированным случайным потенциалом в магнитном поле.

## 6. Инстантоны в нелинейной $\sigma$ -модели с топологическим членом

- 1) Разделение объема и края. Топологический заряд
- 2) Эффективное действие для края
- 3) Инстантоны
- 4) Вклад инстантонов в статистическую сумму
- 5) Делокализованное состояние при  $\sigma_{xy} = k+1/2$
- 5.1) Формулы Кубо для  $\sigma_{xx}$  и  $\sigma_{xy}$
- 5.2) Зависимость  $\sigma_{xx}$  и  $\sigma_{xy}$  от размера образца при нулевой температуре
- 5.3) Делокализованное состояние при  $\sigma_{xy} = k+1/2$
- 6) Левитация делокализованных состояний и квантово-холловские осцилляции

## 7. Мультифрактальность в ЦКЭХ

- 1) Определение, общие свойства, результаты численного моделирования.
- 2) Мультифрактальность в нелинейной  $\sigma$ -модели

## 8. Непрерывный предел модели Чалкера-Коддингтона

Вывод нелинейной  $\sigma$ -модели.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовая метрология и квантовые сенсоры**

#### **Цель дисциплины:**

Дать студентам знания о современной квантовой метрологии и устройстве квантовых сенсоров.

Дать углубленные знания квантовой теории измерений, позволяющие разрабатывать новые методы сверхточных измерений.

#### **Задачи дисциплины:**

- углубленное изучение теории измерений.
- изучение теоретических пределов повышения точности измерений.
- изучение современных способов повышения точности измерений, основанных на квантовых эффектах.
- изучение вариантов реализации квантовых сенсоров с помощью различных физических систем, в том числе с помощью кубитов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- принципы и главные результаты теории измерений
- основные принципы квантовой метрологии
- основные квантовые алгоритмы оценки фазы
- основные варианты реализации квантовых сенсоров

##### **уметь:**

- описывать процесс измерения квантовыми детекторами
- выбирать подходящие способы измерений исходя из постановки задачи
- строить теорию измерения для конкретных величин применительно к конкретным условиям эксперимента

**владеть:**

- методами описания процесса измерения в любых физических системах
- методами разработки квантовых сенсоров
- методами анализа результатов измерений в сложных системах

**Темы и разделы курса:**

1. Введение. Статистическое описание процесса измерения. Вывод стандартного квантового предела.

Дается общее понятие о процессе измерения как о случайном процессе. На примере измерения проекции спина  $1/2$  выводится формула для величины среднеквадратичного отклонения поляризации спина.

2. Общий обзор теории измерений в квантовой механике.

Приводится эвристический метод вывода правила Борна. С помощью описания отложенных квантовых измерений выводится постулат фон Неймана о повторных измерениях. Излагается общая теория POVM измерений.

3. Квантовые алгоритмы оценки фазы.

Излагается квантовый и полуклассические алгоритмы оценки фазы на основе преобразования Фурье. Излагаются алгоритмы Китаева и гибридные алгоритмы на основе Байесовской теории.

4. Физическая реализация квантовых сенсоров.

Дается обзор существующих квантовых сенсоров. Особое внимание уделяется квантовым сенсорам магнитного поля на основе сверхпроводящих кубитов типа «трансмон», рассмотрен также кутритный вариант сенсора. Описаны оптические сенсоры на основе когерентного лазерного излучения.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовая молекулярная динамика**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение основных методов и теоретических основ современной квантовой молекулярной динамики с акцентом на исследования неадиабатической динамики и на анализе оптических свойств вещества.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами базовых знаний в области квантового молекулярного моделирования;
- приобретение теоретических знаний в области теории функционала плотности и ее специальных разделов;
- изучение различных пакетов квантового молекулярного моделирования;
- обучение студентов подбору и настройке современных программных пакетов для квантового моделирования.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Основы теории функционала плотности и метода квантовой молекулярной динамики в адиабатическом приближении и неадиабатическом приближении. Методы расчет возбужденных состояний в материалах. Методы расчета оптических свойств в рамках ТФП. Метод функций Ванье локализации электронных орбиталей.

##### **уметь:**

Проводить расчеты уравнения состояния и оптических свойств в рамках ТФП. Проводить расчеты возбужденных состояний системы. Проводить расчеты методами неадиабатической динамики. Проводить локализацию электронных орбиталей. Проводить моделирование термодинамических свойств с использованием метода молекулярной динамики на интегралах по траекториям.

##### **владеть:**

пакетов для расчетов методом ТФП (VASP, Quantum Espresso, CPMD).

## **Темы и разделы курса:**

### **1. Обзор численных решений уравнения Шредингера**

Будет сделан обзор следующих методов и их применимости: аналитический метод, метод возмущений, метод Хартри-Фока. Так же будет проведено введение в теорию функционала плотности, функции Грина. Студенты попробуют запустить простейшие пакеты квантовых расчетов.

### **2. Метод адиабатической молекулярной динамики DFT**

Будет рассмотрена Борн-Оппенгеймерская молекулярная динамика. Молекулярная динамика Кара-Паринелло. Рассмотрены приближения и область применимости этих методов.

### **3. Расчеты в основном состоянии ТФП**

Введение в теорию функционала плотности. Влияния базисов, приближения обменно-корреляционного функционала. Плотность электронных состояний. Будут рассмотрены наиболее популярные пакеты расчетов в рамках теории функционала плотности.

### **4. Расчеты методами конечно-температурной ТФП**

Рассмотрен метод теории функционала плотности в формулировке конечных температур. Рассмотрены приближения, которые необходимы в этой теории, а также границы ее применимости. Обсуждается вопрос описания электронных переходов в рамках этих подходов.

### **5. Расчет оптических свойств в рамках ТФП**

Будут рассмотрены различные методы расчета диэлектрической проницаемости в приближении теории линейного отклика в длинноволновом пределе в рамках ТФП. Расчет с использованием формул для продольного и поперечного тензоров ДП. Учет эффектов локального поля. Также будут рассмотрены различные приближения для учета обменно-корреляционного взаимодействия: от приближения невзаимодействующих электронов до метода гриновских функций (GW)

### **6. Учет возбужденных состояний в рамках ТФП: ROKS**

Рассматривается модель перехода электрона в возбужденное состояние с различными вариантами расположения спинов. Строится теория описания первого возбужденного состояния электрона и сравнивается с допущениями конечно-температурной теории. Проводится расчет водорода в рамках метода ROKS и рассматриваются различные варианты перехода (синглетное, триплетное), проводится анализ молекулярных орбиталей.

### **7. Учет возбужденных состояний в рамках время зависящей ТФП: TD DFT**

Рассматриваются основы TDDFT. Изучение влияния учета экситонных состояний на оптические свойства вещества при различных условиях в рамках теории функционала плотности с зависимостью от времени на основе решений уравнений Бете-Солпитера. Обзор программных пакетов для TD DFT.

#### 8. Метод неадиабатической молекулярной динамики ТФП: Метод среднего поля

Рассматривается неадиабатическая динамика квантовой системы методом среднего поля (методом Эренфеста). Исследуется применимость метода в моделях химических реакций.

#### 9. Метод неадиабатической молекулярной динамики ТФП: Surface Hopping

Рассматривается неадиабатическая динамика квантовой системы с возможностью перескоков электронов между основным и возбужденным состоянием. Применение ROKS, ограничение на количество возбужденных состояний, границы применимости.

#### 10. Метод неадиабатической молекулярной динамики в рамках волновых пакетов: WPMD (eFF)

Рассматриваются основы полуклассического приближения квантовой теории. Метод волновых пакетов и различные варианты представления электронов. В качестве одной из реализаций метода волновых пакетов рассматривается метод electron Force Field.

#### 11. Метод молекулярной динамики на интегралах по траекториям в рамках ТФП. Энергия Нулевых колебаний

Изучение влияния нулевых колебаний на уравнение состояния и структурные свойства применительно к системам, содержащим водород.

#### 12. Максимально локализованные орбитали Ванье

Рассматривается метод максимально локализованных орбиталей Ванье, широко применяемых при расчетах периодических структур. Изучаются критерии применимости метода и случаи, в которых такие орбитали могут расширить информацию о системе.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовая оптика**

#### **Цель дисциплины:**

– дать студентам базовые знания в области квантовой оптики – важнейшем разделе современной оптики. Курс ориентирован в основном на подготовку физиков-экспериментаторов, которые используют лазерное излучение и выполняют измерения высокой чувствительности.

#### **Задачи дисциплины:**

– ознакомить студентов с основными приемами квантовых измерений в оптике и основными проявлениями квантовых свойств излучения. При этом слушатели получают необходимые сведения для проведения собственных оценок и расчетов квантовых эффектов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- перечень и свойства основных квантовых состояний света, применяемых в качестве моделей при описании лазерного излучения;
- правила и способы расчета квантовых состояний излучения при его преобразовании элементами нелинейной оптики;
- основные методы фотоприема.

##### **уметь:**

- рассчитывать квантовые шумы фотоприема в сравнении с другими шумами фотоприемных устройств;
- выбирать эффективные пути расчетов квантовых эффектов в рамках шредингеровского, либо гайзенберговского описаний;
- анализировать опыты с одиночными фотонами.

##### **владеть:**

- методами оценок и количественного анализа квантовых явлений в оптических установках и приборах;

- приемами расчета квантовой динамики световых пучков в простейших случаях линейного взаимодействия света со средами.

### **Темы и разделы курса:**

1. Особенности квантовой оптики как раздела квантовой физики.

Квантовая оптика как раздел квантовой физики. Основные понятия: наблюдаемые величины и состояния объектов.

2. Методы фотоприема и квантовый шум фотодетекторов.

Квантовые и другие шумы в процессе фотоприема излучения.

Методы фотоприема излучения: прямой фотоприем, гетеродинамирование и гомодинамирование.

3. Основные квантовые состояния света.

N-фотонные состояния света.

Когерентные состояния света.

Тепловое состояние света. Матрица плотности излучения.

Сжатые состояния света.

4. Преобразование квантовых состояний света элементами линейной оптики.

Преобразование состояния света при светоделении. Картина Гейзенберга.

Преобразование состояния света при светоделении. Картина Шредингера.

Статистика фотоотсчетов.

5. Источники неклассических состояний света.

Параметрический процесс как метод генерации сжатого света.

Примеры квантового описания нелинейно-оптических явлений: генерация второй гармоники, генерация субпуассоновского света.

6. Особые методы измерений в квантовой оптике.

Квазивероятность в квантовой оптике.



Томография квантовых состояний света.

Неразрушающие квантовые измерения.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовая теория излучения и квантовая оптика**

#### **Цель дисциплины:**

Цель курса заключается в том, чтобы дать студентам знания об основных понятиях и эффектах квантовой электродинамики и квантовой оптики. По окончании учебного курса студенты должны знать основные понятия и методы квантовой теории излучения и квантовой оптики. Целью дисциплины “Квантовая теория излучения и квантовая оптика” является изучение физических основ, математического аппарата квантовой электродинамики и квантовой оптики и теории основных явлений взаимодействия излучения с веществом. Важность данного курса продиктована необходимостью в подготовке для высшей школы, научных учреждений и промышленности высококвалифицированных специалистов в области современной оптики и спектроскопии.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами базовых знаний в области квантовой теории излучения и квантовой оптики;
- приобретение основных теоретических знаний в области спектроскопии и оптики;
- оказание консультаций и помощи студентам в решении конкретных теоретических задач в области спектроскопии и нанооптики;
- приобретение навыков самостоятельной работы в области спектроскопии и квантовой оптики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- базовые концепции и методы квантовой электродинамики, квантовой оптики и физики оптических явлений;
- современные проблемы и актуальные темы в области квантовой электродинамики, квантовой оптики и физики оптических явлений;
- основы физики взаимодействия электромагнитного излучения с веществом, имеющие общефизическое значение и применяемые в различных физических дисциплинах;
- теорию основных оптических эффектов;

**уметь:**

- правильно выбирать подходящие физические модели для решения исследовательских и прикладных задач в области квантовой оптики и нанооптики;
- проводить на основе выбранных моделей аналитические и численные расчеты;
- анализировать экспериментальные данные в области квантовой оптики;
- интерпретировать спектры отражения, прохождения, и комбинационного рассеяния света;
- производить расчёт различных оптических эффектов;
- критически оценивать применимость применяемых методик и методов

**владеть:**

- навыками работы с современной научной литературой по тематике квантовая теория излучения и квантовая оптика;
- методами решения по тематике квантовая теория излучения и квантовая оптика;
- теоретическими основами оценок эффектов взаимодействия излучения с веществом.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Классическая теория излучения

Излучение и поглощение света. Радиационное затухание. Ширина линии. Трудности классической теории излучения.

Гамильтонова форма классической теории излучения.

## 2. Первый этап развития квантовой теории света

Термодинамика равновесного излучения. Формула Планка. Работы Эйнштейна по квантовой теории излучения. Энтропия поля и гипотеза о фотонах. Корпускулярные свойства света. Флуктуации электромагнитного поля. Статистика фотонов. Феноменологическая теория испускания и поглощения света. Корпускулярно-волновой дуализм. Парадоксы Эйнштейна. Непротиворечивость квантовой механики и необходимость квантования электромагнитного поля.

## 3. Квантовая теория свободного электромагнитного поля

Основные постулаты квантовой теории. Принцип соответствия Бора. Квантование свободного электромагнитного поля. Представление чисел заполнения. Операторы рождения и уничтожения фотонов. Коммутационные соотношения для числа фотонов и напряженностей поля. Нулевые колебания электромагнитного поля.

## 4. Фазы квантованного поля

Измерение фазы. Проблема оператора фазы. Неадекватность подхода с использованием фазы и числа частиц как сопряженных переменных. “Тригонометрические” операторы фазы. Оператор фазы Пегга-Барнетта. Соотношение неопределенностей фаза-число фотонов и его физическая иллюстрация.

#### 5. Различные квантовые состояния электромагнитного поля

Свойства когерентных состояний. Сжатые состояния.

#### 6. Соотношение неопределенностей для компонент напряженности электромагнитного поля

Работа Ландау и Пайерлса и дискуссия о локальном описании квантованного поля. Анализ измерения напряженностей поля и соотношения неопределенностей для компонент напряженности электромагнитного поля в работах Бора и Розенфельда.

#### 7. Свойства фотонов

Момент. Четность. Поляризация. Частичная поляризация. Параметры Стокса.

#### 8. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена

Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена. Квантовая телепортация

#### 9. Релятивистская квантовая теория электронов

Уравнение Дирака и его свойства. Спин. Решения уравнения Дирака для свободной частицы. Состояния с отрицательной энергией. Шредингеровское “дрожание” электрона. Парадокс Клейна. Переход к нерелятивистскому пределу. Физический смысл релятивистских поправок (спин-орбитальное взаимодействие, поправка Томаса и т.п.). Решение уравнения Дирака для водородоподобного иона.

#### 10. Вторичное квантование

Неустойчивость и перестройка вакуума при заряде ядра, большем критического. Электрон-позитронный вакуум (теория Дирака). Рождение пар в сильных полях. Вторичное квантование.

#### 11. Квантовая теория взаимодействия излучения с веществом

Взаимодействие излучения с веществом. Теория возмущений. Диаграммы Фейнмана.

Испускание и поглощение фотонов. Спонтанные и индуцированные процессы.

Естественная ширина спектральных линий (полуфеноменологический подход). Резонансная флуоресценция.

Рассеяние света. Комбинационное рассеяние. Резонансное комбинационное рассеяние.

Оптические свойства бозе-конденсата атомов в ловушках. Уравнение Брейта.

#### 12. Вакуумные флуктуации электромагнитного поля и электрон-позитронных пар

Лэмбовский сдвиг. Теория и эксперимент. Радиационное затухание. Расходимости в квантовой электродинамике и процедура их устранения. Перенормировка массы и заряда.

### 13. Квантовая электродинамика в микрополости

Подавление и усиление спонтанного излучения и других процессов. Одноатомный мазер. Управление лэмбовским сдвигом в микрополости. Проблема приготовления заданного состояния электромагнитного поля в резонаторе.

Эффект Казимира. Динамический эффект Казимира и его возможные физические реализации. Динамический эффект Лэмба.

### 14. Проявление слабого взаимодействия в оптике

Основы единой теории электромагнитного и слабого взаимодействия. Слабое взаимодействие и оптическое проявление несохранения четности в атомах и молекулах. Несохранение четности и анапольные (тороидальные) моменты.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовая теория калибровочных полей**

#### **Цель дисциплины:**

- получение студентами прочных знаний в области современной физики элементарных частиц, освоение ими квантовой теории калибровочных полей, являющейся основным математическим аппаратом описания всех фундаментальных взаимодействий в микромире, а также приобретение базовых навыков самостоятельной научно-исследовательской работы.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области теоретической физики элементарных частиц;
- обучение студентов современным методам теоретического описания различных процессов фундаментальных взаимодействий и навыкам решения сопутствующих задач;
- формирование у студентов профессиональных навыков, необходимых им при проведении исследований в области теоретической физики в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- фундаментальные взаимодействия в микромире;
- принцип локальной калибровочной инвариантности;
- правила построения калибровочно-инвариантных лагранжианов;
- теоретико-групповое и геометрическое описание классических калибровочных полей;
- особенности классической динамики калибровочных полей (вторая теорема Нетер);
- обобщенную гамильтонову динамику систем со связями;
- методы квантования систем со связями;
- правила квантования калибровочных теорий методом функционального интегрирования;

- геометрическую интерпретацию детерминанта Фаддеева-Попова;
- тождества Славнова-Тейлора и их роль в доказательстве перенормируемости калибровочных теорий;
- эффект Хиггса и доказательство перенормируемости спонтанно нарушенной неабелевой калибровочной теории.

**уметь:**

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной теоретической физики элементарных частиц.

**владеть:**

- техникой построения лагранжиана калибровочной теории по заданной калибровочной группе;
- правилами выбора калибровочных условий;
- методом функционального интегрирования в квантовой теории поля (в лагранжевом и гамильтоновом формализмах, по бозонным и грассмановым переменным);
- техникой построения эффективного квантового лагранжиана для заданной калибровочной группы и выбранной калибровки;
- методом введения духовых переменных в квантовую теорию неабелевых калибровочных полей;
- методом построения правил Фейнмана для калибровочной теории, заданной калибровочной группой, калибровочным условием и набором полей «материи»;
- техникой перехода от одной калибровки к другой при квантовании калибровочных теорий;
- методами описания топологически нетривиальных полевых конфигураций типа монополей 'т Хоффа-Полякова.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение. Фундаментальные взаимодействия в микромире, их группы симметрии и квантово-полевой формализм.

Базовые элементы Стандартной модели: поколения, фундаментальные фермионы (лептоны и кварки) и калибровочные бозоны – переносчики фундаментальных взаимодействий (электрослабого и сильного), бозон Хиггса. Калибровочные симметрии, лежащие в основе Стандартной модели. Квантовая теория поля и элементарные частицы. Идеи струнного подхода к объединению всех взаимодействий, включая гравитацию.

2. Глобальные и локальные симметрии. Принцип локальной калибровочной инвариантности и его следствия.

Роль симметрий в теоретической физике и, в частности, в теории фундаментальных взаимодействий. Глобальные и локальные симметрии и их следствия (законы сохранения и фиксирование лагранжиана взаимодействия). Локальная калибровочная инвариантность – основа всех теорий фундаментальных взаимодействий.

3. Элементы теории групп Ли (геометрические аспекты). Лагранжиан неабелевой калибровочной теории.

Группы Ли как гладкие многообразия. Определение группы Ли по структуре касательного пространства к единичному элементу группы (по ее алгебре Ли). Алгебра Ли – действительное линейное пространство с метрикой Киллинга. Основные факты, касающиеся компактных (в частности, унитарных) групп. Построение на групповой основе лагранжиана неабелевой калибровочной теории.

4. Особенности классической динамики калибровочных полей. Вторая теорема Нетер и ее следствия.

Следствия локальной калибровочной симметрии для уравнений Эйлера в калибровочных теориях и законах сохранения; связи в конфигурационном и фазовом пространствах и особенности формулировки задачи Коши. Вторая теорема Нетер.

5. Обобщенная гамильтонова динамика систем со связями. Скобки Дирака.

Гамильтоново описание систем с сингулярными лагранжианами. Обобщенные уравнения Гамильтона, связи первого и второго рода. Скобки Дирака как обобщение скобок Пуассона на системы со связями. Связи и локальные симметрии.

6. Операторное квантование систем со связями первого и второго рода.

Каноническое квантование систем со связями первого и второго рода переходом к редуцированному фазовому пространству (разрешение связей). Учет связей первого рода в квантовой теории по Дираку.

Функциональный интеграл в квантовой механике и в квантовой теории поля. Лагранжевы и гамильтоновы формализмы. Интегрирование по бозонным и фермионовым переменным.

Фейнмановское интегрирование по всем путям в квантовой механике в конфигурационном и фазовом пространствах. Представление производящего функционала для функций Грина в КТП в виде интеграла по всем полям в лагранжевых и гамильтоновых переменных. Интегрирование по коммутирующим и антикоммутирующим переменным. Статус функционального интеграла в КТП.

7. Квантование систем со связями методом функционального интегрирования.

Квантование независимых динамических переменных (редуцированное фазовое пространство) методом функционального интегрирования. Распространение функционального интегрирования на все исходное фазовое пространство. Детерминант Фаддеева-Попова.



8. Гамильтоново описание неабелевых калибровочных теорий. Связи в фазовом пространстве.

Канонический гамильтониан и генерирование связей в фазовом пространстве. Закон Гаусса. Инволютивность связей в калибровочных теориях.

9. Выбор калибровки. Неоднозначности Грибова.

Требования, накладываемые на калибровочные условия. Кулоновская калибровка. Граничные условия на калибровочные преобразования, накладываемые на пространственной бесконечности, и однозначность решения соответствующих дифференциальных уравнений.

10. Квантование неабелевой калибровочной теории методом функционального интегрирования. Переход от кулоновской калибровки к лоренцевской в функциональном интеграле.

Функциональный интеграл для производящего функционала в кулоновской (унитарной) калибровке. Переход к ковариантной калибровке. Прием Фаддеева-Попова (представление единицы в виде интеграла по калибровочной группе).

11. Детерминант Фаддеева-Попова и поля духов. Геометрическая интерпретация детерминанта Фаддеева-Попова.

Геометрическая интерпретация детерминанта Фаддеева-Попова. Скобки Лагранжа. “Эвристическое” построение функционального интеграла в лагранжевом формализме.

12. Правила Фейнмана в неабелевой теории поля в разных калибровках и для разных наборов полей материи.

Вывод правил Фейнмана для неабелевой калибровочной теории (кулоновская калибровка, калибровка Лоренца, аксиальная калибровка). Учет полей материи для разных мультиплетов.

13. Унитарность квантовой теории неабелевого калибровочного поля в разных калибровках. Функциональный интеграл в квантовой механике и в квантовой теории поля. Лагранжев и гамильтонов формализмы. Интегрирование по бозонным и фермионовым переменным.

Роль духовых полей в проблеме унитарности (конкретные примеры расчетов в низших порядках теории возмущений). Унитарные калибровки. Доказательство унитарности в общем случае (без использования теории возмущений).

Фейнмановское интегрирование по всем путям в квантовой механике в конфигурационном и фазовом пространствах. Представление производящего функционала для функций Грина в КТП в виде интеграла по всем полям в лагранжевых и гамильтоновых переменных. Интегрирование по коммутирующим и антикоммутирующим переменным. Статус функционального интеграла в КТП.

14. Тождества Славнова-Тейлора и их роль в доказательстве перенормируемости квантовой теории неабелевых калибровочных полей.

Перенормируемость квантовой теории калибровочного поля и калибровочная инвариантность на квантовом уровне. Доказательство тождеств Славнова-Тейлора (использование функционального интегрирования). Квантовые аномалии в калибровочных теориях.

15. Монополи в неабелевых теориях.

Монополи Дирака и Швингера в абелевой калибровочной теории. Монополи 'т Хоффа-Полякова в неабелевых моделях и их физические приложения.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовая теория неравновесных явлений**

#### **Цель дисциплины:**

формирование знаний и умений, необходимых для проведения теоретических исследований с использованием таких методов, как неравновесная диаграммная техника, техника Келдыша, квантовое кинетическое уравнение и др. в различных областях современной физики.

#### **Задачи дисциплины:**

- Формирование у обучающихся знаний о современных задачах, связанных с описанием поведения квантовых систем вдали от состояния равновесия
- Обучение студентов методам, используемым при описании различных квантовых неравновесных явлений
- Формирование умений и навыков применять полученные знания для решения задач при помощи неравновесной диаграммной техники, техники Келдыша и других подходов, рассматриваемых в данном курсе

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Основные подходы и проблемы возникающие при описания квантовых систем вдали от состояния равновесия;
- Основные понятия курса: матрица плотности, функции Грина, неравновесная диаграммная техника, квантовое кинетическое уравнение, функционал влияния, стохастическое дифференциальное уравнение, флуктуационно-диссипативная теорема, обобщенный Гиббсовский ансамбль;
- Смысл применяемых в курсе методов.

##### **уметь:**

- Применять обсуждаемые в рамках курса подходы к решению задач;
- Анализировать применимость описанных методов к описания тех или иных неравновесных явлений.

**владеть:**

- Теоретическим и понятийным аппаратом физики неравновесных систем.

**Темы и разделы курса:**

1. Метод функционального интегрирования для описания квантовых частиц, полей и ансамблей большого числа частиц

Функциональный интеграл для описания бозонных, фермионных и спиновых систем. Напоминание основных фактов.

2. Квантовая механика диссипативных систем

Пример частицы, взаимодействующая с окружением и модель Калдейры-Леггетта.

3. Функционал влияния Фейнмана-Вернона

Понятие о функционале влияния. Вывод соответствующего функционала для случая линейного диссипативного окружения.

4. Уравнение Ланжевена

Связь функционала влияния с описанием в терминах уравнения Ланжевена и иными подходами. Идеи стохастического квантования.

5. Квантовая теория поля на контуре Келдыша

Континуальный интеграл на контуре Келдыша. Сравнение in-in и in-out формализма.

6. Классические и квантовые компоненты полей

Келдышевский поворот для бозонных и фермионных полей. Связь с квазиклассическим разложением.

7. Связь операторного подхода и подхода континуального интегрирования

Связь различных подходов и возникающие при этом проблемы. Выбор регуляризации. Вывод кинетического уравнения.

8. Пример скалярной теории с кубическим взаимодействием

Структура взаимодействия, Вывод кинетического уравнения и времени релаксации.

9. Рождение частиц в сильных полях

Использование техники Келдыша для описания рождения частиц. Пример сильного электрического поля.

10. Рождение частиц в искривленном пространстве-времени

Рождение частиц в пространстве Де-Ситера.

11. Неравновесные состояния в реальных системах

Некоторые нерешенные проблемы описания неравновесных состояний в реальных системах.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовая физика низкоразмерных систем**

#### **Цель дисциплины:**

освоение студентами фундаментальных знаний в области квантовых электронных свойств систем пониженной размерности и наноструктур на их основе, фундаментальных эффектов проявляющихся в низкоразмерных системах, Нобелевских открытий XX и XXI века, лежащих в основе квантовой физики низкоразмерных систем, изучение способов создания нанoeлектронных устройств и методов их исследования, а также областей их практического применения.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области квантовой физики низкоразмерных (2d и 1d) систем как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности в области нанoeлектроники и спинтроники;
- понимание ключевых физических эффектов, открытий, экспериментов и теоретических результатов, лежащих в основе современного описания свойств низкоразмерных систем;
- ознакомление студентов с принципами создания устройств нанoeлектроники и спинтроники, их функционирования на основе квантовых эффектов, выявление особенностей их функциональных характеристик в сравнении с классическими микроэлектронными устройствами;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований в области свойств низкоразмерных квантовых материалов и структур в рамках выпускных работ на степень магистра, формирование базовых знаний и умений для дальнейших исследований в рамках выпускных квалификационных работ.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

1. Современные проблемы физики конденсированного состояния
2. Новейшие открытия в физике, в т.ч., в квантовой физике твердого тела
3. О взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук

4. Теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния
5. Принципы симметрии, топологии, и законы сохранения
6. Основные методы создания наноструктур и наноматериалов, требуемые для исследований в низкотемпературных экспериментах.
7. Основные методы создания и принципы функционирования устройств нанoeлектроники и спинтроники.
8. Научные задачи, над которыми работают в базовых лабораториях образовательной программы.
9. Технику безопасности и правила работы в низкотемпературных физических экспериментах и в экспериментах с сильными магнитными полями.

**уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические знания: понятия, результаты, гипотезы, законы;
- представлять панораму универсальных методов и законов современной квантовой физики низкоразмерных систем;
- абстрагироваться от несущественных факторов при моделировании реальных физических процессов и явлений;
- делать численные оценки масштаба ожидаемых эффектов;
- планировать оптимальное проведение экспериментов для решения поставленных задач.

**владеть:**

- Теоретическими основами экспериментальных методов проведения измерений в области квантовой физики низкоразмерных систем с использованием транспортных, туннельных, термодинамических, ВЧ, оптических и резонансных методов.
- Информацией о современном состоянии исследований в области квантовой физики твердого тела.
- Теоретическими моделями фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния.
- Методами анализа и обработки экспериментальных данных.

**Темы и разделы курса:**

1. Необходимые сведения из квантовой механики. Реализация двумерных, одномерных и нуль-мерных систем

Напоминание основных начал квантовой механики - описания свойств электронов в терминах волн и частиц, качественная роль и способы задания граничных условий частицы

в потенциальной яме. Физические причины размерного квантования уровней энергии. Вырождение уровней по энергии. Основные экспериментальные способы реализации двумерных и одномерных систем. Формирование двумерных систем электронов на границе кремния и окисла кремния, над поверхностью криогенных диэлектриков, а также в гетероструктуре GaAs-AlGaAs. Рассмотрена работа кремниевого полевого транзистора в линейном и нелинейном режимах. Описаны способы изготовления одномерных и нульмерных систем.

2. Статистика состояний в системах различной размерности. Характерные масштабы энергии, длин и времен в мезоскопике. Локализованные и протяженные состояния различной симметрии

Рассмотрены причины квантования импульса накладываемые граничными условиями. Подсчитывается плотность состояний Ферми-частиц в импульсном пространстве и по энергии для систем различной размерности. Проводятся оценки Фермиевской энергии, Фермиевской скорости для простых монокристаллических металлов с одним электроном на атом, для типичных двумерных систем. Обсуждается физический смысл различных параметров двумерных систем: длина тепловой диффузии, длина релаксации импульса, длина сбоя фазы, длина релаксации энергии, энергия Таулесса. Проводятся оценки характерных значений параметров для двумерных систем электронов: Фермиевской длины волны, длины волны, длины релаксации импульса. Проводится качественное рассмотрение характеристик Ферми-газа электронов в металлах - теплоемкости, проводимости, теплопроводности.

3. Квантовый баллистический транспорт (1). Квантовый баллистический транспорт в слабом магнитном поле (2). Незатухающие токи

Обсуждаются основные понятия и свойства квантового баллистического транспорта в двумерной системе. Приведен вывод формулы Ландауэра на качественном уровне. Рассмотрены эффекты Аронова-Бома (АВ) и Альтшулера-Аронова-Спивака. Обсуждаются ключевые эксперименты по проверке теорий. Рассмотрены интерференционные эффекты в баллистическом транспорте.

4. Квазиклассическая динамика электронов в магнитном поле

Рассмотрена динамика электронов в двумерной системе в перпендикулярном магнитном поле. Рассмотрена задача о уровнях энергии и волновых функциях электронов в двумерной системе в квантующем перпендикулярном магнитном поле. Рассматривается статистика состояний, энергетическая плотность состояний, уровни Ландау в двумерной системе. Основные наблюдаемые эффекта - циклотронный резонанс, квантовые магнитоосцилляции. Обсуждаются характерные масштабы в задаче с магнитным полем.

5. Квантовый баллистический транспорт в квантующем магнитном поле (3). Квантовый эффект Холла

Рассмотрен квантовый баллистический транспорт в присутствии магнитного поля. Основные эффекты, предшествующие установлению современной теории - фокусировка электронов в магнитном поле, магнитные поверхностные уровни, "скачущие вдоль поверхности электроны", размерная отсечка квантовых осцилляций. Рассмотрен квантовый эффект Холла в баллистическом приближении, краевые состояния и нелокальный транспорт. Продолжено рассмотрение квантового баллистического транспорта в слабом магнитном поле с учетом граничных периодических условий.

Незатухающие токи в несверхпроводящих мезоскопических кольцах. Рассмотрена фазовая диаграмма в координатах энергия – магнитный поток. Свойства массивов мезоскопических колец.

#### 6. Транспорт не зонного типа

Рассмотрен зарядовый транспорт не зонного типа, включая туннельный и прыжковый транспорт. Резонансное туннелирование. Примесные уровни энергии в легированных полупроводниках. Прыжковая проводимость. Проводимость с переменной длиной прыжка. Кулоновская щель.

#### 7. Необходимые сведения из сверхпроводимости

Даны необходимые сведения из сверхпроводимости. Возникновения куперовских пар, электрон-фононное взаимодействие, природа спаривания. Волновая функция. Синглетное состояние. Энергетическая плотность состояний в сверхпроводнике. Длина когерентности. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Мейснера, смешанное состояние. Магнитные свойства сверхпроводников первого и второго рода.

#### 8. Баллистический транспорт в структурах NS и SNS

Рассмотрен баллистический транспорт в структурах NS и SNS. Андреевское отражение квазичастиц при прохождении через границу. Транспорт в структурах NIS, SNS, SIS. Транспорт в баллистическом и диффузионном пределе. Туннелирование куперовских пар. Эффект Джозефсона. Способы измерения энергетической щели в сверхпроводнике.

#### 9. Нуль-мерные системы. Кулоновская блокада

Рассматривается баллистический перенос заряда через нульмерную систему. Явление кулоновской блокады. Одноэлектронный транзистор, квантовый насос заряда. Зарядовые эффекты в транспорте в нормальных и сверхпроводящих структурах.

#### 10. Квантовый диффузионный транспорт (1)

Рассматриваются основы транспорта в диффузионном приближении. Рассеяние на примесях и фононах. Гау-приближение. Классическая формула Друде и противоречия. Квазиклассическая теория Зоммерфельда. Неупорядоченные системы. Квантовые эффекты интерференции в транспорте. Слабая локализация. Отрицательное магнитосопротивление. Локализация Андерсона. Скейлинговая теория локализации. Аналогия в оптике.

#### 11. Квантовый диффузионный транспорт (2). Квантующее магнитное поле. Целочисленный квантовый эффект Холла

Рассмотрен диффузионный транспорт в квантующем магнитном поле. Квантование потока. Целочисленный квантовый эффект Холла в диффузионном приближении. Локализованные и протяженные состояния. Тип симметрии и статистика уровней. Волновая функция электронов. Термодинамика и транспортные свойства в режиме квантования холловской проводимости.

#### 12. Представление о композитных фермионах и дробный квантовый эффект Холла

Представление о композитных фермионах и дробный квантовый эффект Холла. Состояния с полужелым заполнением уровней Ландау. Топологические инварианты. Числа Черна. Топологический изолятор. Квантовый эффект Холла в 3D системе.



13. Спин-орбитальное взаимодействие. Спин-орбитальное расщепление спектра в двумерных системах. Спектр Рашбы

Рассмотрено спин-орбитальное взаимодействие, его физическая причина. Спин-орбитальное расщепление спектра в двумерных системах. Спектр типа Рашбы.

14. Спиновый эффект Холла. Управление потоками спинов. Детектирование спиновой намагниченности

Рассмотрен аномальный эффект Холла, спиновый эффект Холла. Рассмотрены основы спинтроники - способы управление потоками спинов и способы детектирования спиновой намагниченности транспортными и оптическими методами.

15. Квантовый эффект Холла. Топологическое рассмотрение

Рассматривается квантовый эффект Холла с топологической точки зрения. Введение в квантовые топологические инварианты. Фаза Берии. Числа Черна.

16. Экспериментальные методы исследования электронного спектра

Рассмотрены экспериментальные методы исследования электронного спектра. Квантовые осцилляции в двумерных системах. Измерение орбитального и спинового расщепления уровней Ландау, квантовых осцилляций сопротивления, химического потенциала, намагниченности и энтропии. Полная спиновая поляризация. Фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением.

17. Многочастичные эффекты. Ферми газ и Ферми жидкость. Основы теории Ландау Ферми жидкости

Рассматриваются многочастичные эффекты в электронной системе. Излагаются основы теории Ландау Ферми жидкости. Золотое правило Ферми. Перенормировка параметров квазичастиц. Сингулярность ван-Хова и эффект Померанчука. Перенормировка функции заполнения квазичастиц.

18. Эффекты электрон-электронного взаимодействия в транспорте заряда и в термодинамике

Рассматривается проявление эффектов электрон-электронного взаимодействия в транспорте заряда и термодинамике. Когерентные квантовые эффекты в рассеянии. Перенормировка уширения уровней энергии и плотности состояний. Спиновая намагниченность и восприимчивость низкоразмерных систем. Методы ее измерения и результаты. Стонеровская неустойчивость. Определение перенормированных параметров квазичастиц из экспериментов.

19. Нахождение энергии основного состояния. Приближение Хартри-Фока

Вычисление энергии основного состояния. Приближение Хартри-Фока. Модель Хаббарда. Основы приближения среднего поля и метода DFT.

20. Термодинамическая плотность состояний во взаимодействующей системе. Вигнеровская кристаллизация. Классическое и квантовое плавление

Термодинамическая плотность состояний во взаимодействующей системе. Сжимаемость, изменение ее знака. Влияние беспорядка. Влияние числа квантовых степеней свободы.

Заряженная Ферми-жидкость. Вигнеровская кристаллизация. Классическое и квантовое плавление вигнеровского кристалла.

21. Введение в магнетизм низкоразмерных систем. Теорема Мермина-Вагнера

Введение в магнетизм низкоразмерных систем. Теорема Мермина-Вагнера.

22. Рассеяние магнитными примесями. Эффект Кондо

Рассматривается рассеяние электронов магнитными примесями. Локализованные моменты. Эффект Кондо.

23. Одномерные и квазиодномерные системы. Неустойчивость зарядовом канале (CDW). Неустойчивость в спиновом канале (SDW)

Введение в физику одномерных и квази-одномерных систем. Органические кристаллы. Неустойчивость в зарядовом канале. Переход Пайерлса. Волна зарядовой плотности. Неустойчивость в спиновом канале. Квантование вектора нестинга и индуцированная полем волна спиновой плотности.

24. Многочастичные эффекты и фазовое расслоение в низкоразмерных системах

Многочастичные эффекты фазового расслоения в двумерных и одномерных системах. Проявления фазового расслоения в различных системах и в различных экспериментах.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовая физика твердого тела**

#### **Цель дисциплины:**

Ознакомить студентов с развитием представлений об электронных свойствах, электронной структуре твёрдых тел. Научить студентов анализировать экспериментальные данные на основе современной электронной теории твердых тел.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области квантовой физики твердого тела как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности в области современной наноэлектроники;
- понимание ключевых теоретических результатов, лежащих в основе современного описания свойств твердых тел;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований и расчетов в области электронных свойств твердых тел в рамках выпускных работ на степень магистра, формирование базовых знаний и умений для дальнейших исследований в рамках выпускных квалификационных работ.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

1. Современные проблемы квантовой физики твердых тел
2. О взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук
3. Теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния
4. Принципы симметрии, топологии, и законы сохранения
6. Основные электронные свойства твердых тел, требуемые для исследований в низкотемпературных экспериментах.
7. Научные задачи, над которыми работают в базовых лабораториях образовательной программы.

**уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические знания: понятия, результаты, гипотезы, законы;
- представлять панораму универсальных методов и законов современной квантовой физики низкоразмерных систем;
- абстрагироваться от несущественных факторов при моделировании реальных физических процессов и явлений;
- делать численные оценки масштаба ожидаемых эффектов;
- планировать оптимальное проведение экспериментов для решения поставленных задач.

**владеть:**

- Теоретическими основами экспериментальных методов проведения измерений в области квантовой физики твердых тел с использованием транспортных, туннельных, термодинамических, ВЧ, оптических и резонансных методов.
- Информацией о современном состоянии исследований в области квантовой физики твердого тела.
- Теоретическими моделями фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния.
- Методами анализа и обработки экспериментальных данных.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Введение и базовые знания стат. физики

Основы статистической физики и теория возмущений. Кристаллическая структура и методы ее исследования. Типы связи в твердых телах.

## 2. Структура и упругие свойства кристаллов

Структура и упругие свойства кристаллов. Жидкие кристаллы и квазикристаллы. Фононы. Их классификация и закон дисперсии.

## 3. Теплоемкость идеальных кристаллов диэлектриков

Теплоемкость идеальных кристаллов диэлектриков. Модели Дебая и Эйнштейна.

## 4. Теплопроводность идеальных кристаллов диэлектриков, аморфных тел и квазикристаллов

Теплопроводность идеальных кристаллов диэлектриков. Теплоемкость и теплопроводность аморфных тел и квазикристаллов. Диэлектрическая восприимчивость изоляторов. Различные вклады в диэлектрическую восприимчивость и их частотная зависимость.

## 5. Вырожденный газ Ферми, его термодинамические и кинетические свойства

Вырожденный газ Ферми. Его теплоемкость. История развития области: теории Друде и Зоммерфельда. Электроны в кристаллической решетке и их закон дисперсии в приближениях сильной и слабой связи. Теорема Блоха. Поверхность Ферми.

#### 6. Явления переноса в металлах

Явления переноса в металлах. Кинетическое уравнение для электронов в металлах. Электропроводность и теплопроводность металлов и их температурные зависимости. Закон Видемана Франца и область его применимости. Термоэлектрические эффекты в металлах.

#### 7. Кинетические свойства металлов в магнитном поле. Методы изучения электронной структуры металлов

Металлы в магнитном поле. Магнитосопротивление и эффект Холла. Металлы в высокочастотном электромагнитном поле. Скин-эффект. Методы изучения электронной структуры металлов. Фотоэффект с угловым разрешением (ARPES) и магнитные квантовые осцилляции.

#### 8. Электронный спектр одномерной цепочки (дираковская гребенка). Движение электрона в скрещенных постоянных электрическом и магнитном полях

Практическое занятие: вычисление электронного спектра одномерной цепочки (дираковская гребенка)- точное решение и решение в приближении слабой связи. Движение электрона в скрещенных постоянных электрическом и магнитном полях. Скорость дрейфа. Магнитосопротивление.

#### 9. Вычисление компонент тензора проводимости в эффекте Холла, квазиклассический предел. Рассеяние электрона с переворотом спина

Практическое занятие по теме: Вычисление компонент тензора проводимости в эффекте Холла для двумерного электронного газа, квазиклассический предел. Рассеяние электрона с переворотом спина. Вклад магнитного рассеяния в электросопротивление в эффекте Кондо.

#### 10. Вычисление термо-эдс термопары, эффект Пельтье Уравнение Шредингера для электрона в магнитном поле

Практическое занятие по теме: Вычисление термо-эдс термопары, эффект Пельтье в контакте двух проволок из разных металлов. Решение уравнения Шредингера для электрона в магнитном поле: плотность состояний, степень вырождения уровней Ландау.

#### 11. Вычисление статистической суммы двумерного ферми-газа в магнитном поле с уровнями Ландау. Осциллирующая часть магнитного момента ферми-газа

Практическое занятие по теме: Вычисление статистической суммы двумерного ферми-газа в магнитном поле с уровнями Ландау. Осциллирующая часть магнитного момента ферми-газа.

#### 12. Вычисление статистической суммы двумерного ферми-газа в магнитном поле

Практическое занятие по теме: Вычисление статистической суммы двумерного ферми-газа в магнитном поле с двумя магнитными подзонами: парамагнетизм Паули. Парамагнитная восприимчивость идеального ферми-газа.

#### 13. Введение в магнетизм твердых тел

Магнетизм. Диамагнетики и парамагнетики. Природа этих эффектов и различные вклады в магнитную восприимчивость. Природа и типы обменного взаимодействия.

#### 14. Ферромагнетизм

Ферромагнетизм. Температурная зависимость намагниченности и закон дисперсии магновов в ферромагнетиках. Домены.

#### 15. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм

Антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Температурная зависимость и анизотропия намагниченности в антиферромагнетиках. Закон дисперсии магновов. Экспериментальные методы обнаружения и исследования антиферромагнетиков. Магнитный резонанс. Адиабатическое размагничивание.

#### 16. Дополнительные вопросы магнетизма

Магнитные фрустрации и спиновые стекла. Зонный ферромагнетизм (Стонеровская неустойчивость). Спин-орбитальное взаимодействие в металлах.

#### 17. Дефекты в кристаллах. Прыжковая проводимость

Дефекты в кристаллах. Прыжковая проводимость.

#### 18. Волны зарядовой плотности

Волны зарядовой плотности. Неустойчивость Пайерлса.

#### 19. Рамановская спектроскопия

Рамановская спектроскопия. Перовскиты.

#### 20. Прецессия спина в магнитном поле. Магнитный резонанс и измерение обменных полей в магнетиках методом рассеяния мюонов

Практическое занятие по теме: Прецессия спина в магнитном поле. Магнитный резонанс и измерение обменных полей в магнетиках методом рассеяния мюонов.

#### 21. Волны зарядовой и спиновой плотности: решение уравнений Боголюбова-де Женна

Практическое занятие по теме: Волны зарядовой и спиновой плотности. Решение уравнений Боголюбова-де Женна.

#### 22. Аналитические свойства функции Грина

Практическое занятие по теме: Аналитические свойства функции Грина. Функция Грина идеального ферми-газа. Связь мнимой части функции Грина со спектральной плотностью электронных уровней энергии.

#### 23. Связь функции Грина электрона с вольт- амперной характеристикой электрического микроконтакта

Практическое занятие по теме: Связь функции Грина электрона с вольт- амперной характеристикой электрического микроконтакта.

#### 24. Связь функции Грина электрона с сечением магнитного рассеяния нейтронов в металле

Практическое занятие по теме: Связь функции Грина электрона с сечением магнитного рассеяния нейтронов в металле.

## Аннотации к рабочим программам дисциплин.

Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность: Общая и прикладная физика

### Квантовая хромодинамика

#### Цель дисциплины:

- освоение студентами фундаментальных знаний в области современной физики элементарных частиц, изучение основ теории сильных взаимодействий и методов теоретического описания различных процессов адронной физики, а также приобретение базовых навыков самостоятельной научно-исследовательской работы.

#### Задачи дисциплины:

- формирование базовых знаний в области теоретической физики элементарных частиц;
- обучение студентов современным методам теоретического описания различных процессов сильного взаимодействия и навыкам решения сопутствующих задач;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований в области теоретической физики в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### знать:

- лагранжиан квантовой хромодинамики;
- особенности квантования калибровочных теорий;
- правила Фейнмана для квантовой хромодинамики;
- перенормировку в квантовой хромодинамике;
- уравнения ренормализационной группы;
- определение и свойства инвариантного заряда квантовой хромодинамики;
- асимптотическую свободу в квантовой хромодинамике;
- партонную модель, партонные функции распределения и функции фрагментации;
- особенности описания процессов сильного взаимодействия во времениподобной области;
- операторное разложение и вакуумные конденсаты;

- особенности описания мезонов и барионов в рамках потенциального подхода;
- модель мешков;
- уравнения самодуальности, одноинстантонное решение и его свойства.

**уметь:**

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной теоретической физики элементарных частиц.

**владеть:**

- техникой вычисления основных характеристик процессов сильного взаимодействия;
- основными методами регуляризации импульсных интегралов;
- основными схемами вычитания расходимостей;
- методом ренормализационной группы в квантовой хромодинамике;
- методом дисперсионных соотношений;
- методом правил сумм в квантовой хромодинамике;
- техникой описания мезонов в рамках потенциального подхода;
- техникой описания адронов в рамках модели мешков;
- техникой описания топологически нетривиальных полевых конфигураций.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение.

Введение (часть I).

Предпосылки к созданию квантовой хромодинамики.  $SU(3)$  симметрия в физике адронов и кварковая модель. Квантовое число “цвет”. Неабелевы калибровочные поля. Кварки и глюоны. Локальная калибровочная инвариантность теории. Лагранжиан квантовой хромодинамики. Ковариантные и аксиальные калибровки.

Введение (часть II).

Особенности квантования калибровочных теорий. Представление взаимодействия и матрица рассеяния в квантовой хромодинамике. Общие свойства  $S$ -матрицы. Теоремы Вика. Правила Фейнмана для квантовой хромодинамики.

2. Расходимости в квантовой теории поля и их устранение методом перенормировки.

Техника вычисления петлевых поправок. Методы регуляризации импульсных интегралов. Схемы вычитания расходимостей. Контрчлены и перенормировки. Преобразования Дайсона. Причины расходимостей в квантовой теории поля.



### 3. Метод ренормализационной группы в квантовой хромодинамике.

Перенормировка в глюодинамике. Метод ренормализационной группы. Инвариантный заряд квантовой хромодинамики. Уравнения ренормгруппы в функциональной и дифференциальной форме.

Ренормгрупповая бета - функция в рамках теории возмущений. Вычисление бета -функции квантовой хромодинамики в однопетлевом приближении.

### 4. Инвариантный заряд и асимптотическая свобода в квантовой хромодинамике.

Бегущая константа связи сильного взаимодействия на однопетлевом уровне. Масштабный параметр теории. Инвариантный заряд в высших петлевых приближениях. Извлечение бегущей константы связи квантовой хромодинамики из экспериментальных данных. Пороговые эффекты. Зависимость результатов теории возмущений от схемы вычитания.

### 5. Партоновая модель.

Кинематика процессов лептон -адронного рассеяния. Сечения упругого рассеяния электрона на точечном и реальном протоне. Глубоконеупругое рассеяние лептонов на нуклонах. Структурные функции, бьеркеновский скейлинг. Дифференциальное сечение глубоконеупругого электрон - протонного рассеяния. Экспериментальные данные.

Партоновые функции распределения, функции фрагментации, способы их параметризации. Операторное разложение и моменты структурных функций. Уравнение ренормализационной группы для моментов структурных функций и его решение в рамках теории возмущений.

### 6. Электрон - позитронная аннигиляция в адроны.

Кинематика и сечение процесса электрон - позитронной аннигиляции в адроны. Особенности описания процессов сильного взаимодействия во времениподобной области. Дисперсионное соотношение для адронной функции поляризации вакуума. Дисперсионное соотношение для функции Адлера. Вклад сильного взаимодействия в адронную функцию поляризации вакуума. Вычисление  $R$  -отношения в рамках теории возмущений. Экспериментальные данные и их теоретический анализ.

### 7. Инклюзивный распад тау -лептона в адроны.

Кинематика и ширина адронного распада тау - лептона. Сильные поправки к адронной функции поляризации вакуума. Специфика описания инклюзивного распада тау - лептона в рамках теории возмущений. Экспериментальные данные и их теоретический анализ.

### 8. Вклад сильного взаимодействия в электрослабые процессы.

Аномальный магнитный момент мюона. Экспериментальные данные и их теоретический анализ.

Эволюция бегущей константы связи электромагнитного взаимодействия: вычисление сдвига постоянной тонкой структуры на масштабе массы  $Z$  -бозона. Экспериментальные данные и их теоретический анализ.

### 9. Правила сумм в квантовой хромодинамике.

Пертурбативный вклад в корреляционную функцию кварковых токов. Операторное разложение и вакуумные конденсаты. Кварк - адронная дуальность. Вычисление константы распада  $\rho$  - мезона в рамках метода правил сумм. Преимущества и недостатки метода правил сумм.

#### 10. Конфайнмент кварков: потенциальные модели.

Закон Кулона в спинорной электродинамике. Кварк - антикварковый потенциал в приближении одноглюонного обмена. Описание мезонов и барионов в рамках потенциального подхода. Некоторые модели статического кварк - антикваркового потенциала. Методы регуляризации сингулярных Фурье - преобразований. Исследование конфайнмента кварков на решетке.

#### 11. Конфайнмент кварков: модель мешков.

Феноменологическое описание вакуумного  $4 \times 4 \times 10$  состояния в квантовой хромодинамике. Формулировка модели мешков, граничные условия для кварковых и глюонных полей. Давление внутри мешка и его устойчивость. Модель "MIT bag": преимущества и недостатки. Основные результаты и область применимости модели мешков.

#### 12. Топологическая структура вакуума в квантовой хромодинамике.

Евклидовы конфигурации полевых систем. Индекс Понтрягина. Уравнения самодуальности. Инстантоны в теории Янга-Миллса и их физическая интерпретация. Одноинстантонное решение для калибровочной группы  $SU(2)$  и его свойства. Вклад инстантонов в процессы сильного взаимодействия. Исследование топологической структуры вакуума квантовой хромодинамики на решетке.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовая электродинамика**

#### **Цель дисциплины:**

дать студентам базовые знания необходимые для понимания различных физических явлений в нанофизике и навыки, позволяющие понять, как адекватность теоретической модели соответствующему физическому явлению, так и её пределы применимости; показать, в чем особенность физики на нано и мезо масштабах по сравнению с макроскопической и физикой; познакомить с инновационными приложениями нанофизики в высокотехнологичных отраслях промышленности и обрисовать перспективу дальнейшего развития нанотехнологий.

#### **Задачи дисциплины:**

- изучение математического аппарата квантовой механики и неравновесной квантовой кинетики применительно к задачам нанофизики;
- изучение методов решения базовых задач теории электронного транспорта в мезоскопических наносистемах;
- изучение транспортных свойств квантовых проволок (в том числе углеродных нанотрубок), квантовых точек, джозефсоновских контактов и наносистем с сильными электронными корреляциями (кулоновской блокадой);
- овладение студентами методами неравновесной квантовой кинетики для описания свойств различных конкретных физических наносистем.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- постулаты и принципы квантовой механики, как нерелятивистской, так и релятивистской, квантовой электродинамики;
- уравнения Клейна-Гордона и Дирака и их решения;
- принцип локальной калибровочной инвариантности, лагранжиан квантовой электродинамики, квантование электромагнитного и электрон-позитронного поля;
- постановку задачи рассеяния в квантовой электродинамике, S-матрицу, теорему Вика, диаграммы Фейнмана;
- интеграл по траекториям и его применение в квантовой электродинамике;

- собственно энергетические и вершинные диаграммы, поляризационный, массовый и вершинный операторы.

**уметь:**

- пользоваться аппаратом трехмерного векторного анализа;
- пользоваться аппаратом трехмерной тензорной алгебры;
- пользоваться аппаратом четырехмерных векторов и тензоров;
- решать задачи о рассеянии электронов во внешнем поле;
- решать задачи по теории возмущения с применением техники диаграмм Фейнмана;
- определять поляризационные, массовые и вершинные операторы стандартных задач квантовой электродинамики;
- решать задачи по определению радиационного смещения атомных уровней.
- пользоваться аппаратом трехмерной тензорной алгебры;
- пользоваться аппаратом четырехмерных векторов и тензоров;
- решать транспортные задачи с участием электронов и дырок;
- решать задачи о движении носителей заряда в наносистемах в заданном внешнем электрическом (магнитном) поле различной конфигурации;
- применять методы теории линейного отклика (формулы Кубо) и теории рассеяния для решения транспортных задач;
- решать задачи про транспорт в наносистемах в режиме кулоновской блокады, используя квантовые кинетические уравнения;
- решать задач про взаимодействие электромагнитных волн с плазмонными наноструктурами.

**владеть:**

- основными методами математического аппарата квантовой электродинамики, включая применение диаграмм Фейнмана и интеграла по траекториям;
- навыками теоретического анализа реальных задач квантовой электродинамики, связанных с рассеянием электронов как внешними полями, так и заряженными частицами, определением радиационных поправок к уровням энергии.

**Темы и разделы курса:**

1. Уравнения Клейна–Гордона и Дирака. Решения с положительными и отрицательными частотами. Волновая функция позитрона. Алгебра матриц Дирака. Уравнение Дирака во внешнем электромагнитном поле.

Уравнение Дирака получено из уравнения Клейна – Гордона путем извлечения

квадратного корня из правой и левой части и образование двух уравнений

Дирака с четырьмя компонентами спинора. При этом возникают 4 компоненты спинора, которые описывают 4 колеблющиеся по каждой из четырех осей ступки частиц вакуума. При этом колебание по пространственным осям можно отнести к вращению вокруг оси. Причем, объясняется, почему проекция спина на каждую ось одинакова. Кроме того, решение уравнения Дирака описывает образование дискретных объемов. Причем описано образование, как элементарных частиц, так и планет и звезд. При этом внутри таких тел имеется источник энергии, имеющий мощность, варьируемую в зависимости от условий от малой величины до бесконечности.

2. Электромагнитное взаимодействие. Принцип локальной калибровочной инвариантности. Лагранжиан квантовой электродинамики. Система уравнений квантовой электродинамики.

Электромагнитное взаимодействие электрических зарядов с электромагнитным полем. Сила электромагнитного взаимодействия между покоящимися элементарными частицами дальнедействующая и изменяется с расстоянием как  $1/r^2$  (закон Кулона). Интенсивность электромагнитных процессов в микромире определяется безразмерным параметром  $e^2/\hbar c = 1/137$ .

3. Квантование электромагнитного поля. Условие Лоренца в квантовой электродинамике. Вакуум электромагнитного поля. Хронологическое и нормальное произведения операторов. Связь операторов. Средние по вакууму от произведений операторов. Пропагатор фотонов в различных калибровках.

Квантование электромагнитного поля, означает, что электромагнитное поле состоит из дискретных энергетических посылок, фотонов. Фотоны это безмассовые частицы определенной энергии, определенного импульса и определенного спина. Чтобы объяснить фотоэлектрический эффект, Альберт Эйнштейн в 1905 году эвристически предположил, что электромагнитное поле состоит из частиц с энергией количества  $h\nu$ , где  $h$  постоянная Планка, а  $\nu$  частота волны. В 1927 году Поль А.М. Дирак смог воплести концепцию фотона в ткань новой квантовой механики и описать взаимодействие фотонов с материей. Он применил технику, которая сейчас обычно называется вторичным квантованием, хотя этот термин в некоторой степени неправильно употребляется для электромагнитных полей, потому что они, в конце концов, являются решениями классических уравнений Максвелла. В теории Дирака поля квантуются впервые, и это также первый раз, когда постоянная Планка входит в выражения. В своей оригинальной работе Дирак использовал фазы различных электромагнитных мод (компоненты Фурье поля) и энергии мод в качестве динамических переменных для квантования (т.е. он переинтерпретировал их как операторы и постулировал коммутационные отношения между ними). В настоящее время более распространено квантование компонентов Фурье векторного потенциала.

4. Квантование электрон-позитронного поля. Хронологическое и нормальное произведения операторов поля. Связь операторов. Средние по вакууму от произведений операторов. Пропагатор дираковского поля.

Из теории Дирака следует, что электрон и позитрон при столкновении должны аннигилировать с освобождением энергии, равной полной энергии сталкивающихся частиц. Оказалось, что этот процесс происходит главным образом после торможения позитрона в веществе, когда полная энергия двух частиц равна их энергии покоя 1,0221 МэВ. На опыте были зарегистрированы пары  $\gamma$ -квантов с энергией по 0,511 МэВ, разлетавшихся в прямо противоположных направлениях от мишени, облучавшейся

позитронами. Необходимость возникновения при аннигиляции электрона и позитрона не одного, а как минимум двух  $\gamma$ -квантов вытекает из закона сохранения импульса. Суммарный импульс в системе центра масс позитрона и электрона до процесса превращения равен нулю, но если бы при аннигиляции возникал только один  $\gamma$ -квант, он бы уносил импульс, который не равен нулю в любой системе отсчёта.

5. Постановка задачи рассеяния в квантовой электродинамике. Представление взаимодействия. Инвариантная теория возмущений.  $S$  матрица. Представление матрицы рассеяния в виде суммы нормальных произведений операторов (теоремы Вика).

В физике элементарных частиц квантовая электродинамика (QED) это релятивистский квантовая теория поля из электродинамика. По сути, он описывает, как свет и иметь значение взаимодействуют, и это первая теория, в которой полное согласие между квантовая механика и специальная теория относительности Достигнут. QED математически описывает все явления с участием электрически заряженный частицы, взаимодействующие посредством обмена фотоны и представляет собой квант аналог классический электромагнетизм дающий полный отчет о взаимодействии материи и света.

Технически QED можно описать как теория возмущений электромагнитного квантовый вакуум. Ричард Фейнман назвал его "жемчужиной физики" за его чрезвычайно точные прогнозы таких величин, как аномальный магнитный момент электрона и Баранина сдвиг из уровни энергии из водород.

6. Графическое представление нормальных произведений операторов полей. Топологически эквивалентные нормальные произведения. Импульсное представление. Диаграммы Фейнмана. Амплитуда, вероятность и сечение рассеяния.

Диаграммы Фейнмана — наглядный и эффективный способ описания взаимодействия в квантовой теории поля (КТП). Метод предложен Ричардом Фейнманом в 1949 для построения амплитуд рассеяния и взаимного превращения элементарных частиц в рамках теории возмущений, когда из полного (эффективного) лагранжиана системы полей выделяется невозмущённая часть (свободный лагранжиан), квадратичная по полям, а оставшаяся часть (лагранжиан взаимодействия) трактуется как возмущение. Наиболее наглядную интерпретацию диаграммы Фейнмана приобретают в методе интегралов по траекториям.

Диаграммы Фейнмана широко используются для анализа аналитических свойств амплитуд рассеяния, в частности для исследования их особенностей (сингулярностей). Иногда это позволяет из всей совокупности диаграмм, отвечающих данному процессу, выделить некоторую подсовокупность, которая вносит основной вклад.

Метод диаграмм Фейнмана успешно применяется также в квантовой теории многих частиц, в частности для описания конденсированных тел и ядерных реакций.

7. Интеграл по траекториям и его применение в квантовой электродинамике. Вывод фейнмановских правил теории возмущений с помощью производящего функционала.

Формулировка через интеграл по траекториям квантовой механики это описание квантовой теории, которое обобщает принцип действия классической механики. Оно замещает классическое определение одиночной, уникальной траектории системы полной суммой (функциональным интегралом) по бесконечному множеству всевозможных траекторий для

расчёта квантовой амплитуды. Методологически формулировка через интеграл по траекториям близка к принципу Гюйгенса Френеля из классической теории волн.

Формулировка через интеграл по траекториям была развита в 1948 году Ричардом Фейнманом. Некоторые предварительные моменты были разработаны ранее при написании его диссертации под руководством Джона Арчибальда Уилера.

Эта формулировка была ключевой для последующего развития теоретической физики, так как она явно симметрична во времени и пространстве. непохожий на предыдущие методы, интеграл по траекториям позволяет физику легко переходить от одних координат к другим при каноническом описании одной и той же квантовой системы.

Интеграл по траекториям также относится к квантовым и стохастическим процессам, и это обеспечило базис для великого синтеза 1970-х годов, который объединил квантовую теорию поля со статистической теорией флуктуаций поля вблизи фазовых переходов второго рода. Уравнение Шрёдингера при этом является уравнением диффузии с мнимым коэффициентом диффузии, а интеграл по траекториям — аналитическим продолжением метода суммирования всех возможных путей. По этой причине интегралы по траекториям были использованы для изучения броуновского движения и диффузии немного ранее, чем они были представлены в квантовую механику. Три траектории из многих, создающие вклад в вероятность перемещения квантовой частицы из точки А в точку В. Недавно определение интегралов по траекториям было расширено таким образом, чтобы помимо броуновского движения они могли описывать также и полёты Леви. Формулировка через интегралы по траекториям Леви ведёт к дробной квантовой механике и дробному расширению уравнения Шрёдингера

8. Основные электродинамические явления. Рассеяние электрона во внешнем поле. Комptonовское рассеяние. Аннигиляция пары в два фотона. Рассеяние электрона и позитрона электроном. Распад позитрония. Рассеяние фотона фотоном.

Волновые функции непрерывного спектра. Матрицы распространения. Унитарность матрицы рассеяния. Симметрии гамильтониана и матриц распространения. Симметрия по отношению к обращению времени. Симметрия по отношению к инверсии. Фейнмановский подход к теории рассеяния. Рассеяние с учетом спина.

9. Структура диаграмм матрицы рассеяния. Беспетлевые и петлевые диаграммы. Неприводимые и приводимые диаграммы. Степень расходимости неприводимых диаграмм. Перенормируемость квантовой электродинамики.

Матрица диаграммы рассеяния это таблица (или матрица) точечных диаграмм, использующихся для отображения двумерных отношений между комбинациями числовых переменных. Каждая диаграмма рассеяния в матрице визуализирует взаимосвязь между парой переменных, позволяя исследовать множество взаимосвязей на одной диаграмме.

Переменные. Матрица диаграммы рассеяния содержит как минимум три Числовых поля. Диаграмма рассеяния создается для каждой парной комбинации выбранных переменных. Статистика. Для каждой диаграммы рассеяния матрицы вычисляется регрессионное уравнение. Вы можете добавить соответствующие линии тренда к диаграммам рассеяния, установив отметку Показать линию тренда на панели Свойства диаграммы. Кроме того, вы можете просмотреть мини-диаграммы в сетке как значения  $R^2$  с цветовым градиентом, соответствующим силе значения  $R^2$ , отметив Показать как R-квадрат на панели Свойства

диаграммы. Компоновка. Компоновка матрицы диаграммы рассеяния состоит из двух половин, разрезанных по диагонали. В нижней левой половине отображается сетка мини-диаграмм, по одной для каждой пары переменных. По умолчанию в верхней правой половине компоновки отображается одна большая предварительная диаграмма, на которой более подробно показана выбранная мини-диаграмма. Если предварительный просмотр диаграммы не требуется, вы можете оставить верхнюю правую половину компоновки пустой или использовать ее для отображения зеркальных мини-диаграмм с дополнительными видами взаимосвязей.

10. Собственно энергетические и вершинные диаграммы. Поляризационный, массовый и вершинный операторы. Перенормировка массы и заряда электрона. Метод инвариантной регуляризации Фейнмана. “Бегущая” константа взаимодействия.

энергетическая диаграмма это энергетический график, который иллюстрирует процесс, который происходит во время реакции. Энергетические диаграммы также могут быть определены как визуализация электронной конфигурации на орбиталях; каждое представление это электрон орбитали со стрелкой. Существует два типа энергетических диаграмм. Диаграммы термодинамической или органической химии, которые показывают количество энергии, произведенной или потраченной в течение реакции; начиная с элементов реагирующих, проходящих через переходное состояние, к продуктам.

11. Проблема ноль-заряда. Асимптотическая свобода в квантовой хромодинамике. Электромагнитная и “голая” масса электрона. Метод размерной регуляризации.

Потенциал нулевого заряда, «нулевая точка» в электрохимии, особое для каждого металла значение электродного потенциала, при котором его чистая поверхность при соприкосновении с электролитом не приобретает электрического заряда. При этом электролит не должен содержать поверхностно-активные вещества. Если электродный потенциал положительнее, чем П. н. з., то к металлу из раствора притягиваются отрицательные ионы, если отрицательнее, то положительные. В обоих случаях уменьшается обычная тенденция частиц вещества уходить с поверхности фазы в её объём, т. е. понижается поверхностное натяжение на границе металла с раствором. На жидком, например ртутном, электроде это легко наблюдать с помощью т. н. электрокапиллярных кривых, показывающих, как потенциал металлического мениска, соприкасающегося с электролитом, влияет на высоту его капиллярного поднятия или опускания. При П. н. з. поверхностное натяжение максимально, а электрическая ёмкость границы минимальна. Знание П. н. з. необходимо при изучении кинетики электродных реакций, при подборе ингибиторов коррозии и в др. случаях, когда важно учитывать адсорбцию компонентов на металлической поверхности.

12. Модификация закона Кулона. Аномальный магнитный момент электрона.

Аномальный магнитный момент — отклонение величины магнитного момента элементарной частицы от значения, предсказываемого квантовомеханическим релятивистским уравнением движения частицы. В квантовой электродинамике аномальный магнитный момент электрона и мюона вычисляется методом радиационных поправок (пертурбативным методом), в квантовой хромодинамике магнитные моменты сильно взаимодействующих частиц (адронов) вычисляются методом операторного разложения (непертурбативным методом). Найдя радиационные поправки к функциям Грина и к вершинной функции, мы можем перейти теперь к исследованию тех физических эффектов,



которые связаны с этими поправками. Простейшими из них являются модификация закона Кулона для вакуума и наличие аномального магнитного момента у электрона и мюона.

### 13. Радиационное смещение атомных уровней.

Радиационные поправки приводят к смещению уровней энергии связанных состояний электрона во внешнем поле (так называемое смещение Лэмба). Наиболее интересный случай этого рода — смещение уровней атома водорода (или водородоподобного иона). Последовательный метод вычисления поправок к уровням энергии основан на использовании точного электронного пропагатора во внешнем поле.

14. Уравнения Клейна Гордона и Дирака. Решения с положительными и отрицательными частотами. Волновая функция позитрона. Алгебра матриц Дирака. Уравнение Дирака во внешнем электромагнитном поле.

Уравнение Дирака получено из уравнения Клейна Гордона путем извлечения квадратного корня из правой и левой части и образование двух уравнений Дирака с четырьмя компонентами спинора. При этом возникают 4 компоненты спинора, которые описывают 4 колеблющиеся по каждой из четырех осей сгустки частиц вакуума. При этом колебание по пространственным осям можно свести к вращению вокруг оси. Причем, объясняется, почему проекция спина на каждую ось одинакова. Кроме того, решение уравнения Дирака описывает

образование дискретных объемов. Причем описано образование, как элементарных частиц, так и планет и звезд. При этом внутри таких тел имеется источник энергии, имеющий мощность, варьируемую в зависимости от условий от малой величины до бесконечности.

15. Электромагнитное взаимодействие. Принцип локальной калибровочной инвариантности. Лагранжиан квантовой электродинамики. Система уравнений квантовой электродинамики.

Электромагнитное взаимодействие взаимодействие электрических зарядов с электромагнитным полем. Сила электромагнитного взаимодействия между покоящимися элементарными частицами дальнедействующая и изменяется с расстоянием как  $1/r^2$  (закон Кулона). Интенсивность электромагнитных процессов в микромире определяется безразмерным параметром  $e^2/\hbar c = 1/137$ .

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Квантовые вычисления**

#### **Цель дисциплины:**

Дать студентам знания, необходимые для описания различных явлений в сложных объектах квантовой информатики методами теоретической физики, методы построения соответствующих математических моделей, показать соответствие системы постулатов, положенных в основу теории квантовой обработки информации в сложных системах, существующим экспериментальным данным, что позволяет считать теорию достоверной в области её применимости. Дать навыки, позволяющие понять, как адекватность теоретической модели соответствующей динамике квантовых информационных систем, так и её пределы применимости.

#### **Задачи дисциплины:**

- Изучение математического аппарата теории квантовой информации открытых систем;
- изучение методов решения задач определения динамики квантовой информации;
- изучение методов описания и количественного оценивания уровней декогерентности квантовых регистров, взаимодействующих с внешними квантовыми объектами;
- овладение студентами методами квантовой информатики для описания свойств различных конкретных открытых квантовых вычислительных систем.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Основные принципы описания открытых квантовых систем;
- основные принципы описания процесса декогерентности квантового компьютера;
- основные принципы теории меры декогерентности многокубитовых квантовых регистров;
- основные принципы теории открытых квантовых систем применительно к полупроводниковым квантовым битам.

##### **уметь:**

- Находить динамику состояния квантовых битов, взаимодействующих с окружением;
- выбирать подходящие способы описания неунитарной квантовой динамики состояния квантового регистра;
- находить оптимальные способы проведения квантовой обработки информации для конкретных твердотельных квантовых битов.

**владеть:**

- Методами вычисления матрицы плотности квантовых битов, взаимодействующих с окружением;
- основными методами математического аппарата открытых квантовых систем;
- методами определения уровня декогерентности твердотельных квантовых компьютеров.

**Темы и разделы курса:**

1. Вычислительные ресурсы и пределы вычислительной мощности

Классы сложности вычислений. Универсальный набор. Физические ограничения. Классы сложности вычислений. Тезис Чёрча–Тьюринга. Эмпирический закон Мура. Демон Максвелла. Принцип Ландауэра. Обратимые логические операции. Преобразования контролируемое-НЕ (CNOT), Тоффоли и Фредкина. Универсальный набор операций. Физические ограничения вычислительных возможностей в классическом мире.

2. Структура квантового компьютера

Квантовые биты (кубиты). Принцип суперпозиции состояний. Измерение. Гильбертовы пространства. Сфера Блоха.

3. Квантовый регистр. Матричный вид квантовых операций

Матричный вид квантовых операций. Эрмитовы и унитарные операторы. Прямое и тензорное матричные произведения в квантовых вычислениях. Эрмитовы операторы. Унитарные операторы. Действия при добавлении вспомогательных кубитов-анцилл.

4. Квантовые операции. Универсальный набор квантовых операций

Универсальный набор квантовых операций. Матрица плотности. Квантовые операции над одним кубитом. Многокубитовые операции. Редукция матрицы плотности при уменьшении вычислительного пространства. Квантовые операции над одним кубитом. Амплитудное и фазовое вращения. Оператор Адамара. Двухкубитовая операция CNOT. Оператор Уолша. Универсальный набор квантовых операций.

5. Квантовые схемы

Общее понятие квантовой схемы. Схема квантовой телепортации. Принципы построения квантовых схем. Квантовая схема квантовой телепортации неизвестного состояния кубита с помощью ЭПР-пары и классического канала связи.

6. Квантовые алгоритмы

Структура квантового алгоритма. Пример простого алгоритма, превосходящего классический аналог. Квантовый алгоритм: инициализация, квантовая унитарная эволюция и измерение квантового регистра. Алгоритм Дойча. Квантовый параллелизм.

#### 7. Квантовый бит на основе двойной квантовой точки

Структура полупроводникового зарядового кубита. Проведение основных операций. Гамильтониан полупроводникового зарядового кубита. Инициализация. Измерение. Проведение фазового вращения. Проведение амплитудного вращения. Выполнение двухкубитовой

операции CNOT.

#### 8. Пределы вычислительной мощности квантовых компьютеров

Класс сложности квантовых вычислений. Ограничения вычислительных возможностей. Класс сложности квантовых вычислений BQP и его соотношение с другими классами сложности. Открытые вопросы в теории сложности квантовых алгоритмов. Физические ограничения вычислительных возможностей квантовых компьютеров, вытекающие из квантомеханической природы вычислительных элементов.

#### 9. Квантовая логика Неймана и предыстория квантовых вычислений

Квантовая логика. Основные этапы развития теории квантовых вычислений до появления эффективных квантовых алгоритмов. Квантовая логика Неймана. Развитие квантовой логики Гейзенбергом и Вайцзеккером. Сформулированная трудность прямого моделирования многочастичных систем (Шлютер, Манин). Квантовая машина Тьюринга (Дойч). Вклад Фейнмана.

#### 10. Квантовый алгоритм поиска Гровера

Классическая задача поиска. Квантовый алгоритм поиска Гровера. Обобщение алгоритма Гровера. Классическая задача поиска. Квантовый алгоритм поиска Гровера. Динамика волновой функции квантового регистра при работе алгоритма. Реализация алгоритма Гровера

посредством набора элементарных квантовых операций. Обобщение алгоритма Гровера для случая нескольких решений.

#### 11. Квантовые ошибки

Источники квантовых ошибок. Мера декогерентности. Классический шум. Фазовые ошибки. Межкубитовое взаимодействие. Потеря когерентности квантового состояния. Понятие меры декогерентности. Необходимость борьбы с декогерентностью.

#### 12. Методы избегания квантовых ошибок

Способы борьбы с квантовыми ошибками. Переход в подпространства, свободные от декогерентности. Полиномиальный алгоритм подавления межкубитового взаимодействия.

#### 13. Процедуры коррекции квантовых ошибок. Нестационарная теория возмущений. Представление взаимодействия

Структура алгоритмов коррекции ошибок. Цепные коды. Кодирование, обнаружение синдрома ошибки, процедура исправления выявленной ошибки.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Кинетическая теория газов**

#### **Цель дисциплины:**

Дать студентам знания, необходимые для описания различных физических явлений в области приложений классической кинетической теории и методы построения соответствующих математических моделей. Показать соответствие физических предположений, положенных в основу кинетической теории, существующим экспериментальным данным, что позволяет считать теорию достоверной в области её применимости. Дать навыки, позволяющие понять адекватность теоретической модели соответствующему физическому явлению и определить пределы её применимости.

#### **Задачи дисциплины:**

- Изучение математического аппарата теории кинетических уравнений;
- изучение методов вывода макроскопических уравнений механики сплошных сред из молекулярного описания среды с помощью кинетических уравнений;
- изучение методов вычисления кинетических коэффициентов вязкости и теплопроводности из "первых принципов";
- овладение студентами методов классической кинетической теории газов для описания различных режимов течения газа.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Основные физические положения классической кинетической теории;
- основные уравнения кинетической теории и прежде всего кинетическое уравнение Больцмана;
- основные методы математического аппарата для решения линейных интегральных уравнений возникающих в кинетической теории газов;
- основные методы решения задач в динамике разреженного газа;
- методы и способы описания взаимодействия газа с поверхностью;
- методы получения кинетических уравнений из динамической теории.

**уметь:**

- Пользоваться аппаратом уравнений в частных производных;
- пользоваться аппаратом теории вероятностей;
- пользоваться аппаратом вероятностных функций распределения;
- решать газокинетические задачи с учетом внешних полей;
- решать задачи о поведении макроскопических систем в заданном внешнем поле;
- применять метод теории Чепмена-Энскога для вывода уравнений газовой динамики;
- применять метод Чепмена-Энскога в кинетической теории смеси газов;
- применять уравнение Фоккера-Планка для нахождения коэффициентов диффузии.

**владеть:**

- Основными методами математического аппарата как классической кинетической теории газов;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных как со свойствами макроскопических систем различной природы, так и с их кинетическими свойствами.

**Темы и разделы курса:****1. Функция распределения. Уравнение Больцмана.**

Уровни описания большого числа частиц. Функция распределения. Физические предположения при выводе кинетического уравнения. Принцип детального равновесия. Кинетическое уравнение Больцмана.

**2. Свойства интеграла столкновений. H-теорема.**

Свойства интеграла столкновений. Вывод формулы связывающей энтропию газа с функцией распределения. H-теорема. Длина свободного пробега молекул. Число Кнудсена.

**3. Гидродинамические величины. Общее уравнение переноса. Вывод уравнений газовой динамики.**

Гидродинамические величины. Общее уравнение переноса. Вывод уравнений газовой динамики из кинетического уравнения Больцмана. Законы сохранения массы, импульса и энергии. Замыкание системы уравнений газовой динамики.

**4. Кинетическое уравнение для слабо неоднородного газа. Линеаризация интеграла столкновений.**

Приближенное решение уравнения Больцмана при малых числах Кнудсена. Кинетическое уравнение для слабо неоднородного газа. Линеаризация интеграла столкновений.

**5. Метод Чепмена-Энскога. Вычисление коэффициентов теплопроводности и вязкости.**

Метод Чепмена-Энскога. Выражение левой части кинетического уравнения через градиенты температуры и скорости. Сведение линейных интегральных уравнений к

системе алгебраических уравнений с помощью разложения искомых функций по базису из ортогональных полиномов Сонина. Выражение коэффициентов теплопроводности и вязкости газа через транспортные сечения рассеяния молекул. Симметрия кинетических коэффициентов.

6. Уравнение Больцмана для смеси газов. Диффузия и термодиффузия.

Кинетика смеси газов. Уравнение Больцмана для смеси газов. Метод Чепмена-Энскога для бинарной смеси. Диффузия и термодиффузия. Эффект Дюфура как симметричный эффект к термодиффузии.

7. Диффузия легкого газа в тяжелом. Газ Лоренца.

Основные предположения модели газа Лоренца. Вывод упрощенного кинетического уравнения и его решение. Формулы для коэффициентов диффузии и термодиффузии в газе Лоренца.

8. Диффузия тяжелого газа в легком. Броуновское движение. Уравнение Ланжевена.

Диффузия тяжелого газа в легком. Физические предположения. Броуновское движение. Уравнение Ланжевена. Подвижность тяжелой частицы. Соотношение Эйнштейна связывающие диффузию и подвижность тяжелой частицы.

9. Уравнение Фоккера-Планка. Уравнение диссипативной динамики.

Вывод уравнения Фоккера-Планка методом преобразования интеграла столкновения с учетом малости изменения импульса в процессе столкновения. Альтернативный вывод уравнения Фоккера-Планка из уравнения движения частицы со случайной силой. Уравнение диссипативной динамики. Скрытая суперсимметрия уравнения диссипативной динамики.

10. Явления в слабо разреженных газах. Тепловое скольжение. Термофорез.

Граничные условия на поверхности твердого тела. Коэффициент температурного скачка. Тепловое скольжение. Слабое и сильное испарение, Термофорез.

11. Уравнения Барнетта. Температурные напряжения в газах. Термострессовая конвекция.

Неприменимость уравнений Навье-Стокса для описания медленных изотермических течений. Уравнения Барнетта. Температурные напряжения в газах. Термострессовая конвекция.

12. Явления в сильно разреженных газах. Свободномолекулярное течение.

Свободно молекулярное течение газа. Потоки массы, импульса и энергии. Эффект Кнудсена. Общее решение задачи Коши для кинетического уравнения, описывающего свободно молекулярное течение.

13. Взаимодействие с поверхностью тела. Коэффициенты аккомодации.

Взаимодействие газа с поверхностью тела. Режим полной аккомодации. Линейная теория теплообмена и поверхностных сил для тела в сильно разреженном газе. Коэффициенты аккомодации.

14. Динамический вывод уравнения Больцмана.

Уравнение Лиувилля. Цепочка Боголюбова. Проблема замыкания. Анзац Больцмана. Динамический вывод уравнения Больцмана. Возможные обобщения уравнения Больцмана.



**Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**Кинетические методы анализа временных рядов**

**Цель дисциплины:**

дать студентам основы знаний в области математической статистики применительно к нестационарным случайным процессам.

**Задачи дисциплины:**

освоить основные понятия нестационарной математической статистики, уметь выводить уравнения эволюции для выборочных функций распределения, проводить анализ уровня нестационарности выборочных распределений, строить индикаторы разладки.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

основные кинетические уравнения (Лиувилля, Больцмана, Власова, Фоккера-Планка), индикаторы разладки временных рядов, согласованный уровень стационарности.

**уметь:**

работать с выборочными статистиками и исследовать их на стационарность.

**владеть:**

базовыми понятиями математической статистики и кинетической теории.

**Темы и разделы курса:**

1. Уравнение Лиувилля для динамических систем, зацепляющаяся система моментов

1. Уравнение Лиувилля в классической статистической механике для гладких динамических систем и

цепочка Боголюбова для динамических систем с многочастичным взаимодействием. Уравнения эволюции моментов функции распределения.

2. Вывод уравнений гидродинамики в локально-равновесном приближении. Первое и второе приближения, частные решения цепочки Боголюбова.

3. Уравнение Больцмана.

4. Уравнение Власова.

5. Уравнение Лиувилля для динамических систем с вырождением.

2. Основные понятия динамического хаоса.

Основные понятия динамического хаоса. Логистическая динамическая система. Хаотические динамические системы с вырождением.

3. Уравнение Колмогорова-Фоккера-Планка и эмпирическая оценка его параметров

Уравнение Колмогорова-Фоккера-Планка.

Выборочные функции распределения, критерий Колмогорова. Оптимизация объема выборки для нестационарного временного ряда. Оценка сверху ошибки прогнозирования значений ряда в среднем квадратичном.

Гистограммная оценка плотности функции распределения. Оптимальное разбиение гистограммы.

4. Индикаторы разладки для временных рядов и согласованный уровень стационарности

Согласованный уровень стационарности. Индекс нестационарности выборочных распределений.

5. Уравнение Лиувилля для выборочных плотностей функций распределения.

Эмпирическое уравнение Лиувилля для выборочных плотностей функций распределения.

6. Уравнения эволюции выборочных моментов.

Уравнения эволюции выборочных моментов. Модели замыкания моментной системы.

7. Уравнения эволюции эмпирических моментов для уравнения Фоккера-Планка.

Вывод уравнений эволюции эмпирических моментов для уравнения Фоккера-Планка. Уравнения эволюции выборочных дисперсии, ковариации и асимметрии. Положительная определенность диффузионной матрицы эмпирического уравнения Фоккера-Планка.

8. Стационарные методы анализа временных рядов.

Стационарные методы анализа временных рядов и их ограничения. Парная стационарная линейная регрессия. Авторегрессионные стационарные модели. Модель скользящего среднего. Модели авторегрессии-скользящего среднего, коинтегрированные временные ряды.

9. Нестационарная корреляция. Нестационарный пуассоновский поток событий.

Оценка достоверности нестационарной корреляции.

Нестационарный пуассоновский поток событий.

10. Горизонтный ряд и его свойства.

Горизонтный ряд и его свойства. Распределение горизонтного ряда стационарного процесса при горизонте прогнозирования на один шаг вперед. Распределение горизонтного ряда в последнем сегменте горизонта прогнозирования.

11. Оптимальный объем выборки для задачи прогнозирования.

Определение оптимального объема выборки для задачи прогнозирования.

12. Построение индикаторов разладки.

Типы расстояний между выборочными распределениями и точность идентификации фрагмента временного ряда. Построение индикаторов разладки.

13. Анализ статистики символов в естественных языках.

Анализ статистики символов в естественных языках. Методы идентификации атрибутов текстов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Кинетические явления в кристаллах**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний в области физики конденсированного состояния, анализ физических процессов, определяющих термодинамику и динамику квазичастиц, изучение методов описания кинетических явлений в кристаллах.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики конденсированного состояния как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- ознакомление с методами теоретического описания динамики квазичастиц в физике конденсированного состояния;
- формирование у студентов подходов к экспериментальным исследованиям в области физики конденсированного состояния и смежных наук в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях в области исследования кинетических явлений в кристаллах;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях применительно к исследованиям кинетических явлений в кристаллах;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

**уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

**владеть:**

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента применительно к исследованию кинетических явлений в кристаллах;
- научной картиной мира;
- математическим моделированием физических задач.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Зонный спектр кристаллов.

Многочастичное уравнение. Шредингера для кристалла. Приближение Борна-Оппенгеймера. Одноэлектронное приближение. Уравнение Хартри и уравнение Хартри-Фока. Зонный спектр. Квазиимпульс, зона Бриллюэна. Теорема Блоха. Закон дисперсии и эффективная масса. Методы расчетов зонного спектра метод псевдопотенциала, k-p – метод. Тензор эффективной массы, роль симметричных точек в зоне Бриллюэна. Зонный спектр одномерного уравнения Шредингера с периодическим потенциалом. Операторы координаты и скорости для электронов в кристалле. Закон изменения квазиимпульса. Метод эффективной массы. «Искривление» зон во внешнем поле. Динамика электрона в случае однородного электрического поля. Решение задачи о водородоподобной примеси.

## 2. Квазичастицы.

Квазичастицы. Определение, введение квазичастиц на примере идеального Ферми-газа. Поверхность Ферми. Полное число состояний в зоне Бриллюэна. Функции распределения квазичастиц и частиц, химпотенциал. Электроны и дырки в полупроводниках. Модель Ферми-газа. Плотность состояний, особенности Ван-Хова. Эффективная масса плотности состояний. Интегралы Зоммерфельда. Температурная зависимость химпотенциала, температура вырождения. Электронная теплоемкость. Квазичастицы в идеальном Бозе-газе. Функции распределения и химпотенциал. Бозе-конденсация. Температура конденсации. Колебания кристаллической решетки. Динамические уравнения, свойства силовой функции. Закон дисперсии. Акустические и оптические колебания. Переход к квантовому описанию. Фононы, функция распределения. Фононная теплоемкость.

## 3. Движение в магнитном поле.

Движение электронов в кристалле во внешнем магнитном поле. Траектории и циклотронная масса. Квазиклассическое квантование движения в магнитном поле. Уровни Ландау. Плотность состояний. Роль экстремальных сечений поверхности Ферми. Цилиндр Ландау. Квантовые осцилляционные явления. Эффекты де Гааза-ван Альфена и Шубникова-де Гааза. Период квантовых осцилляций по обратному полю. Движение хипотенциала в магнитном поле. Спиновое расщепление. Амплитуда осцилляций. Формула Лифшица-Косевича, температура Дингла. Использование квантовых осцилляционных эффектов для исследования поверхности Ферми.

#### 4. Кинетическое уравнение Больцмана.

Модель Друде: проводимость, эффект Холла, магнитосопротивление и циклотронный резонанс. Кинетическое уравнение Больцмана. Выражение для тока и потока энергии. Теорема Лиувилля. Приближение времени релаксации. Время релаксации для основных механизмов рассеяния в твердых телах (ионы примеси, колебания решетки, вакансии и точечные дефекты, дислокации, границы кристаллитов, межэлектронное рассеяние). Задача о рассеянии электрона на ионизированной примеси. Формула Конуэлл-Вайскопфа. Решение кинетического уравнения Больцмана в вырожденном случае. Проводимость, частотная зависимость проводимости. Движение в магнитном поле, тензор проводимости и эффект Холла. Сравнение с моделью Друде. Общее решение кинетического уравнения Больцмана в приближении времени релаксации. Продольные и поперечные эффекты. Кинетические коэффициенты. Случай изотропной и анизотропной эффективной массы. Расчет проводимости с помощью кинетического уравнения Больцмана. Температурная зависимость дрейфовой подвижности в случае рассеяния на акустических фононах и ионах примеси. Случай многодолинной изоэнергетической поверхности. Транспортная эффективная масса. Случай нескольких групп носителей заряда. Сравнение с моделью Друде.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Кинетические явления в неупорядоченных средах и наноматериалах**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний в области физики неупорядоченных сред и наноматериалов, сравнительный анализ кинетических явлений в кристаллах и неупорядоченных средах, изучение методов теоретического описания перехода металл-диэлектрик и кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики неупорядоченных сред как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей фундаментальные основы современных инновационных сфер деятельности;
- ознакомление с методами теории неупорядоченных сред;
- обучение принципам анализа кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах;
- формирование у студентов подходов к исследованиям в области физики неупорядоченных сред в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях в области исследования кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях применительно к исследованиям кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

**уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

**владеть:**

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента применительно к исследованию кинетических явлений в неупорядоченных средах и наноматериалах;
- научной картиной мира;
- математическим моделированием физических задач.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Теория протекания.

Теория протекания. Задача узлов на упорядоченных решетках. Кластеры. Порог протекания. Задачи на конечных решетках. Задачи на бесконечных решетках. Бесконечный кластер. Инвариант задачи узлов. Черное и белое протекание. Структура бесконечного кластера (на примере задачи узлов). Модель Шкловского-де Женна. Радиус корреляции, критическое поведение, физический смысл для  $x > x_c$  и  $x < x_c$ . Функция  $P(x)$  для вероятности принадлежности к бесконечному кластеру. Задача связей и ее инвариант. Решетка Бете. Точное решение для  $P(x)$  и  $x_c$  на решетке Бете. Континуальные задачи. Инвариант континуальной задачи. Задачи на случайных узлах. Задача сфер, критерий связности. Инварианты задачи сфер. Кинетические свойства гетерогенных сред. Проводимость для случая малой концентрации включений. Металлические включения в диэлектрической матрице. Идеально проводящие (сверхпроводящие) включения в диэлектрической матрице. Эффект формы включений. Критическое поведение проводимости в окрестности порога протекания для металлических и сверхпроводящих включений. Интерполяционные формулы.

## 2. Прыжковая проводимость.

Постановка задачи о проводимости по локализованным состояниям. Прыжковая проводимость. Сетка сопротивлений Миллера-Абрахамса. Метод решения задачи о прыжковой проводимости, основанный на теории протекания. Закон Мотта. Прыжковая проводимость с переменной длиной прыжка, оптимальные прыжки. Влияние особенностей в плотности состояний на прыжковую проводимость. Суперлокализация волновой функции. Решение задачи о прыжковой проводимости по Мотту. Проводимость на



постоянном и переменном токе. Оптимальные прыжки. Проблема корреляций. Короткодействующие (хаббардовские) корреляции. D- -состояния. Влияние хаббардовских корреляций на прыжковую проводимость. Дальнодействующие (кулоновские) корреляции. Кулоновская щель. Элементарные возбуждения в модели кулоновской щели. Кулоновская щель и прыжковая проводимость. Экранировка в модели кулоновской щели.

### 3. Переход металл-изолятор.

Переход металл-изолятор. Случайный потенциал, порог подвижности Ферми-стекло. Локализованные и делокализованные состояния. Теорема Андерсона. Модели Андерсона и Мотта. Переход металл-изолятор в легированном полупроводнике. Критерий Мотта. Скейлинг. Проблема описания перехода металл-изолятор, порог подвижности как особая точка. Модель Андерсона, безразмерная проводимость как мера беспорядка. Гипотеза масштабной инвариантности. Вывод уравнения однопараметрического скейлинга. Квантовые поправки к проводимости. Отрицательное магнитосопротивление в теории квантовых поправок, квантовые интерференционные эффекты. Асимптотики функции Гелл-Манна - Лоу в двумерном и трехмерном случаях. Окрестность порога подвижности. Локализация состояний в двумерных системах. Критическое поведение радиуса локализации и проводимости в модели однопараметрического скейлинга. Температурные зависимости в модели однопараметрического скейлинга. Длина когерентности. Квантовые поправки к проводимости на металлической стороне перехода. Окрестность порога подвижности, решение Аронова-Альтшулера. Диэлектрическая сторона перехода, неоптимальные прыжки Звягина. Смена режима оптимальных и неоптимальных прыжков. Неоптимальные прыжки на постоянном и переменном токе. Переход металл-изолятор в Ферми-стекле по Мотту. Минимальная металлическая проводимость. Активация на порог подвижности. Анализ экспериментальных данных с точки зрения различных моделей: модели Мотта, скейлинга и квазиклассической теории протекания. Особенности проводимости и критического поведения в двумерных системах с точки зрения модели однопараметрического скейлинга. Проблема определения положения порога подвижности. Эффект сдвига порога подвижности в результате квантовых интерференционных эффектов.

### 4. Гальваномагнитные и термоэлектрические явления.

Описание гальваномагнитных эффектов с помощью кинетического уравнения Больцмана. Эффект Холла. Угол Холла, холловская подвижность, коэффициент Холла. Расчет эффекта Холла с помощью кинетического уравнения Больцмана. Случаи слабого и сильного поля, Холл-фактор. Случай нескольких групп носителей заряда. Сравнение с моделью Друде. Магнитосопротивление. Коэффициент магнитосопротивления. Расчет поперечного магнитосопротивления с помощью кинетического уравнения Больцмана. Случаи слабого и сильного поля. Насыщение магнитосопротивления. Роль поля Холла. Магнитосопротивление в образце конечных и бесконечных размеров. Отрицательное магнитосопротивление в теории квантовых поправок. Влияние магнитного поля на прыжковую проводимость. Сетка сопротивлений Миллера-Абрахамса в магнитном поле. Решение для случаев слабого и сильного поля. Сжатие волновой функции. Влияние хаббардовских корреляций. Спин-поляризационный и зеемановский механизмы магнитосопротивления. Отрицательное магнитосопротивление в области прыжковой проводимости. Эффект Холла в области прыжковой проводимости. Описание термоэдс с помощью кинетического уравнения Больцмана. Характеристики пары и материала. Вырожденный и невырожденный случаи. Формула Мотта. Вклад электрон-фононного взаимодействия в термоэдс. Фононное увлечение. Случай нескольких групп носителей

заряда. Термоэдс в области прыжковой проводимости. Формула Звягина. Термоэдс в гетерогенных средах.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Китайский язык для общепрофессиональных целей**

#### **Цель дисциплины:**

Цель преподавания и изучения дисциплины "Китайский язык для общепрофессиональных целей" заключается в формировании и развитии межкультурной профессионально ориентированной коммуникативной компетенции для решения коммуникативных задач в социокультурной, академической и профессионально-деловой сферах деятельности, а также для развития профессиональных и личностных качеств выпускников магистратуры.

#### **Задачи дисциплины:**

Задачи формирования межкультурной профессионально ориентированной коммуникативной компетенции состоят в последовательном овладении студентами совокупностью субкомпетенций, основными из которых являются:

- межкультурная компетенция: общая способность распознавать условия и особенности межкультурной ситуации, избирать конкретные тактики ведения межкультурного диалога с позиции равного статуса двух взаимодействующих культур;
- лингвистическая компетенция: способность понимать речь других людей и использовать в вербальной коммуникации грамматически и синтаксически правильных форм;
- социолингвистическая компетенция: умение выбирать оптимальные лингвистические формы, способы языкового выражения в зависимости от коммуникативной цели говорящего и других конкретных межкультурных условий высказывания;
- социокультурная компетенция: способность учитывать в общении речевое и неречевое поведение, принятое в стране изучаемого языка;
- социальная компетенция: способность взаимодействовать с партнерами по общению, умение управлять межкультурной ситуацией, владение соответствующими стратегиями;
- дискурсивная (речевая) компетенция: знание правил построения устных и письменных сообщений-дискурсов, умение планировать и строить такие сообщения и понимать их смысл в речи других людей;
- стратегическая (компенсаторная) компетенция: умение пользоваться наиболее эффективными стратегиями при решении коммуникативных задач и компенсировать недостаток знаний или навыков при ведении межкультурной коммуникации;
- компенсаторная компетенция: умение преодолевать коммуникативный барьер за счет использования известных речевых и метаязыковых средств;

– прагматическая компетенция: умение выбирать наиболее эффективный и целесообразный способ выражения мысли в зависимости от условий коммуникативного акта и поставленной задачи.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- Основные факты, реалии, имена, достопримечательности, традиции Китая;
- события из области истории, культуры, политики, социальной жизни Китая;
- основные фонетические, лексико-грамматические, стилистические особенности китайского языка и аналогичные особенности в родном языке;
- социальную специфику китайской и родной культур.

#### **уметь:**

- Порождать адекватные в условиях конкретной ситуации общения устные и письменные тексты;
- реализовать коммуникативное намерение с целью воздействия на партнера по общению;
- адекватно понимать и интерпретировать смысл и намерение автора при восприятии устных и письменных аутентичных текстов;
- выявлять сходство и различия в фонетической, лексико-грамматической, синтаксической и стилистической системах родного и китайского языка;
- выявлять условия и особенности межкультурной коммуникативной ситуации;
- прогнозировать возможный межкультурный конфликт и выбирать тактику его разрешения;
- пользоваться специализированными Интернет-ресурсами и компьютерными технологиями (в т.ч. иностранными), направленными на поиск информации языкового и культурного характера;
- проявлять толерантность, эмпатию, открытость, дружелюбие, готовность и желание помочь при общении с представителями другой культуры;
- самостоятельно добывать новые знания межкультурного характера и использовать их на практике;
- критически осознавать иноязычную и родную культуры, давать им самостоятельную интерпретацию и оценку.

#### **владеть:**

- Межкультурной профессионально ориентированной коммуникативной компетенцией, включая основные субкомпетенции, в разных видах речевой и неречевой деятельности на элементарном уровне,

- различными межкультурно-коммуникативными стратегиями;
- учебными стратегиями для организации своей учебной деятельности;
- стратегиями рефлексии и самооценки в целях самосовершенствования личных качеств и достижений;
- стратегиями культурной саморефлексии, т.е. стратегиями, дающими критический взгляд на культуру для их последующей интерпретации и оценки;
- базовыми навыками ведения межкультурной коммуникации в рамках принятого вербального и невербального этикета;
- разными приемами запоминания и структурирования усваиваемого материала;
- Интернет-технологиями для выбора оптимального режима получения информации;
- презентационными технологиями для сообщения информации.

### **Темы и разделы курса:**

1. Планы на выходные, приглашение гостей, обсуждение традиций приема гостей в Китае.

Обсуждение привычного времяпрепровождения в выходные, прием гостей, фразы вежливости при приеме гостей, обсуждение особенностей времяпрепровождения в гостях в Китае.

Знакомство с лексикой по теме: уикенд, виды деятельности, угощения, как добрались, отмечать праздники и т. п. Фразы настроения.

Коммуникативные задачи: описывать свое настроение и предпочтения, научиться поддерживать вежливую беседу в гостях.

Письмо: иероглифика, соответствующая теме «выходные», «в гостях».

Грамматика: наречия степени 太, 真, 有一点, 一点儿, 不太, 最,, предложная конструкция с предлогом 在, альтернативный вопрос с союзом 还是, модальные глаголы 会, 得; риторический вопрос 不是... 吗 · высказывания с условием «если..., то...».

2. Привычки, адаптация к новым условиям.

Обсуждение своих привычек, привычек собеседника, привыкание к новым условиям в незнакомой стране.

Коммуникативные задачи: научиться вести личные беседы, давать советы, интересоваться ситуацией собеседника в новых условиях.

Письмо: иероглифика, соответствующая теме (привык, адаптировался, возраст, здоровый образ жизни).

Грамматика: наречия 就, 才, наречие 还, наречие 大概. Вопрос 多大年纪?

3. Здоровье, заболевание, визит к больному, лекарства и лечение.

Разговор о заболеваниях, лекарствах, способах лечения, больничных.

Коммуникативные задачи: научиться говорить о самочувствии, болезни, говорить с врачом о своих жалобах, понимать диагноз и способы лечения, уметь отпроситься у учителя по болезни.

Письмо: иероглифика, соответствующая теме «здоровье, болезнь, лечение».

Грамматика: частица 了, суффикс 了, модальный глагол 能, выражения 好像, 最好....

4. Планы на ближайшее и отдаленное будущее, внезапная смена планов.

Обсуждение продолжительности какого-то периода в жизни в прошлом, настоящем и будущем, обсуждение планов на будущее — отдаленное и ближайшее

Коммуникативные задачи: научиться говорить о длительности действия в настоящем, прошедшем и будущем, обсуждать планы, мечты, намерения, научиться составлять совместные планы на выходные.

Письмо: иероглифика, соответствующая теме «планы на будущее», «встреча», «продолжительность времени».

Грамматика: грамматика длительности действия, специальный вопрос к дополнению длительности.

5. Хобби, спорт, активный отдых.

Обсуждение любимых видов деятельности, вариантов времяпрепровождения, занятий спортом.

Коммуникативные задачи: научиться описывать свое хобби, обсуждать занятия спортом, физические нагрузки, свои предпочтения и самочувствие после активного времяпрепровождения.

Письмо: иероглифика, соответствующая теме («хобби», «спорт» и пр.).

Грамматика: различение модальных глаголов 会, 可以, 能, 得, 想, 要..

6. Подготовка к экзаменам, планы на каникулы.

Обсуждение своей готовности к экзамену, волнение, уровень знаний. Выражение скорого наступления какого-то события.

Коммуникативные задачи: научиться говорить о наступающих событиях, обсуждать подготовку к предстоящим мероприятиям.

Письмо: иероглифика, соответствующая теме («экзамен», «каникулы» и пр.).

Грамматика: конструкции 快要...了, 就要...了; наречия 只好, 可能, наречия 再, 又.

#### 7. Планирование путешествий по Китаю, интересные места для посещения в Китае.

Обсуждение интересных мест для поездки по Китаю, разговор о планах на каникулы. Ролевые коммуникативные игры по теме.

Коммуникативные задачи: научиться обсуждать путешествия, интересные места, свои размышления о предстоящих событиях.

Письмо: иероглифика, соответствующая темам «путешествия», «каникулы» и пр.

Грамматика: прилагательное + 极了, глагольные счетные слова 一趟, 一次, 一遍.

#### 8. Обсуждение сложностей в учебе, результатов экзаменов.

Коммуникативные задачи: научиться рассказывать по-китайски о сложностях при подготовке к чему-либо, о своих переживаниях, своем состоянии, научиться строить вопросы и предложения о результатах какого-либо дела.

Письмо: иероглифика, соответствующая теме («экзамен», «задания», «подготовка» и т.д.).

Грамматика: дополнение результата, частица 得.

#### 9. Способы путешествовать по Китаю, виды транспорта, категории билетов.

Особенности путешествия по Китаю на поезде, категории билетов: купе, мягкий сидячий, жесткий сидячий, билет без места.

Коммуникативные задачи: научиться беседовать о предстоящей поездке, знакомство в особенностями китайский поездов, научиться различать на слух и знать, как купить нужную категорию билета, поменять билет и др.

Письмо: иероглифика, соответствующая теме («поезд», «билет» и т.д.)

Грамматика: результативная морфема 完, 好, 到, 见 · 干净.

10. Вечер встреч, подготовка к вечеринке.

Обсуждение подготовки к вечеру встреч, приготовления, подготовка выступления.

Ролевые коммуникативные игры по теме.

Коммуникативные задачи: научиться обсуждать предстоящее мероприятие, подготовку к нему, знакомство с традициями проведения вечеринок в кругу коллег из разных стран.

Письмо: иероглифика, соответствующая теме («встреча», «вечеринка», «готовиться» и пр.)

Грамматика: обобщение пройденной грамматики.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Китайский язык для специальных целей**

#### **Цель дисциплины:**

Целью изучения дисциплины «Китайский язык для специальных целей» является формирование и развитие межкультурной профессионально-ориентированной коммуникативной компетенции студентов на элементарном уровне для решения коммуникативных задач в профессионально-деловой, социокультурной и академической сферах деятельности, а также для развития профессиональных и личностных качеств выпускников магистратуры.

#### **Задачи дисциплины:**

Достижение элементарного уровня межкультурной профессионально-ориентированной коммуникативной компетенции в ходе изучения дисциплины «Китайский язык для специальных целей» требует решения ряда задач, которые состоят в последовательном овладении студентами совокупностью субкомпетенций, основными из которых являются:

- лингвистическая компетенция: способность понимать речь других людей и выражать собственные мысли на китайском языке;
- социокультурная компетенция: способность учитывать в общении речевое и неречевое поведение, принятое в КНР;
- социальная компетенция: способность взаимодействовать с партнерами по общению, владение соответствующими стратегиями;
- дискурсивная компетенция: знание правил построения устных и письменных сообщений-дискурсов, умение строить такие сообщения и понимать их смысл в речи других людей;
- стратегическая компетенция: умение пользоваться наиболее эффективными стратегиями при решении коммуникативных задач;
- предметная компетенция: знание предметной информации при организации собственного высказывания или понимания высказывания других людей;
- компенсаторная компетенция: умение преодолевать коммуникативный барьер за счет использования известных речевых и метаязыковых средств;
- прагматическая компетенция: умение выбирать наиболее эффективный и целесообразный способ выражения мысли в зависимости от условий коммуникативного акта и поставленной задачи.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

- основные факты, реалии, имена, достопримечательности, традиции КНР;
- события из области истории, культуры, политики, социальной жизни КНР;
- основные фонетические, лексико-грамматические, стилистические особенности китайского языка и его отличие от родного языка;
- основные особенности письменной и устной форм коммуникации.

**уметь:**

- порождать адекватные в условиях конкретной ситуации общения устные и письменные тексты;
- реализовать коммуникативное намерение с целью воздействия на партнера по общению;
- адекватно понимать и интерпретировать смысл и намерение автора при восприятии устных и письменных аутентичных текстов;
- выявлять сходство и различия в системах родного, первого иностранного (второго иностранного) и китайского языков;
- проявлять толерантность, эмпатию, открытость и дружелюбие при общении с представителями другой культуры.

**владеть:**

- межкультурной профессионально-ориентированной коммуникативной компетенцией в разных видах речевой деятельности на элементарном уровне;
- социокультурной компетенцией для успешного взаимопонимания в условиях общения с представителями другой культуры;
- различными коммуникативными стратегиями;
- учебными стратегиями для организации своей учебной деятельности;
- стратегиями рефлексии и самооценки в целях самосовершенствования личных качеств и достижений;
- разными приемами запоминания и структурирования усваиваемого материала;
- Интернет-технологиями для выбора оптимального режима получения информации;
- презентационными технологиями для сообщения информации.

**Темы и разделы курса:**

1. Вводно-фонетический и вводно-иероглифический курс. Знакомство с китайскими коллегами.

Ознакомление с основами произносительной базы китайского языка (путунхуа) и основными правилами каллиграфии и иероглифики. Актуализация полученных знаний в речевой деятельности.

Коммуникативные задачи: воспринимать на слух и воспроизводить слова, словосочетания, фразы соблюдая произносительную норму китайского языка. Читать слова, словосочетания и фразы как записанные пиньинь, так и записанные иероглифами, соблюдая произносительную норму китайского языка. Составлять фразы, в т.ч. повседневного обихода, соблюдая лексико-грамматические нормы китайского языка. Употреблять фразы вежливости. Участвовать в диалоге-расспросе и диалоге-побуждении к действию. Принимать участие в ролевой игре «Знакомство с китайскими коллегами».

Произношение: звуко-буквенный стандарт записи слов китайского языка - пиньинь, соблюдение основных требований к произношению звуков китайского языка и различение на слух всех звуков китайского языка. Соблюдение правил системы тонов китайского языка, основные типы интонации китайских предложений.

Лексика: фразы приветствия и прощания, устойчивые выражения, фразы вежливости. Названия стран мира, городов КНР и мира. Числительные от 1 до 100 000 000, основные счетные слова. Популярные китайские фамилии, члены семьи. Названия университетов, некоторых мировых и китайских фирм.

Грамматика: основные коммуникативные типы предложений - повествовательные (утвердительные/отрицательные), вопросительные (общий и специальный вопрос), побудительные, восклицательные и их структуры (порядок слов, топик и комментарий (подлежащее и сказуемое, инвертированное дополнение и т.п.). Предложение с качественным сказуемым, качественным прилагательным в позиции комментария). Отрицательная форма предложения с качественным сказуемым, качественным прилагательным в позиции комментария. Предложения с глаголом-связкой 是 shì, положение отрицания 不 bù в предложении с глаголом-связкой 是 shì, вопросительные предложения с частицами 吗 ma, 吧 ba, 呢 ne. Определение со значением притяжательности. Частица 的 de. Порядок следования определений в китайском предложении. Личные местоимения в китайском языке, их функции и употребление. Указательные и вопросительные местоимения в китайском языке. Вопросительные предложения с вопросительными местоимениями. Порядок слов в вопросительном предложении с вопросительным местоимением. Предложение с глагольным сказуемым (глаголом действия в позиции комментария). Наречия 也 yě и 都 dōu, их место в предложении относительно сказуемого. Сочетание наречия 都 dōu с отрицанием 不 bù.

Письмо: основные правила каллиграфии. Основы иероглифики, овладение графемами и иероглифами в соответствии с осваиваемым лексико-грамматическим материалом. Написание небольших письменных высказываний в соответствии с коммуникативной задачей.

2. Повседневная жизнь на работе и дома, общение с коллегами

Обсуждение своих предпочтений (цвет, одежда, еда и напитки, хобби, виды спорта, праздники). Сообщение местоположения. Разговор о дате и времени. Описание внешности человека. Актуализация полученных знаний, навыков и умений в речевой деятельности.

Коммуникативные задачи: воспринимать на слух и воспроизводить слова, словосочетания, фразы, соблюдая произносительную норму китайского языка. Понимать основное содержание различных аутентичных прагматических и публицистических аудио- и видеотекстов соответствующей тематики. Извлекать необходимую/запрашиваемую информацию из различных аудио- и видеотекстов соответствующей тематики. Читать слова, словосочетания, фразы и небольшие тексты как записанные пиньинь, так и записанные иероглифами, соблюдая произносительную норму китайского языка. Читать аутентичные тексты различных стилей с использованием различных стратегий/видов чтения в соответствии с коммуникативной задачей. Составлять фразы и небольшие тексты, соблюдая лексико-грамматические нормы китайского языка. Употреблять фразы вежливости. Участвовать в диалоге-расспросе и диалоге-побуждении к действию, вести диалог-обмен мнениями, вести комбинированный диалог, включающий элементы разных типов диалогов. Рассказывать, рассуждать в рамках изученной тематики и проблематики, в том числе приводя примеры, аргументы. Описывать события, излагать факты, прочитанное/прослушанное/увиденное. Сообщение местоположения и направления движения, о том, как проехать/пройти и на каких видах транспорта. Рассказ о предпочтениях в цвете, одежде, еде и напитках, хобби, любимых видах спорта. Описывать характер и внешность человека. Рассказывать о любимых праздниках. Принять участие в играх «Угадай кто?». Принять участие в ролевой игре «На корпоративном мероприятии».

Произношение: соблюдение основных требований к произношению звуков китайского языка и различение на слух всех звуков китайского языка. Соблюдение правил системы тонов китайского языка. Основные типы интонации китайских предложений, мелодика и ритм китайских предложений разных типов, фразовое ударение.

Лексика: устойчивые выражения, фразы вежливости. Дата, время, время дня, дни недели в китайском языке. Послелогии («наречия места»), уточняющие пространственные отношения. Виды транспорта. Цвета, одежда, еда и напитки. Праздники в КНР и РФ.

Грамматика: основные коммуникативные типы предложений - повествовательные (утвердительные/отрицательные), вопросительные (общий и специальный вопрос), побудительные, восклицательные и схемы их построения. Предложения наличия и обладания с глаголом 有 ую. Несколько глаголов в составе сказуемого. Предложения с глагольным сказуемым, принимающим после себя два дополнения (двойное дополнение). Глаголы (глаголы-предлоги) в позиции предлога в китайском языке. Предложные конструкции. Обстоятельство времени, способы обозначения точного времени и даты. Порядок следования обстоятельств времени в предложении. Удвоение глагола. Послелогии

(«наречия места»), уточняющие пространственные отношения (前边 qiánbiān, 后边 hòubiān, 上边 shàngbiān и др.), в функции подлежащего, дополнения, определения. Предложения со значением местонахождения (глагол 在 zài, глагол 有 yǒu, связка 是 shì). Односложный дополнительный элемент направления (модификатор, (полу-) суффикс глагола движения) 来 lái / 去 qù. Удвоение прилагательных, двусложные прилагательные в позиции определения.

Письмо: овладение графемами и иероглифами в соответствии с осваиваемым лексико-грамматическим материалом. Написание сообщений или письменных высказываний в соответствии с коммуникативной задачей.

3. Прошлый личный и профессиональный опыт. Здоровье и забота о нем. Экскурсия по университету, офису фирмы.

Обсуждение прошлого личного и профессионального опыта, быта, домашних животных. Разговор о проблеме здоровья и заботы о нем, самочувствия (части тела), медицинских услуг. Знакомство с типичным китайским университетом, экскурсия по кампусу университета, офису фирмы. Актуализация полученных знаний, навыков и умений в речевой деятельности.

Коммуникативные задачи: воспринимать на слух и воспроизводить слова, словосочетания, фразы, соблюдая произносительную норму китайского языка. Понимать основное содержание различных аутентичных прагматических и публицистических аудио- и видеотекстов соответствующей тематики. Извлекать необходимую/запрашиваемую информацию из различных аудио- и видеотекстов соответствующей тематики. Читать слова, словосочетания, фразы и небольшие тексты как записанные пиньинь, так и записанные иероглифами, соблюдая произносительную норму китайского языка. Читать аутентичные тексты различных стилей с использованием различных стратегий/видов чтения в соответствии с коммуникативной задачей. Составлять фразы и небольшие тексты, соблюдая лексико-грамматические нормы китайского языка. Употреблять фразы вежливости. Участвовать в диалоге-расспросе и диалоге-побуждении к действию, вести диалог-обмен мнениями, вести комбинированный диалог, включающий элементы разных типов диалогов. Рассказывать, рассуждать в рамках изученной тематики и проблематики, в том числе приводя примеры, аргументы. Описывать события, излагать факты, прочитанное, прослушанное, увиденное. Сообщения о прошлом опыте как в повседневной жизни, так и в профессиональной. Рассказывать о любимых домашних животных. Рассказывать о проблемах со здоровьем, о частях тела. Описывать кампус университета, офис фирмы. Принять участие в ролевой игре «Экскурсия по кампусу университета, офису фирмы».

Произношение: соблюдение основных требований к произношению звуков китайского языка и различение на слух всех звуков китайского языка. Соблюдение правил системы

тонов китайского языка. Основные типы интонации китайских предложений, мелодика и ритм китайских предложений разных типов, фразовое ударение.

Лексика: устойчивые выражения, фразы вежливости. Домашние животные. Здоровье, самочувствие, части тела, лекарства, медицинские услуги. Структура кампуса университета; учреждения, входящие в состав кампуса.

Грамматика: основные коммуникативные типы предложений - повествовательные (утвердительные/отрицательные), вопросительные (общий и специальный вопрос), побудительные, восклицательные и схемы их построения. Выражение значения действия, имевшего место в неопределенное время в прошлом (суффикс 过 guo). Отрицательная форма глаголов с суффиксом 过 guo. Показатель состоявшегося действия суффикс 了 le, модальная частица 了 le. Отрицание в предложениях с суффиксом 了 le и модальной частицей 了 le. Употребление модальных глаголов 想 xiǎng, 要 yào, 会 huì, 能 néng, 可以 kěyǐ и др. и их значения. Отрицательная форма модальных глаголов. Выражение значения продолженного действия/вида. Употребление наречий 正 zhèng, 在 zài, комбинации 正在 zhèngzài и модальной частицы 呢 ne для передачи значения продолженного действия. Выделительная конструкция 是...的 shì ...de.

Письмо: овладение графемами и иероглифами в соответствии с осваиваемым лексико-грамматическим материалом. Написание сообщений или письменных высказываний в соответствии с коммуникативной задачей.

#### 4. Погода и географическое положение РФ, КНР

Обсуждение погоды и географического положения России и Китая. Разговор о подготовке ко дню рождения. Актуализация полученных знаний, навыков и умений в речевой деятельности.

Коммуникативные задачи: воспринимать на слух и воспроизводить слова, словосочетания, фразы, соблюдая произносительную норму китайского языка. Понимать основное содержание различных аутентичных прагматических и публицистических аудио- и видеотекстов соответствующей тематики. Извлекать необходимую/запрашиваемую информацию из различных аудио- и видеотекстов соответствующей тематики. Читать слова, словосочетания, фразы и небольшие тексты как записанные пиньинь, так и записанные иероглифами, соблюдая произносительную норму китайского языка. Читать аутентичные тексты различных стилей с использованием различных стратегий/видов чтения в соответствии с коммуникативной задачей. Составлять фразы и небольшие тексты, соблюдая лексико-грамматические нормы китайского языка. Употреблять фразы вежливости. Участвовать в диалоге-расспросе, диалоге-побуждении к действию, вести диалог-обмен мнениями, вести комбинированный диалог, включающий элементы разных типов диалогов. Рассказывать, рассуждать в рамках изученной тематики и проблематики, в том числе приводя примеры, аргументы. Описывать события, излагать факты, прочитанное, прослушанное, увиденное. Рассказывать о том, в каком году по восточному календарю

родился. Характеризовать совершаемые действия или состояния. Сравнить погодные явления, людей и т.д. Рассказывать о географическом положении стран, городов, районов. Принять участие в ролевой игре «Прием по случаю дня рождения».

Произношение: соблюдение основных требований к произношению звуков китайского языка и различение на слух всех звуков китайского языка. Соблюдение правил системы тонов китайского языка. Основные типы интонации китайских предложений, мелодика и ритм китайских предложений разных типов, фразовое ударение.

Лексика: устойчивые выражения, фразы вежливости. Восточный календарь. Название некоторых должностей, характеристика действий/явлений, выражения сравнения. Погода, природные явления. Географическое положение, названия некоторых географических объектов.

Грамматика: основные коммуникативные типы предложений - повествовательные (утвердительные/отрицательные), вопросительные (общий и специальный вопрос), побудительные, восклицательные и схемы их построения. Дополнительный элемент оценки (обстоятельство результата). Частица 得 de (-de постпозитивное). Сравнительные конструкции (с предлогом 比 bǐ, 没有 méi yǒu). Выражения подобия (конструкция 跟...— 羊 gēn ... yúàng). Дополнительный элемент количества в сравнительных конструкциях (обстоятельство меры – прим. 比她大两岁). Распознавать и употреблять в речи наречия степени 真 zhēn, 太 tài, 非常 fēicháng, 更 gèng. Безличные предложения, описывающие природные явления. Последовательно-связанные безличные предложения. Распознавать и употреблять в речи наречия: 还 hái, 再 zài, 又 yòu, 就 jiù, 才 cái и др.

Письмо: овладение графемами и иероглифами в соответствии с осваиваемым лексико-грамматическим материалом. Написание сообщений или письменных высказываний в соответствии с коммуникативной задачей.

5. Изучение иностранных языков для профессиональных целей. Аренда жилья при переезде.

Обсуждение проблем в изучении иностранных языков, непредвиденных ситуаций, вопросов аренды квартиры. Актуализация полученных знаний, навыков и умений в речевой деятельности.

Коммуникативные задачи: воспринимать на слух и воспроизводить слова, словосочетания, фразы, соблюдая произносительную норму китайского языка. Понимать основное содержание различных аутентичных прагматических и публицистических аудио- и видеотекстов соответствующей тематики. Извлекать необходимую/запрашиваемую информацию из различных аудио- и видеотекстов соответствующей тематики. Читать слова, словосочетания, фразы и небольшие тексты как записанные пиньинь, так и записанные иероглифами, соблюдая произносительную норму китайского языка. Читать аутентичные тексты различных стилей с использованием различных стратегий/видов

чтения в соответствии с коммуникативной задачей. Составлять фразы и небольшие тексты, соблюдая лексико-грамматические нормы китайского языка. Употреблять фразы вежливости. Участвовать в диалоге-расспросе, диалоге-побуждении к действию, вести диалог-обмен мнениями, вести комбинированный диалог, включающий элементы разных типов диалогов. Рассказывать, рассуждать в рамках изученной тематики и проблематики, в том числе приводя примеры, аргументы. Описывать события, излагать факты, прочитанное/прослушанное/увиденное. Беседовать о длительности и кратности разного рода действий (как долго изучаешь иностранный язык, сколько раз бывал в КНР и т.п.). Рассказывать о проблемах, возникающих при изучении иностранных языков. Сравнить жилье разных типов. Рассказывать о непредвиденных ситуациях и возможностях преодоления такого рода проблем. Принять участие в ролевой игре «Аренда квартиры».

Произношение: соблюдение основных требований к произношению звуков китайского языка и различение на слух всех звуков китайского языка. Соблюдение правил системы тонов китайского языка; основные типы интонации китайских предложений, мелодика и ритм китайских предложений разных типов, фразовое ударение.

Лексика: устойчивые выражения, фразы вежливости. Изучение иностранного языка. Длительность и кратность совершаемых действий или состояний, непредвиденные происшествия (нет билетов, авария на дороге и т.п.). Аренда квартиры - типы жилья, арендная плата, название комнат, технических бытовых устройств и т.п.

Грамматика: основные коммуникативные типы предложений - повествовательные (утвердительные/отрицательные), вопросительные (общий и специальный вопрос), побудительные, восклицательные и схемы их построения. Дополнительный элемент длительности. Предложения с дополнительным элементом длительности и прямым дополнением. Структура отрицательных предложений с дополнительным элементом длительности. Дополнительный элемент кратности действия. Показатели кратности, глагольные счетные слова 次 cì, 遍 biàn. Выражение значения состояния на момент речи. Оформление глагола суффиксом 着 zhe. Отрицательная форма глагола с суффиксом 着 zhe. Результативные глаголы. Результативные морфемы, (полу-) суффиксы 好 hǎo, 完 wán, 到 dào, 住 zhù, 下 xià, 上 shàng, 懂 dǒng и др. Сложный дополнительный элемент направления, модификатор, (полу-) суффикс глагола движения, включающий 进 jìn, 出 chū и подобные - 走进来 zǒujìnlái, 开进去 kāijìnqù, 爬上来 páshànglái).

Письмо: овладение графемами и иероглифами в соответствии с осваиваемым лексико-грамматическим материалом. Написание сообщений или письменных высказываний в соответствии с коммуникативной задачей.

6. Досуг в КНР и РФ. Различные типичные ситуации на работе и в жизни.



Обсуждение разных способов проведения досуга в Китае (пекинская опера, гимнастика тайцзи, цигун и т.д.) и России. Разговор о различных типичных ситуациях на работе. Актуализация полученных знаний, навыков и умений в речевой деятельности.

**Коммуникативные задачи:** воспринимать на слух и воспроизводить слова, словосочетания, фразы, соблюдая произносительную норму китайского языка. Понимать основное содержание различных аутентичных прагматических и публицистических аудио- и видеотекстов соответствующей тематики. Извлекать необходимую/запрашиваемую информацию из различных аудио- и видеотекстов соответствующей тематики. Читать слова, словосочетания, фразы и небольшие тексты как записанные пиньинь, так и записанные иероглифами, соблюдая произносительную норму китайского языка. Читать аутентичные тексты различных стилей с использованием различных стратегий/видов чтения в соответствии с коммуникативной задачей. Составлять фразы и небольшие тексты, соблюдая лексико-грамматические нормы китайского языка. Употреблять фразы вежливости. Участвовать в диалоге-расспросе, диалоге-побуждении к действию, вести диалог-обмен мнениями, вести комбинированный диалог, включающий элементы разных типов диалогов. Рассказывать, рассуждать в рамках изученной тематики и проблематики, в том числе приводя примеры, аргументы; описывать события, излагать факты, прочитанное, прослушанное, увиденное. Беседовать о различных ситуациях, происходящих на работе. Рассказывать о различных видах проведения досуга в РФ и КНР. Рассказывать о своем любимом виде времяпрепровождения. Принять участие в ролевой игре «Неудачный день».

**Произношение:** соблюдение основных требований к произношению звуков китайского языка и различение на слух всех звуков китайского языка. Соблюдение правил системы тонов китайского языка. Основные типы интонации китайских предложений, мелодика и ритм китайских предложений разных типов, фразовое ударение.

**Лексика:** устойчивые выражения, фразы вежливости. Названия комнат, бытовых устройств, вопросы аренды жилья. Виды досуга, разные происшествия - ограбление, поломка технических устройств и т.п.

**Грамматика:** основные коммуникативные типы предложений - повествовательные (утвердительные/отрицательные), вопросительные (общий и специальный вопрос), побудительные, восклицательные и схемы их построения. Дополнительный элемент возможности (инфиксы 得 -de- и 不 -bu-). Различие между дополнительным элементом возможности с инфиксом 得 -de- и дополнительным элементом оценки (обстоятельством результата), следующего за глаголом со частицей 得 -de-. Предложения с предлогом 把 bǎ. Особые случаи употребления предлога 把 bǎ. Употребление после сказуемого дополнения места, сказуемое со значением «называть (считать)», «считать», «рассматривать». Предложения с пассивным значением (без формально-грамматических показателей) - 茶碗打破了 Cháwǎn dǎpòle, 七楼到了 qī lóu dàoile). Пассивные предложения с предлогом 被 bèi.

Письмо: овладение графемами и иероглифами в соответствии с осваиваемым лексико-грамматическим материалом. Написание сообщений или письменных высказываний в соответствии с коммуникативной задачей.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Классические и квантовые случайные процессы**

#### **Цель дисциплины:**

Дать студентам знания о классических и квантовых случайных процессах. Определить основные типы процессов. Обсудить, чем квантовые процессы сходны и чем отличаются от классических.

#### **Задачи дисциплины:**

- изучить основные виды классических и квантовых случайных процессов.
- изучить способы вычисления основных характеристик случайных процессов.
- изучить процессы классического и квантового белого шума.
- изучить возможность представления классических и квантовых процессов в виде стохастических интегралов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные виды классических и квантовых случайных процессов;
- основные свойства случайных процессов, сходные в классическом и квантовом случае;
- основные свойства случайных процессов, различающие их в классическом и квантовом случае.

##### **уметь:**

- вычислять основные характеристики случайных процессов;
- анализировать свойства случайного процесса по его характеристикам;
- записывать классические и квантовые процессы в виде стохастических интегралов.

##### **владеть:**

- методами вычисления характеристических функций квантовых состояний;

- основными методами описания случайных процессов и их свойств;
- методами сравнения классических и квантовых корреляций.

### **Темы и разделы курса:**

1. Случайный процесс. Функция распределения, характеристическая функция, Среднее значение и корреляционная функция. Гауссовские случайные процессы.

Введение основных определений, используемых в курсе. Примеры построения гауссовских случайных процессов с заданными средними и корреляционными функциями.

2. Процессы с независимыми приращениями. Винеровский процесс.

Описание винеровского процесса и его основных свойств.

3. Процессы с независимыми приращениями. Пуассоновский процесс.

Описание пуассоновского процесса и его основных свойств.

4. Представление случайных процессов, непрерывных в среднеквадратичном (разложение Карунена-Лозва).

Представление случайного процесса в виде суммы по некоррелированным случайным величинам.

5. Стационарные случайные процессы. Спектральная функция процесса.

Преобразование Фурье корреляционной функции процесса.

6. Теорема Бохнера-Хинчина. Спектральное представление.

Общий вид корреляционной функции процесса.

7. Стохастический интеграл. Белый шум.

Интегрирование по процессам с независимыми приращениями.

8. Спектральная плотность с конечным носителем. Теорема Котельникова-Шеннона.

Теорема о представлении случайного процесса, имеющего конечную спектральную плотность.

9. Характеристическая функция квантового состояния. Гауссовские состояния. Гиббсовские состояния.

Условия, при которых заданная функция является характеристической для некоторого состояния. Примеры характеристических функций.

10. Квантовые случайные процессы. Характеристическая функция, среднее значение и корреляционная функция.

Примеры квантовых случайных процессов с заданными характеристическими функциями.

11. Двухточечные корреляции квантового случайного процесса. Неравенство Белла.

Неравенство Белла и граница Цирельсона в применении к квантовым случайным процессам.

12. Симметричное (бозонное) пространство Фока над одночастичным гильбертовым пространством. Операторы рождения, уничтожения и числа частиц.

Построение симметричного пространства Фока. Экспоненциальные векторы и их полнота.

13. Квантовые случайные процессы рождения, уничтожения и числа частиц в симметричном пространстве Фока.

Основные квантовые случайные процессы в пространстве Фока и их свойства.

14. Стохастическая эквивалентность процессов рождения, уничтожения и числа частиц винеровскому и пуассоновскому процессам.

Реализация классических случайных процессов в виде семейств операторов в пространстве Фока.

15. Квантовый стохастический интеграл.

Интегрирование по основным процессам в пространстве Фока.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Когомологическая теория поля**

#### **Цель дисциплины:**

Формирование у студентов практических навыков работы с когомологическими теориями поля, Фробениусовыми многообразиями и группой Гивентала в той мере, в которой это требуется для решения современных задач математической физики.

#### **Задачи дисциплины:**

Обучение студентов основным принципам и методам работы с когомологическими теориями поля и Фробениусовыми многообразиями, и тем самым в подготовка студентов к ведению исследований в областях теоретической физики и математики, где теория групп непосредственно применяется.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Основные принципы работы с когомологическими теориями поля и Фробениусовыми многообразиями, соответствующие модели и абстракции

##### **уметь:**

Эффективно использовать на практике теоретические понятия, решать базовые задачи, связанные с соответствующими понятиями когомологических теорий поля и Фробениусовых многообразий

##### **владеть:**

Основными методами работы с когомологическими теориями поля и Фробениусовыми многообразиями

#### **Темы и разделы курса:**

1. Когомологические теории поля

Определение кохомологической теории поля. Вычисление явного вида кохомологических теорий поля и ELSV-формул на примерах двумерных кохомологических теорий поля. Получение соотношений в тавтологическом кольце с помощью вырождения класса Виттена.

## 2. Фробениусовы многообразия

Определение Фробениусова многообразия. Связь Фробениусовых многообразий и кохомологических теорий поля. Суперпотенциал Дубровина и формулировка Кричевера для Фробениусовых многообразий.

## 3. Группа Гивенталья

Определение группы Гивенталья. Явные формулы для иерархий Дубровина-Дзянга через группу Гивенталья. Соотношения Пикстона.

## 4. Топологическая рекурсия на спектральной кривой

Определение топологической рекурсии. Связь с матричными моделями и ее ограничения. Эквивалентность кохомологическим теориям поля и ограничения.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Комплексная геометрия**

#### **Цель дисциплины:**

- изучение структур комплексной геометрии.

#### **Задачи дисциплины:**

- овладение методами комплексной геометрии и умением их применять в современной физике.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные структуры комплексной геометрии.

##### **уметь:**

- использовать методы комплексной геометрии в калибровочных и струнных теориях.

##### **владеть:**

- основными вычислительными методами комплексной геометрии.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Комплексная структура, дифференциальные формы.

Определение комплексной структуры на векторном пространстве. Напоминание понятия дифференцируемого многообразия и дифференциальной формы.

2. Интегральное исчисление, формула Коши.

Основные понятия и результаты одномерного и многомерного комплексного анализа. Интегральные теоремы Коши. Понятие аналитической и голоморфной функций.

3. Аналитические множества и гиперповерхности.



Определение аналитического множества и аналитической гиперповерхности как множества общих нулей голоморфных функций. Понятие идеала в кольце голоморфных функций. Дифференциал. Мероморфные дифференциалы.

4. Комплексные многообразия, римановы поверхности.

Комплексное многообразие, пучок функций на многообразии. Одномерное комплексное многообразие. Способы его задания. Риманова поверхность. Различие топологической и комплексной структур. Род римановой поверхности.

5. Римановы поверхности алгебраических функций, род римановой поверхности.

Риманова поверхность алгебраической функции. Отображения римановых поверхностей. Теорема Гурвица. Индекс пересечения. Голоморфные формы, голоморфные дифференциалы. Мероморфные дифференциалы. Геометрический род. Периоды. Билинейные соотношения Римана.

6. Почти комплексные структуры и комплексные структуры.

Почти комплексные и комплексные структуры, связь между ними. Понятие интегрируемости. Теорема Фробениуса. Теорема Ньюландера-Ниренберга.

7. Формы и метрики. Эрмитовы метрики.

Метрики, связности, кривизна. Понятие почти комплексной структуры. Комплексная структура. Примеры комплексных структур Метрика Фубини-Штуди. Кэлеровы метрики.

8. Пучки, расслоения, связности.

Голоморфное векторное расслоение. Операции над расслоениями. Группа Пикара. Понятие пучка.

9. Когомологии с коэффициентами в пучках.

Когомологии с коэффициентами в пучке, когомологии Чеха. Экспоненциальная последовательность пучков. Длинная точная последовательность. Инварианты комплексного многообразия.

10. Деформации комплексных многообразий.

Деформации комплексных многообразий. Понятие пространства модулей. Примеры пространств модулей. Пространство модулей в случае эллиптической кривой.

11. Теорема Ходжа, оператор Лапласа, гармонические формы.

Оператор Лапласа на многообразии. Понятие гармонической формы. Теорема Ходжа. Операторы Ходжа и Лефшеца.

12. Кэлеровы многообразия и теория Ходжа, теоремы Лефшеца.

Кэлеровы многообразия. Соотношения Ходжа, разложение Ходжа. Теоремы Лефшеца. Разложение Лефшеца. Кэлеровы тождества. Билинейные соотношения Ходжа-Римана.

13. Приложения в теории струн.

Уравнения Янга-Миллса и голоморфный векторные расслоения. Оператор Дирака.

14. Многообразия Калаби-Яу, их свойства.

Условия Калаби-Яу. Торическая геометрия. Примеры многообразий Калаби-Яу. Модули многообразий Калаби-Яу.

15. Многообразия Калаби-Яу. Примеры.

Зеркальная симметрия. Примеры зеркально симметричных многообразий Калаби-Яу. Зеркальная симметрия для квинтики.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Компьютерные технологии в науке и производстве**

#### **Цель дисциплины:**

формирование современных фундаментальных знаний о применении компьютерных технологий в научных исследованиях.

#### **Задачи дисциплины:**

- дать представление о компьютерных технологиях в общем виде и о науке как объекте компьютеризации;
- углубить знания о видах научно-технической информации и способах ее обработки;
- определить задачи и методы компьютерных технологий в теоретических исследованиях и научном эксперименте;
- дать обзорную информацию по современным прикладным программным продуктам, используемым в работе инженерно-технических и научных работников;
- систематизировать представления студентов о формах и форматах хранения данных с точки зрения удобства обработки и доступа;
- ознакомить с основными принципами автоматизации научных исследований;
- стимулировать развитие способности к самостоятельному выбору методов и средств компьютеризации научных исследований и производственных процессов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия о компьютерных технологиях, их функции, практическое применение;
- способы повышения эффективности и результативности научной и производственной деятельности;
- основные виды научных исследований, способы организации научных исследований;
- основные методы научных исследований и принципы системного подхода при организации научных исследований;

- методы и инструменты обработки научно-технической информации;
- методы и средства физического и математического моделирования, а также основы вычислительного эксперимента;
- основы статистики, теории ошибок и теории надежности;
- основы автоматики и средств измерительной аппаратуры;
- средства создания инженерной графики, CAD/CAM – системы и принцип их работы.

#### **уметь:**

- организовать эффективный цикл научных исследований или производственную цепочку, вовлекая в процесс выполнения компьютерные технологии;
- проводить физическое и математическое моделирование поставленных задач и контролировать достоверность получаемых данных;
- автоматизировать эксперимент или производственный процесс, используя методы и средства компьютерных технологий;
- оформить результаты научно-технической или производственной деятельности, используя компьютерные технологии.

#### **владеть:**

- навыками работы с офисным программным обеспечением, программами создания инженерной графики, программами физического и математического моделирования;
- навыками программирования в рамках специализированного ПО;
- приемами интерпретации результатов исследований и их верификации;
- навыками самостоятельной работы, самоорганизации и организации выполнения поручений.

#### **Темы и разделы курса:**

##### 1. Компьютерные технологии: основные понятия.

Технология как совокупность знаний о способах и средствах проведения производственных процессов. Информация, как важнейший ресурс и один из основных факторов повышения эффективности производственных процессов. Понятие информационной технологии, современные виды информационного обслуживания, средства вычислительной техники и связи.

Компьютерные технологии как часть информационных. Функции компьютерных технологий - сбор, обработка, хранение и передача информации с помощью ЭВМ. Основы современных компьютерных технологий. Практическая реализация компьютерных технологий с применением программно-технических комплексов, состоящих из персональных компьютеров или рабочих станций с необходимым набором периферийных

устройств, включенных в локальные и глобальные вычислительные сети и обеспеченных необходимыми программными средствами.

Увеличение степени автоматизации научных исследований, производственных и учебных процессов, их совершенствование. Повышение уровня эффективности работ в науке, производстве и образовании за счет конкретных факторов.

## 2. Наука как объект компьютеризации.

Наука как сфера деятельности, направленная на получение новых знаний, которая реализуется с помощью научных исследований. Цели научных исследований: изучение свойств объекта (процесса, явления), разработка теории, получение необходимых для практики обобщенных выводов. Разделение научных исследований по целевому назначению на фундаментальные, прикладные и разработки. Фундаментальные научные исследования. Изучение новых явлений и законов природы, с созданием новых принципов исследований (физика, математика, биология, химия и т.д.). Прикладные научные исследования. Нахождение способов использования законов природы и научных знаний, полученных в фундаментальных исследованиях и в практической деятельности человека. Разработки как процесс создания новой техники, систем, материалов и технологий. Подготовка документов для внедрения в практику результатов прикладных научных исследований.

## 3. Методы и основные направления исследований.

Реализация целей научных исследований на основе методов. Метод как способ достижения цели, программа построения и применения теории. Группы методов научных исследований. Эмпирические исследования. Накопление систематической информации о процессе. Используемые методы: наблюдение, регистрация, измерение, тесты, экспертный анализ. Экспериментальные научные исследования. Изучение свойств объекта по определенной программе. Теоретические научные исследования. Разработка новых методов решения научно-технических задач, обобщения и объяснения эмпирических и экспериментальных данных, выявления общих закономерностей и их формализации. Использование методов моделирования, анализа, синтеза, логических построений (предположения, умозаключения), аналогии, идеализации. Рациональная организация НИР. Принципы системного подхода. Основные направления рационального применения компьютерных технологий в научных исследованиях.

## 4. Виды научно-технической информации и ее обработка.

Системный подход в научных исследованиях. Сбор и предварительная обработка научно-технической информации по теме исследования. Поиск известных решений, известных методов и средств, определение их недостатков и предложение способов их преодолеть. Исключение риска ненужных затрат времени на уже решенную проблему. Поиск научно-технического решения, от-вечающего высокому уровню. Основные источники информации. Научные документы. Первичные и вторичные научные документы, опубликованные и неопубликованные научные документы. Основа сбора и обработки научно-технической информации. Поиск, ознакомление, проработку документов и систематизацию информации. Поиск по каталогам, реферативным и библиографическим изданиям. Автоматизация процедуры поиска. Специализированные информационно-поисковые системы, электронные каталоги, базы данных, программы поиска в сетях

Internet. Документальные, фактографические, информационно-логические (интеллектуальные) информационно-поисковые системы.

#### 5. Компьютерные технологии в теоретических исследованиях.

Состав и методы теоретических исследований. Основная задача теоретических исследований. Создание теории по исследуемой проблеме, включающей объяснение явлений с использованием математического аппарата или качественных правил. Объем теоретических исследований. Этапы теоретических исследований. Зависимость эффективности теоретических исследований от выбранных методов. Известные общенаучные методы: абстрагирование, идеализация, формализация, анализ и синтез, обобщения. Математические методы: аналитические, численные, оптимизационные, вероятностно-статистические. Эвристические приемы и методы: инверсия, универсальность, самообслуживание, ассоциации, аналогии и т.д. Логические методы и правила: установление истинности, выявление непротиворечивости и т.п. Использование вычислительной техники в проведении математических расчетов. Программное обеспечение для данного направления исследований. Библиотеки программ для численного анализа. Библиотеки общего назначения и узко специализированные пакеты. Специализированные системы для математических расчетов и графического манипулирования данными и представления результатов. Диалоговые системы математических вычислений с декларативными языками, позволяющими формулировать задачи естественным образом. Электронные таблицы.

#### 6. Компьютерные технологии в научном эксперименте.

Задачи и состав экспериментальных исследований. Этапы экспериментальных исследований. Подготовительный этап, этап проведения исследований, этап обработки результатов. Разработка программы экспериментальных исследований. Стремление к меньшему объему и трудоемкости работ, упрощению эксперимента без потери точности и достоверности результатов. Решение задачи определения минимального числа опытов (измерений), наиболее эффективно охватывающего область возможного взаимодействия влияющих факторов и обеспечивающего получения их достоверной зависимости. Средства математической статистики. Обычные и модельные экспериментальные исследования. Метод моделирования объектов и процессов в научном эксперименте. Физическое, аналоговое, математическое моделирование. Вычислительный эксперимент как эффективный метод научного исследования, позволяющий изучать поведение сложных систем, которые трудно физически смоделировать. Применение средств вычислительной техники для логического, функционального и структурного моделирования электронных схем; моделирования и синтеза систем автоматического управления; моделирования механических и тепловых режимов конструкций, механики газов и жидкостей и др. Функционально-ориентированные программные средства.

#### 7. Этапы обработки результатов научных исследований.

Виды представления больших объемов научно-технических данных. Массивы числовых данных как результат дискретных измерений. Комплексы одномерных или многомерных сигналов. Обработка числовых данных в зависимости от характера исследований. Выявление грубых измерений. Правило трех сигм. Анализ систематических и случайных погрешностей. Использование теорий вероятности и теории случайных ошибок. Графическая обработка результатов измерений. Выявление функциональных зависимостей исследуемых факторов. Вывод эмпирических зависимостей в виде алгебраических или

других типов выражений, соответствующих экспериментальным кривым. Методы средних и наименьших квадратов. Методы аппроксимации и интерполяции на основе полиномов, рядов, сплайн - функций и т.п., корреляционный и регрессионный анализы. Обработка одномерных сигналов: визуализация результатов измерений, измерение параметров сигнала, исключение содержащихся в нем случайных помех. Методы сглаживания данных и фильтрации. Методы спектрального анализа. Частотные составляющие, скрытые периодичности. Преобразования Фурье. Оценка передаточных функций. Классификация и идентификация сигналов. Обработка многомерных сигналов. Анализ изображений (рентгеновских, ультразвуковых, оптических и т.п.) . Визуализация изображения с возможностью его контрастирования и использования цветовой гаммы. Измерения на изображении (вычисление размеров, площадей, периметров и др. характеристик объектов). Фильтрация изображения (подавление случайных составляющих). Статистический анализ изображения по гистограммам яркости. Классификация изображения.

#### 8. Оформление результатов научных исследований.

Процесс и средства оформления научных работ. Отчет, доклад, статья. Средства вычислительной техники в оформлении результатов научных исследований. Процесс создания научных документов. Подготовка текстовой части. Формулы и спецсимволы. Формирование таблиц и их графическое отображение. Подготовка иллюстраций в виде схем, рисунков, чертежей, графиков, диаграмм. Грамматический и лексический контроль. Импорт рисунков и графических изображений из других систем. Форматирование документа. Использование специальных редакторов для научных документов. Обеспечение комплексного создания документов. Применение интегрированных программных систем. Использование комплексов взаимосвязанных программ в рамках одной операционной оболочки. Гиперсреды и мультимедийные системы.

#### 9. Автоматизация физического эксперимента.

Комплексы средств и методов для ускорения сбора и обработки экспериментальных данных, интенсификации использования экспериментальных установок, повышения эффективности работы исследователей. Автоматизированные системы. Требования к быстродействию, надёжность, унификация, гибкость. Коллективное обслуживание физических установок. Диалоговый режим работы. Система контроля результата измерения в допустимых пределах. Работа в режиме "реального масштаба времени" (real-time). Структура автоматизированной системы. Датчики и сенсоры. Измерительная аппаратура. Линии передачи. Усиление слабых сигналов. Преобразователей аналоговой информации в цифровую и наоборот. Канал измерения. Интерфейс, сопряжение различных блоков автоматизированной системы с ЭВМ.

#### 10. Автоматизация производственного процесса.

Модульный подход в организации производственного процесса. Дублирующие и моделирующие системы. Эффективная система управления, компоновка элементов ручного управления, уровни защиты. Контроль этапов производственного процесса. Визуализация результатов, маркеры, флаги, сигнализация. Организация обмена данными. Учет изменения критических параметров в долгосрочном периоде. Предпусковой анализ основных систем. Примеры конкретных систем автоматизации на производстве. Обогащительные комбинаты, предприятия по переработки нефти, производство микрочипов.

#### 11. Сложные исследовательские и производственные системы.

Эффективность экспериментальных исследований сложных систем. Нелинейная взаимосвязь параметров. Модель контроля правильности делаемых выводов. Иерархическая структура моделей. Последовательность перехода от структурного (топологического) уровня к функциональному (алгоритмическому) и от функционального к параметрическому. Зависимость результата моделирования от адекватности исходной концептуальной (описательной) модели, от полученной степени подобия описания реального объекта, числа реализаций модели и других факторов. Имитационная модель, реализуемая как на базе средств вычислительной техники, так и используя реальную часть объекта. Имитационная система. Блочные модели. Характеризация имитационной системы набором переменных и набором начальных условий. Оценка эффективности имитационного моделирования. Точность и достоверность результатов моделирования. Время построения и работы с моделью. Затраты машинных ресурсов (времени и памяти). Стоимость разработки и эксплуатации модели.

#### 12. Взаимодействие исследовательских и производственных систем.

Системы дистанционного управления. Потоки входных и обслуженных запросов. Удаленные пользователи и удаленные приборы. Фильтр входных запросов. Очередь запросов. Аутентификация пользователей. Распределенное хранение данных. Автоматизированные системы с обратной связью. Роль канала измерения в формировании обратной связи. Роль средств обработки запросов в функционировании обратной связи. Примеры систем с обратной связью, поддержание значения параметров на заданном уровне, саморегуляция.

#### 13. Современные вычислительные программные комплексы.

Комплексы на основе макросред языков программирования, использующие узко специализированные пакеты, ориентированные на решение определенного класса задач. Fortran и пакет NAG. Специализированные системы для математических расчетов и графического манипулирования данными и представления результатов. Графическое представление дифференциальных уравнений в программе Phaser. Статистический анализ в программе Statistica.

Диалоговые системы математических вычислений с декларативными языками, позволяющими формулировать задачи естественным образом. Вычисления в пакете MathCAD. Программная среда Matlab. Пакет Mathematica. Табличные процессоры. Расчеты с данными, представленными в табличной форме. Программы Lotus 1-2-3 и MS Excel.

#### 14. Инженерная графика.

Критерии выбора программ для инженерной графики. Стандарты и стандартизация. Программа AutoCAD. Возможности, интеграция. Формат файлов, конвертация в другие форматы. Конвертация единиц. Программа Ascon Компас. Преимущества и недостатки. Трехмерное моделирование. Поддержка форматов. Импорт/экспорт данных.

#### 15. CAD/CAM-технологии. Инженерный анализ.

CAD/CAM-технологии. Основные этапы проектирования. Постановка задачи. Начальные условия. Одномерный, двумерный и трехмерный расчет. Построение геометрии задачи. Цельные и дискретные элементы. Расчетная сетка. Выбор типа ячеек и их достаточного количества. Предварительная обработка данных (preprocessing), выбор алгоритмов решения. Решатели (solvers). Итерации и сходимость. Постпроцессоры (postprocessor).



Визуализация данных. Проверка полученных результатов. Программный комплекс Ansys. Комплекс Star-CD. Примеры моделирования классических задач.

16. Практическое применение компьютерных технологий в науке и производстве.

Презентация последовательных этапов решения задач тепло- и массопереноса, ламинарных и турбулентных течений, динамики и прочности, в средах Ansys и Star-CD.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Компьютерный дизайн материалов и лекарств**

#### **Цель дисциплины:**

ознакомление студентов с основными подходами компьютерного дизайна материалов и примерами задач по поиску новых материалов, в том числе решаемых с помощью алгоритмов машинного обучения.

#### **Задачи дисциплины:**

- Актуализация знаний студентов по основам физики конденсированного состояния применительно к материаловедению.
- Приобретение знаний и навыков пользования методами машинного обучения в различных аспектах физики конденсированного состояния.
- Получение навыков решения актуальных задач компьютерного дизайна материалов, в том числе с помощью методов машинного обучения.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные подходы компьютерного дизайна материалов.

##### **уметь:**

формулировать задачу так, чтобы ее можно было решить с помощью методов компьютерного дизайна материалов; подбирать оптимальный для решения конкретной задачи алгоритм; анализировать полученные результаты.

##### **владеть:**

основными понятиями физики конденсированного состояния, машинного обучения и компьютерного дизайна материалов; навыками работы с основными алгоритмами машинного обучения и компьютерного дизайна материалов.

#### **Темы и разделы курса:**

## 1. Введение в материаловедение

Ключевые понятия, классы материалов и их свойства, тенденции в развитие и современное состояние материаловедения.

## 2. Связь химический состав/структура – свойство

Понятие связи химического состава и структуры материалов с их свойствами. Подходы и методы для поиска этой связи. Многомасштабное моделирование информатика материалов. Примеры разработанных моделей на определения свойств материалов.

## 3. Дизайн материалов

Понятие компьютерного дизайна материалов, основные цели и проблемы. Обзор методов дизайна материалов как способа поиска материалов с заданными свойствами. Примеры лучших мировых практик.

## 4. Введение в машинное обучение

Что такое машинное обучение? Постановка задачи машинного обучения, классификация алгоритмов согласно решаемым задачам. Знакомство с библиотеками Python, содержащими большое количество полезных инструментов: от быстрых операций с многомерными массивами до визуализации и реализации различных математических методов (numpy, scipy, matplotlib, pandas).

## 5. Линейные модели в машинном обучении

Изучение одного из основных способов решения задач машинного обучения — линейных моделей. Оптимизация гиперпараметров алгоритмов и их применение в различных задачах регрессии и классификации. Проблема переобучения и способы борьбы с ней. Кросс-валидация как оценка способности алгоритма давать хорошие предсказания на новых данных. Разбор основных метрик качества линейных моделей.

## 6. Нейронные сети и глубокое обучение

Определение нейронной сети как математического алгоритма. Структура нейронной сети и методы оптимизации ее гиперпараметров. Метод обратного распространения ошибки. Переобучение нейронных сетей. Описание сверточных и графовых нейронных сетей.

## 7. Алгоритмы оптимизации, активное обучение

Изучение основных алгоритмов оптимизации функций, в том числе Байесовской оптимизации и эволюционного алгоритма. Примеры применения алгоритмов оптимизации в компьютерном материаловедении. Активное обучение как способ определения степени экстраполяции моделей машинного обучения.

## 8. Межатомные потенциалы взаимодействия на основе алгоритмов машинного обучения

Описание понятия межатомных потенциалов, а также объяснение необходимости их использования в решении задач компьютерного дизайна материалов. Изучение основных типов межатомных потенциалов на основе алгоритмов машинного обучения: GAP, МТР, SNAP и др. Обучение межатомного потенциала МТР на предложенной базе данных в ходе практического занятия для расчета температуры плавления алюминия.

## 9. Информатика материалов

Определение понятия “информатика материалов”. Поиск взаимосвязей между структурой и свойствами материалов с помощью методов информатики материалов. Решение практических задач по предсказанию механических свойств сталей, ширины запрещенной зоны и других свойств с помощью методов информатики материалов. Обучение графовых нейронных сетей для решения задач информатики материалов.

#### 10. Примеры успешного компьютерного дизайна материалов

Демонстрации возможностей и успешного использования компьютерного дизайна материалов в прикладных целях на основе двух примеров: алюминиевые сплавы для аэрокосмического применения и металл-органические каркасы для хранения водорода. Используемые методы машинного обучения для построения моделей, поиска и оптимизации материалов, анализа точности и экспериментальная валидация.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Космическая электродинамика**

#### **Цель дисциплины:**

формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических концепций в области космической электродинамики; развитие умений, основанных на полученных теоретических знаниях, позволяющих на творческом уровне создавать и применять физические модели для исследования свойств и моделирования процессов в физике космоса; получение студентами навыков самостоятельной исследовательской работы, предполагающей изучение специфических алгоритмов, инструментов и средств; получение практических навыков использования данных современных космических экспериментов для решения задач.

#### **Задачи дисциплины:**

получение базовых знаний, необходимых студенту для проведения научных исследований в рамках своей магистерской работы.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- гидродинамические и кинетические подходы в плазменной астрофизике;
- порядки численных величин, характерные для различных областей Вселенной;
- основы физики Солнца;
- основные процессы в магнитосферах Земли и планет;
- основные астрофизические явления.

##### **уметь:**

- пользоваться знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач космической физики;
- видеть в задачах физическое содержание;
- делать численные оценки по порядку величины;

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций в плазменной астрофизике;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

**владеть:**

- работы с современной научной литературой по данному вопросу;
- культурой постановки и моделирования задач космической физики;
- практикой исследования и решения задач физики космоса;
- навыками теоретического анализа реальных задач в различных областях космического пространства.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение в плазменную астрофизику. Строение Солнца

Введение в плазменную астрофизику. Строение Солнца

Введение в предмет, описание процессов, временных и пространственных масштабов. Иерархия и взаимосвязь процессов в плазменной астрофизике, указание на их эволюционность. Структурированность и сложность описываемых систем. Строение Солнца, стандартная модель.

2. Усиление и генерация магнитного поля (гидромагнитное динамо)

Изучение механизма усиления или поддержания стационарного или колебательно-состояния магнитного поля гидродинамическими движениями плазмы обычно в присутствии конечной диссипации. Модель среднего поля. Описание моделей динамо.

3. Магнитоконвекция. Магнитная плавучесть. Неустойчивость Паркера

Изучение основных процессов переноса магнитного поля и неустойчивостей, связанных с этими процессами. Модели конвекции. Неустойчивость трубок магнитного поля.

4. Пересоединение. Модели Паркера-Свита и Петчека. Равновесие плазмы в плоском нейтральном слое. Модель Харриса

Изучение механизмов изменения топологии магнитного поля и диссипации плазмы. Основные модели быстрой диссипации. Равновесие плазмы в нейтральных слоях.

5. Введение в тиринг-неустойчивость

Изучение механизма разрушения плоских нейтральных слоев. Рассмотрение механизмов изучения неустойчивостей космической плазмы на примере тиринг-неустойчивости.

6. Механизмы излучения плазмы

Рассмотрение основных процессов излучения и переноса излучения в плазме, в частности, тормозного излучения; синхротронного излучения; комптоновского рассеяния.

#### 7. Ускорение частиц в плазме

Основные процессы ускорения частиц: бетатронное ускорение, ускорение Ферми 1-го и 2-го рода, ускорение на ударных волнах. Спектры ускоренных частиц.

#### 8. Тепловой баланс в солнечной короне. Солнечный ветер

Изучение моделей корональных петель — основных строительных блоков короны и корональных структур. Изучение процессов переноса вдоль магнитного поля, давление и температура петли. Модель Паркера солнечного ветра.

#### 9. Строение магнитосферы Земли. Сравнение планетных магнитосфер

Изучение магнитосферы Земли как системы, накапливающей энергию солнечного ветра. Модели магнитосферы. Описание механизма возникновения магнитных бурь и суббурь. Рассмотрение примеров магнитосфер других планет. Взаимодействие солнечного ветра с немагнитными телами.

#### 10. Строение и короны аккреционных дисков

Эддингтоновский предел, модель тонкого диска. Роль магнитного поля в динамике диска, корона аккреционного диска и спектр излучения диска и короны. Аккреционные диски черных дыр.

#### 11. Магнитосферы нейтронных звезд

Пульсары, время жизни пульсара. Магнитосферы пульсаров и аккреция на пульсар. Модель Голдрайха-Джулиана, ускорения частиц, изгибное излучение.

#### 12. Космические лучи

Модели рождения и распространения космических лучей, их состав. Широкие атмосферные линии. Диффузия космических лучей.

#### 13. Активные галактические ядра

Аккреция на активные галактические ядра. Модель Блэндфорда-Знаека.

#### 14. Космологические приложения

Межгалактическая плазма, космологические магнитные поля, космические лучи.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Космология и гравитация**

#### **Цель дисциплины:**

Ознакомление с современным состоянием космологии.

#### **Задачи дисциплины:**

Обучить студентов методам решения задач космологии и связям между физикой микромира и Вселенной.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Уравнение Фридмана, современный состав Вселенной, уравнения состояния, уравнения Эйнштейна, решение Шварцшильда, свойства гравитационных волн, уравнение равновесия звезды.

##### **уметь:**

Экстраполировать состав и свойства материи в прошлое и будущее, решать уравнения движения в сильных и слабых гравитационных полях.

##### **владеть:**

Методами тензорного анализа и римановой геометрии, теории возмущений, термодинамики и статистической физики в искривленном пространстве-времени.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Уравнения Фридмана и их решения.

Два уравнения, полученные А. Фридманом в 1922 году явились самым неожиданным и сильным предсказанием ОТО. Из них следовало, что Вселенная не может быть статической. Все возможные сценарии эволюции были рассмотрены и проанализированы в работах Фридмана 1922 и 1924 гг. В модифицированных теориях гравитации структура уравнений, в основном, сохраняется.



## 2. Наблюдательные данные о Вселенной в целом.

Начиная с 1920-х годов появляется все больше доказательств расширения Вселенной, уточненное значение постоянной Хаббла предсказывает ее возраст около 14 млрд. лет, данные по реликтовому излучению свидетельствуют о горячем прошлом, об однородности и изотропности ранней Вселенной, о малости ( $10^{-5}$ ) отклонений. Можно считать установленным процентный состав вещества (темная энергия, темная материя, барионная материя, излучение) и близость геометрии пространства к плоской.

## 3. Свойства ранней Вселенной.

Экстраполяция картины мира в прошлое с помощью уравнений Фридмана позволяет вычислять плотность и температуру вещества в ранней Вселенной вплоть до ее возраста в доли секунд, а наши знания физики микромира дают возможность описывать эпохи нуклеосинтеза, рекомбинации, возникновение фона реликтового излучения и т.п.

## 4. Эпоха рекомбинации.

Постепенное понижение температуры в конце концов делает энергетически выгодным присоединение электронов к ядрам и образование атомов. Мы рассматриваем процесс рекомбинации на основе уравнения Саха и получаем для возраста Вселенной в эту эпоху цифры около 370 тыс. лет.

## 5. Проблема начальных условий и теория инфляции.

Проблемы начальных условий в эпоху Большого Взрыва сейчас предлагается решать на основе теории экспоненциального быстрого раздувания масштаба длины в первые 10-30 секунды (теория инфляции). Источником гравитационного поля в это время является вакуум КТП, плотность энергии которого не изменяется при расширении Вселенной, а давление вакуума является отрицательным, поэтому он порождает отталкивание, которое преодолевает стандартное для гравитации притяжение. Сценарий инфляции позволяет решить массу проблем теории Большого Взрыва: однородности, изотропности, плоскостности, отсутствия монополей и т.п.

## 6. Математический аппарат ОТО.

Стандартный математический аппарат ОТО включает тензорный анализ и риманову геометрию. Мы начинаем с использования криволинейных координат общего вида в плоском пространстве. Идеи римановой геометрии первоначально иллюстрируются на материале теории поверхностей. Вводятся основные понятия тензора, метрики, связности, ковариантного дифференцирования, тензоры Римана, Риччи, Эйнштейна. Строятся тензоры энергии-импульса материи. Из действия Гильберта-Эйнштейна выводятся уравнения ОТО.

## 7. Решение Шварцшильда и геодезические.

Обсуждается точное решение Шварцшильда, которое применяется к описанию динамики движения пробных тел и фотонов в присутствии сферически симметричного источника гравитации. Рассматривается рассеяние и падение на центр для вакуумного решения Шварцшильда. Вводятся понятия гравитационного радиуса тела, горизонта и центральной сингулярности.

## 8. Теория возмущений и эффекты ОТО.

Среди эффектов ОТО, наблюдаемых в сравнительно слабом поле рассматриваются отклонение луча света, красное смещение и аномальное движение перигелия Меркурия. Расчеты производятся в теории возмущений.

#### 9. Гравитационная устойчивость звезд.

На основе ньютоновской теории тяготения выводится условие механического равновесия стационарной звезды. Моделируя вещество звезды уравнением состояния Менделеева-Клапейрона можно оценить, например, температуру в центре звезды. Светимость звезд Главной Последовательности обусловлена сравнительно медленной термоядерной реакцией горения водорода, т.е. превращения его, в конечном итоге, в гелий. Для описания физики внутри звезд принято использовать уравнение политропы, которое является достаточно общим и применяется не только к звездам Главной Последовательности, но и, например, к белым карликам, в которых доминирует вырожденный электронный газ.

#### 10. Уравнения связей ОТО.

Тензор Эйнштейна тождественно удовлетворяет свернутым тождествам Бианки, что означает линейную зависимость между уравнениями ОТО и их производными. 4 из 10 уравнений ОТО не содержат вторых производных по времени, и, следовательно, являются ограничениями (связями), наложенными на начальные данные. В частности, таким свойством обладает и главное уравнение Фридмана. В соответствии с второй теоремой Нетер наличие связей является следствием инвариантности ОТО при общих преобразованиях 4-х координат пространства-времени.

#### 11. Гамильтонова формулировка ОТО.

Наиболее ясное понимание структуры уравнений ОТО дает гамильтонов подход к этой теории. Здесь роль координат, как оказывается, играют компоненты метрики пространства, т.е. пространственно-подобной гиперповерхности, а роль импульсов играют компоненты тензора, построенного из внешней кривизны этой гиперповерхности. 4 уравнения связей находятся в инволюции в алгебре скобок Пуассона, что отражает свободу выбора семейства промежуточных гиперповерхностей при переходе от начального состояния к конечному.

#### 12. Излучение и детектирование гравитационных волн.

Для излучения гравитационных волн необходимо присутствие системы с переменным квадрупольным моментом масс. Интенсивность излучения пропорциональна квадрату модуля третьей производной квадрупольного момента. В большинстве случаев эта интенсивность крайне мала, однако, как доказано недавними результатами установок LIGO, существуют катастрофические события, дающие огромный выброс энергии в виде гравитационных волн, порядка нескольких масс покоя Солнца. Оказывается, качественный вывод ключевых формул здесь можно провести без использования ОТО.

#### 13. Гравитационные волны как источник информации о Вселенной.

Гравитационная астрономия дает большие надежды на возможность получить информацию о самых ранних эпохах развития Вселенной. Запуск космического детектора eLISA и других проектов позволит детектировать не только волны с частотой сотен Герц, но и более низкочастотные, а также повысит чувствительность. Вместе с нейтринной астрономией это позволит заглянуть в глубокое прошлое.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Лаборатория вежливости**

#### **Цель дисциплины:**

Дисциплина направлена на формирование представления о понятии речевого этикета и его роли в эффективной коммуникации и социальном взаимодействии. В ней представлены теоретические подходы к моделированию речевого этикета, разборы примеров и практический компонент, направленный на формирование навыков описания различных этикетных ситуаций и влияющих на них социальных факторов.

#### **Задачи дисциплины:**

- Знание о понятиях «этикет», «речевой этикет» и «вежливость» и сложностях их определения.
- Понимание роли речевого этикета в эффективной коммуникации.
- Понимание роли анализа речевого этикета для социологии, конфликтологии и исторической прагматики.
- Понимание различных способов теоретического моделирования вежливости.
- Умение характеризовать и различать понятия «коммуникативная ситуация», «этикетная ситуация» и «этикетный маркер».
- Умение классифицировать и описывать коммуникативные, этикетные ситуации и обращения.
- Понимание различий между понятиями «нарушение этикета», «отказ от этикета», «не-вежливость» и «антивежливость».
- Умение характеризовать и описывать нарушения этикета.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- ✓ основные понятия и предмет области изучения речевого этикета;
- ✓ функции речевого этикета и последствия отказа от него;
- ✓ существующие теории речевого этикета;

- ✓ основные этикетные ситуации;
- ✓ основные социальные и лингвистические параметры, влияющие на стратегии речевого этикета.

**уметь:**

- ✓ определять коммуникативные ситуации;
- ✓ выявлять различные этикетные ситуации;
- ✓ определять параметры, влияющие на речевой этикет;
- ✓ описывать коммуникативные и этикетные ситуации по выявленным параметрам;
- ✓ определять нарушение этикета в коммуникативных ситуациях.

**владеть:**

- ✓ навыками описания структуры коммуникативных и этикетных ситуаций;
- ✓ навыками объяснения причины нарушения этикета в конкретной ситуации.

**Темы и разделы курса:**

1. Вводная лекция о речевом этикете

Представление курса, плана занятий и итоговой отчетности. Речевого этикет как инструмент анализа ситуаций, характеров людей и их социальных характеристик на примере отрывков современных российских фильмов.

2. Речевого этикет и вежливость. Традиционные теории вежливости

Понятия речевого этикета и вежливости, их цели, задачи, сходства и различия. Прагматика и критерии успешности коммуникации по Г.П. Грайсу. Традиционные теории вежливости на основе идей Дж.Н. Линча, Р. Лакофф, С. Левинсона и П. Браун.

3. Современные теории вежливости

Современные (постмодернистические) теории вежливости (Р. Уоттс, М. Теркурафи, D.Z. Kádár, Е.А. Руднева). Дискуссии о вопросах вежливости. Взгляд на вежливость со стороны общества (а не только лингвистов).

4. История вежливости в английском и русском языках

История вежливости в английском языке от Старого Английского (Old English) до наших дней. Примеры из русского языка.

5. Представление проекта и студенческих заданий

Общие понятия корпусной лингвистики. Примеры существующих корпусов вежливости. Представление проекта «Мультимедийный корпус речевого этикета русского языка», студенческих заданий по разметке видеоматериала на семестр. Пояснения о списке описываемых этикетных ситуаций.

6. Этикет, типы этикетных ситуаций, этикетные формулы. Финализация студенческих групп

Классификация и типология этикетных ситуаций. Этикетные формулы – слова и выражения, используемые в определённых этикетных ситуациях. Завершение формирования студенческих групп и назначение видеоматериалов для разметки.

7. Связь этикетной и коммуникативной ситуаций. Структура базы данных проекта. Разметка персонажей и их отношений

Понятие коммуникативной ситуации и ее связь с этикетной ситуацией. Текст, контекст и ко-текст в рамках (не)вежливости на основе идей Дж. Кулпепера. Важность описания персонажей и их отношений для моделирования контекста. Инструкция по разметке персонажей, взаимоотношений.

8. Знакомства, приветствия и прощания. Разбор примеров неуспешной коммуникации

Стандартные, заимствованные и современные формулы вежливости для ситуаций приветствия и прощания. Разбор известных медиа-кейсов, в которых коммуникация не закончилась успехом (или закончилась конфликтом), в разрезе речевого этикета. Инструкция по разметке знакомств, приветствий и прощаний.

9. Извинения, просьбы, благодарности

Стандартные, заимствованные и современные формулы вежливости для ситуаций извинений, просьб и благодарности.

10. Сложные случаи при определении этикетных ситуаций

Сложные случаи при определении этикетных ситуаций (например, вложенная структура и трудности выделения просьб) и примеры разметки. Примеры ситуаций, которые не могут быть всегда однозначно классифицированы как этикетные (например, молчание).

11. Имя собственное и обращения

Функционирование антропонимов в русской речевой культуре. Различия в использовании антропонимов в обращении, самопредставлении и при референтном употреблении. Функции, классификация и характеристики обращений, принятые в русской речевой культуре.

12. Ты и вы и обращения

Возникновение вежливого местоимения Вы и сравнение с западноевропейскими аналогами. Основные критерии выбора между местоимениями "ты" и "Вы", отклонения и причины смены. Нормы и отклонения во внутрисемейном этикете (система обращения, прагматические сдвиги).

13. Нарушения речевого этикета

Нарушения речевого этикета и их типы: незнание речевого этикета и нежелание подчиняться ему, возможные последствия этого для коммуникации. Примеры нарушения этикета на видеоматериалах и в разметке.

#### 14. Вежливость, невежливость и антивежливость

Различия между не-вежливостью (отсутствием вежливости), антивежливостью (агрессивного речевого поведения) и нарушением речевого этикета. Отказ от этикета, не связанный с его нарушением. Функции брани.

#### 15. Презентация студенческих проектов

Презентации студентов семестрового проекта по разметке коммуникативных и этикетных ситуаций.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Лазерная спектроскопия**

#### **Цель дисциплины:**

освоение студентами фундаментальных знаний в области лазерной спектроскопии, получения практических навыков решения задач, овладение методами их решения, а также понимание способов их практического применения.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области лазерной спектроскопии как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов основным принципам решения задач в области лазерной спектроскопии и освоение основных теоретических методов, применимых в этой области физики;
- формирование правильных теоретических подходов к выполнению исследований студентами в области лазерной спектроскопии в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики и математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем моделирования физических процессов, протекающих в твердых телах;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

**уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

**владеть:**

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- математическим моделированием физических задач.

**Темы и разделы курса:**

1. Нелинейно-оптические явления и распро-странение волн в нелинейной среде.

Лекции 1-2

Нелинейная поляризация и характерные нелинейно-оптических явления. Связанные волны в нелинейной среде в приближении медленно меняющихся амплитуд.

Лекции 3-4

Взаимодействие двух электромагнитных волн в условиях близости суммы или разности их частот к частоте собственного возбуждения среды. ВКР-усиление и ослабление, спонтанное КР и двухфотонное поглощение в centrosymmetric средах. Система уравнений для связанных волн в средах без центра симметрии (с участием поляритонов).

2. Методы когерентной спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) света и их применения в исследовании структуры и динамики молекул.

Лекция 5

Описание процесса когерентного антистоксова комбинационного рассеяния света (КАРС) в centrosymmetric среде. Эффективность рассеяния, условия синхронизма, форма линии, связь  $\chi^{(3)}$  с сечением КР.

Лекции 6-7

Основные особенности, достоинства и недостатки КАРС спектроскопии. Сравнение методов спектроскопии спонтанного КР, ВКР-усиления и КАРС. Четырехволновое



смещение при двухфотонном резонансе. Экспериментальная техника нелинейной когерентной спектроскопии. Спектральное, временное и пространственное разрешение. ИК-КАРС спектрометр.

#### Лекции 8-9

Механизмы и особенности уширения спектральных линий в спектрах КР и их изучение методом КАРС и ВКР-усиления. Исследования столкновительных процессов распределения и релаксации вращательной и колебательной энергии молекул методами когерентной спектроскопии рассеяния.

#### Лекция 10

Некоторые применения методов нелинейной спектроскопии КР в практических задачах по локальной невозмущающей диагностике газовых параметров: Измерение температуры и спектроскопия возбужденных разрядом колебательно-вращательных состояний азота. Исследование горения смесей  $\text{CH}_4/\text{O}_2$  и  $\text{O}_2/\text{H}_2$ .

### 3. Нелинейно-оптическая спектроскопия поляритонов.

#### Лекция 11

Описание процессов КР света на фононных поляритонах и двухфотонного поглощения света экситонными поляритонами на языке связанных волн в кристаллах без центра симметрии. ВКР-усиление, Эффективность спонтанного КР, коэффициент двухфотонного поглощения. Форма линии.  $k$ - и  $\omega$ (омега)-спектроскопия экситонных и фононных поляритонов.

#### Лекции 12-13

Частотно-угловые спектры рассеяния и двухфотонного поглощения. Нелинейно-оптическое возбуждение фононных поляритонов - источник для терагерцовой (ТГц) спектроскопии. Некоторые особенности ТГц-спектроскопии. Гиперкомбинационное рассеяние света на фононных и экситонных поляритонах.

### 4. Нестационарная спектроскопия.

#### Лекции 14-15

Время дефазировки и время релаксации населенностей. Принципы когерентной и некогерентной нестационарной активной спектроскопии и прямое измерение времени дефазировки и времени релаксации населенностей колебательных уровней.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Лазерная техника**

#### **Цель дисциплины:**

- ознакомление студентов с основными типами промышленных лазеров;
- освоение студентами физики работы мощного йодного фотодиссоциационного лазера и других мощных лазеров.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики лазеров, характеристик их выходного излучения;
- знакомство с основными направлениями практического применения лазерной техники в науке, технике, промышленном производстве;
- изучение общих вопросов взаимодействия лазерного излучения с веществом.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- об основных направлениях практического применения лазеров в науке, технике, промышленном производстве;
- иметь представление о современном состоянии в разработке лазерных источников и достигнутыми на сегодняшний день выходными характеристиками.

##### **уметь:**

- находить подходы решения различных задач, встречающихся в экспериментальной практике, с помощью лазерных источников.

##### **владеть:**

- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;

- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей;
- математическим моделированием физических задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- методами анализа и применения лазерной техники для решения конкретных задач научных исследований.

### **Темы и разделы курса:**

#### 1. Свойства лазерного излучения.

Введение в предмет.

Историческая справка. Этапы развития лазерных источников света.

Свойства лазерного излучения.

Монохроматичность, расходимость, когерентность излучения. Фокусировка лазерного излучения. Классификация задач, решаемых с использованием лазерных источников.

#### 2. Основные типы лазеров для практических применений.

Физические основы работы лазера. Общие принципы построения лазерных источников.

Классификация и основные характеристики лазеров.

Основные типы лазеров, разрабатываемых в ИЛФИ.

#### 3. Взаимодействие лазерного излучения с веществом.

Взаимодействие лазерного излучения с биологическими объектами.

Основные эффекты взаимодействия лазерного излучения с органами зрения и кожным покровом. Техника безопасности при работе с лазерами.

Прохождение лазерного излучения через атмосферу и другие среды.

Основные факторы взаимодействия, приводящие к ослаблению лазерного излучения при прохождении его в атмосферном воздухе, в водной среде.

#### 4. Лазеры в системах дистанционного контроля окружающей среды.

Методы дистанционного контроля окружающей среды, основанные на поглощении лазерного излучения.

Основные схемы дистанционного зондирования. Лидарное уравнение. Метод дифференциального поглощения. Определение утечек природного газа из магистральных газопроводов.

Методы дистанционного контроля окружающей среды, основанные на комбинационном рассеянии и флюоресценции. Определение загрязнения поверхности вод нефтепродуктами.

5. Лазеры в системах измерения размеров, линейных перемещений, оптического качества различных сред.

Интерферометры с лазерными источниками излучения. Интерферометрические методы измерения перемещений и оптических неоднородностей.

Лазерные дифракционные измерители размеров.

Дистанционное измерение скоростей потоков жидкости, газа. Основные измерительные схемы и процедуры измерений.

6. Применение лазеров в медицине.

Низкоинтенсивная лазерная терапия.

Спектральный диапазон и интенсивность лазерного излучения. Основные механизмы воздействия лазерного излучения на биологические объекты.

Силовая лазерная терапия.

Изменение физического состояния биоткани при воздействии лазерного излучения. Термотерапия опухолей. Термопластика хрящевых тканей.

Лазерная хирургия.

Основные параметры лазерных источников, необходимые для рассеечения и удаления биоткани.

7. Применение лазеров для обработки материалов.

8. Лазеры в военном деле.

Лазерные целеуказатели и дальномеры. Лазерные локаторы.

Лазеры в устройствах функционального подавления оптико-электронных систем.

Лазеры для силового воздействия на объекты военной техники.

9. Основные тенденции современного развития лазерной техники и ее практического применения.

Лазеры с диодной накачкой.

Системы на основе нелинейного преобразования частоты лазерного излучения.

Основные современные направления применения мощных лазеров.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Лазерные измерения**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами основных методов измерения характеристик лазерного излучения, умение работать с приборами и устройствами для измерения параметров лазерного излучения.

#### **Задачи дисциплины:**

Изучение физики явлений, процессов положенных в основу измерительных приборов и методик. Ознакомление с характеристиками измерительных приборов: спектральными чувствительностями, разрешающими способностями, точностями и погрешностями измерений.

Освоение методик измерения характеристик лазеров: энергии, длительности, мощности излучения, расходимости, пространственно-временных характеристик, спектрального состава излучения.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- характеристики основных типов устройств для проведения измерений;
- иметь представление о концепции совместного построения лазерных систем и систем измерения ее параметров;
- иметь представление о физических принципах проведения измерений различных лазерных параметров;
- иметь представление о принципах организации и обработки измерений.

##### **уметь:**

- рассчитывать согласованную диагностическую схему для проведения измерения заданных в эксперименте параметров;
- выбирать соответствующее приборное оснащение для проведения измерений с требуемым пространственным, временным спектральным и т.д. разрешением;
- проводить обработку измеряемых величин и их математический анализ.

**Владеть:**

- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей.
- математическим моделированием физических задач.
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- методами диагностики лазерных параметров.

**Темы и разделы курса:****1. Характеристики лазерного излучения.**

Монохроматичность, когерентность, спектральные характеристики, поляризация, энергия, временные характеристики. Характеристики приемников излучения: спектральная чувствительность, уровень шумов, обнаружительная способность, динамический диапазон, переходная характеристика. Методы и измерения экспериментальных величин. Теория ошибок.

**2. Приемники на фотонных эффектах.**

Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость собственная и примесная. Фоторезисторы и их характеристики: спектральные, временные, шумовые, условия работы. Фотодиоды. Основные характеристики. Типы фотодиодов, спектральный диапазон, рабочее напряжение, чувствительность и быстродействие.

**3. Внешний фотоэффект, фотокатоды.**

Частотные характеристики, спектральная чувствительность, квантовая эффективность. Типы фотокатодов и их характерные параметры. Фотоэлементы. Типы конструкций и их характеристики. Фотоумножители, принцип работы, характерные параметры ФЭУ.

**4. Электронно-оптические преобразователи (ЭОП).**

Принцип работы и элементы электронной оптики. Типовые люминофоры для экранов ЭОП. Характеристики ЭОП: коэффициент преобразования, пространственное разрешение, неравномерность свечения по экрану. Виды ЭОП. Режим щелевой развертки. Многокадровый режим регистрации. Блок схема универсального фотохронографа.

**5. Приемники на тепловых эффектах.**

Болометрический эффект. Типы болометров, их характеристики и принцип работы. Термопары. Принцип работы. Пироэлектрический эффект, физика явления, пироэлектрические материалы, особенности пироэлектрических приемников.

#### 6. Калориметры.

Главные элементы калориметров. Виды поглотителей. Примеры используемых калориметров. Приемники двумерного изображения. Фотоматериалы и их спектральные характеристики, светочувствительность, контрастность. Микрофотометрирование. Регистратор на термофотоплёнке. Приборы с зарядной связью. ПЗС – матрица. Основные виды ПЗС – матриц. Основные характеристики ПЗС – матриц.

#### 7. Оптические фильтры: основные характеристики.

Типы фильтров: абсорбционные, отражательные, интерференционные, дисперсионные и интерференционно-поляризационные. Измерение энергетических характеристик излучения. Виды измерений характеристик излучения. Измерение импульсного излучения. Способы ослабления энергии пучка. Согласование размеров пучка с приемной площадкой регистратора. Измерение энергии в заданном угле излучения. Защита от излучения накачки и паразитной подсветки.

#### 8. Регистрация квазиимпульсного излучения.

Измерение излучения длительностью ( $10^{-1} \div 10$ )с., способы реализации измерений. Регистрация импульсно-периодического излучения в ИК – диапазоне  $\lambda=1-11$  мкм. Особенности регистрации, приемники излучения. Прецизионные измерения энергии лазера. Основные погрешности калориметров. Погрешности оптической схемы измерения. Калибровка измерителей и схем регистрации.

#### 9. Измерение временных характеристик излучения.

Регистрация формы импульса до  $10^{-9}$ с в видимой и ближней ИК – области спектра. Требования к фотоприемникам и регистраторам излучения по чувствительности и быстродействию. Электрические схемы осциллографической регистрации. Характеристики скоростных осциллографов типа СРГ. Особенность пиродетекторов. Регистрация импульсов пикосекундной длительности ( $10^{-10} \div 10^{-12}$ )с. Времени анализирующий ЭОП в режиме щелевой развертки. Методы регистрации с помощью нелинейной оптики. Двухфотонная люминесценция. Регистрация формы импульса с большим динамическим диапазоном. Многоканальное ранжирование.

#### 10. Измерение контраста моноимпульса.

Требования к приемным детекторам: их чувствительности, динамическому диапазону, быстродействию. Оптические измерительные схемы. Методика измерения энергетического контраста. Измерение пространственных параметров лазера. Регистрация ближней зоны (БЗ) излучения. Пространственно-временная регистрация БЗ: многокадровая регистрация, в режиме щелевой развертки. Измерение расходимости излучения. Получение изображения пучка в дальней зоне (ДЗ). Особенности регистрации ДЗ. Регистрация ДЗ в ИК – области.

#### 11. Принципы построения оптических измерительных схем.

Основные оптические элементы. Расчет характеристик схем.

#### 12. Математическая обработка изображений.

Алгоритмы и способы представления экспериментальной информации.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Лазерный термоядерный синтез**

#### **Цель дисциплины:**

– изучение студентами физики инерциального термоядерного синтеза.

#### **Задачи дисциплины:**

Формирование базовых знаний в области физики высокотемпературной плазмы, поведением вещества в экстремальных условиях, взаимодействием мощного лазерного излучения с веществом и связанными с ними разделами экспериментальной и теоретической физики и прикладной математики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные направления исследований в проблеме лазерного термоядерного синтеза, типы существующих и строящихся лазерных установок, типы конструкции мишеней;
- иметь представление об основных типах термоядерных реакций, лежащих в основе систем инерциального синтеза, узнать детали физических процессов происходящих в лазерных термоядерных мишенях и освоить современные теоретические и математические методы их описания.

##### **уметь:**

- оценивать параметры мишени и энергетические требования на лазерную установку для получения требуемых выходных параметров термоядерной реакции. Научиться проводить расчеты поглощения лазерного излучения с использованием современных вычислительных методов и систем.

##### **владеть:**

- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;

- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей.
- математическим моделированием физических задач.
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- методами анализа и применения знаний в области физики лазерного термоядерного синтеза для решения конкретных задач научных исследований.

### **Темы и разделы курса:**

#### 1. Магнитное удержание и инерциальный термоядерный синтез.

Введение. Магнитное удержание и инерциальный термоядерный синтез. Основные типы термоядерных реакций.

#### 2. Лазер как драйвер для систем с инерциальным термоядерным синтезом.

Лазер как драйвер для систем с инерциальным термоядерным синтезом. Типы экспериментальных установок для исследований по ЛТС. История, современность и будущее.

#### 3. Сечения термоядерных реакций.

Сечения термоядерных реакций. Скорость DT реакций в термодинамически равновесной плазме. Критерий Лоусона в системах с магнитным удержанием. Инерциальный термоядерный синтез, критерии зажигания мишени.

#### 4. Системы облучения мишени лазерным излучением.

Системы облучения мишени лазерным излучением. Оценка энергии лазера на зажигание. Критерии выбора типа лазера для ИТС.

#### 5. Конструкции мишеней для ЛТС.

Конструкции мишеней для ЛТС. Основные процессы в цикле инерциального термоядерного синтеза.

#### 6. Характеристика плазмы как четвертого состояния вещества.

Что такое плазма. Характеристика плазмы как четвертого состояния вещества. Подходы к описанию плазмы. Уравнения Власова. Интеграл столкновения Ландау.

#### 7. Введение в электродинамику плазмы.

Введение в электродинамику плазмы. Диэлектрическая проницаемость бесстолкновительной плазмы. Типы электромагнитных волн в однородной, изотропной плазме. Поглощение Ландау продольных волн. Роль столкновений в поглощении поперечных волн.

#### 8. Поглощение лазерного излучения.

Поглощение лазерного излучения. Распространение лазерного излучения в неоднородной плазме. Основные механизмы поглощения. Генерация и перенос «горячих» электронов в лазерной плазме.

9. Электронная и ионная теплопроводность плазмы.

Электронная и ионная теплопроводность плазмы. Неравновесная плазма. Скорость электронно-ионной релаксации.

10. Уравнение спектрального переноса рентгеновского излучения в плазме.

Уравнение спектрального переноса рентгеновского излучения в плазме. Спектральные коэффициенты испускания и поглощения с поправкой на вынужденное испускание. Закон Кирхгофа.

11. Принцип детального равновесия.

Принцип детального равновесия. Спонтанное и вынужденное излучения.

12. Чернотельное излучение.

Чернотельное излучение. Приближение лучистой теплопроводности.

13. Диффузионное приближение для спектрального переноса рентгеновского излучения.

Диффузионное приближение для спектрального переноса рентгеновского излучения. Первый момент уравнения переноса излучения. Условие применимости диффузного приближения.

14. Тормозное излучение плазмы.

Тормозное излучение плазмы и обратно тормозное поглощение рентгеновского излучения. Рекомбинационное излучение и фотоионизация.

15. Линейчатое излучение и фотовозбуждение электронов в неполностью ионизованной плазме.

Линейчатое излучение и фотовозбуждение электронов в неполностью ионизованной плазме. Коэффициенты Эйнштейна, силы осцилляторов.

16. Ударное и изэнтропическое сжатие термоядерного топлива.

Ударное и изэнтропическое сжатие термоядерного топлива. Профилирование лазерного импульса.

17. Типы начальных возмущений в термоядерной мишени.

Типы начальных возмущений в термоядерной мишени. Неустойчивость Рэля-Тейлора и Рихтмайера-Мешкова. Формула Такабе для рэлей-тейлоровской неустойчивости фронта абляции.

18. Экспериментальные исследования по ЛТС во ВНИИЭФ.

Экспериментальные исследования по ЛТС во ВНИИЭФ. Численное моделирование гидродинамических неустойчивостей во ВНИИЭФ.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Логика и аргументация**

#### **Цель дисциплины:**

- научить студентов самостоятельно анализировать, логически грамотно рассуждать и делать доказательные выводы из имеющихся данных, научиться применять теоретические положения в практической деятельности.

#### **Задачи дисциплины:**

- сформировать у студентов способность рассуждать чётко, непротиворечиво, последовательно и аргументировано.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- предмет логики, операции с понятиями, правила суждений и умозаключений, законы логики, основы теории аргументации, включая применение (полемику как практику).

##### **уметь:**

- логически грамотно готовить документы, обнаруживать логические ошибки в документах, полемизировать с оппонентами, доказательно строить свои публичные выступления, разоблачать софистические уловки.

##### **владеть:**

- навыками решения логических задач (кейсов) и упражнений.

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Предмет логики**

Мышление как предмет логики. Формально-логическое понимание процесса познания. Чувственное познание и абстрактное мышление. Основные компоненты содержания мышления как представления реальности.

Мышление и язык. Естественные и искусственные языки. Семантические категории, соответствующие основным компонентам мышления: дескриптивные (описательные) и логические термины (логические постоянные константы). Виды дескриптивных выражений: имена предметов, имена свойств и отношений (одноместные и многоместные предикаты). Понятие логической (пропозициональной) функции. Истолкование свойств, отношений и логических связей как пропозициональных функций.

Понятие о логической форме как структуре мышления. Основные формы мышления: понятие, суждение и умозаключение. Выражение структуры мыслей при помощи символов. Истинность мысли и формальная правильность рассуждения. Понятие о процессе формализации.

Понятие логического закона. Соблюдение законов логики – необходимое условие достижения истины в процессе рассуждения.

Формальная логика. Символическая логика. Диалектическая логика. Возникновение логики как науки. Основные этапы развития логики. Соотношение логики, философии, психологии, лингвистики, математики и кибернетики.

Теоретическое и практическое значение логики. Значение логики для науки и техники. Роль логики в повышении культуры мышления.

## 2. Понятие

Понятие как форма мышления (представления реальности). Языковые формы выражения понятий. Основные логические приёмы формирования понятий: анализ, синтез, сравнение, абстрагирование, обобщение. Роль понятий в познании.

Содержание понятия. Виды признаков предметов: свойства и отношения. Понятие логического предмета. Основные логические характеристики двухместных отношений: рефлексивность, симметричность, транзитивность. Существенные и несущественные признаки.

Объём понятия. Классы, подклассы, элементы класса. Отношение принадлежности элемента к классу и включение класса в класс.

Закон обратного отношения между объёмом и содержанием понятия.

Виды понятий. Общие и единичные понятия: понятия с нулевым и универсальным объёмом; относительные и безотносительные понятия; положительные и отрицательные понятия; собирательные и несобирательные понятия; абстрактные и конкретные понятия.

Отношения между понятиями. Совместимые и несовместимые понятия. Типы совместимости: тождество, перекрещивание, подчинение (родо-видовое отношение). Типы несовместимости: соподчинение, противоположность, противоречие. Круговые схемы Эйлера для выражения отношений между понятиями.

Операции над классами (объёмами понятий): пересечение, объединение и дополнение. Основные законы логики классов: коммутативность, ассоциативность операций пересечения и объединения; законы дистрибутивности; законы поглощения. Законы операций дополнения.

Ограничение и обобщение понятий. Роль операции обобщения в формировании понятий. Операция ограничения и конкретизация научных знаний.

Деление понятий. Виды деления: по видоизменению признака, дихотомическое. Правила и ошибки в делении.

Классификация. Естественная и искусственная классификация. Значение деления и классификации в науке и практике.

Определение (дефиниция) понятий. Номинальные и реальные определения. Явные и неявные определения. Основной вид явных определений: определение через род и видовое отличие. Неявные определения: контекстуальные, индуктивные, через отношение, аксиоматические. Приёмы, граничащие с определением: описание, характеристика, разъяснение посредством примера (остенсивное определение) и так далее. Правила явного определения. Ошибки в определении. Значение определения в науке и практике. Научная терминология. Роль уточнения смысла слов в процессе рассуждения.

### 3. Суждение

Суждение как форма мышления. Общая характеристика суждения. Суждение и предложение. Повествовательные, побудительные и вопросительные предложения, их логический смысл. Простые и сложные суждения.

Простое суждение. Состав простого суждения: субъект, предикат, связка, кванторы. Виды простых суждений: атрибутивные суждения, суждения с отношениями (реляционные), экзистенциальные суждения. Единичные и множественные суждения; роль кванторов в образовании множественных суждений.

Категорические суждения и их виды (деление по количеству и качеству). Выделяющие и исключаящие суждения. Круговые схемы отношений между терминами. Объединённая классификация простых категорических суждений по количеству и качеству. Представление о «логическом квадрате».

Сложное суждение и его виды. Образование сложных суждений из простых с помощью логических связок: конъюнкции, дизъюнкции, импликации, эквиваленции и отрицания. Табличное определение основных логических связок. Строгая и нестрогая дизъюнкция. Условное суждение. Понятие необходимого и достаточного условий.

Деление суждений по модальности. Понятие о модальности суждений. Значение модальных суждений в науке и практике.

Логическая структура вопроса. Виды вопросов и ответов. Роль вопросов в познании.

### 4. Формально-логические законы

Понятие о формально-логическом законе. Логические законы мышления и культура.

Основные формально-логические законы. Закон тождества. Закон непротиворечия. Закон исключённого третьего. Закон достаточного основания. Софистика и нарушение законов логики. Методологическое значение законов логики в познании.

## 5. Умозаключение

Умозаключение как форма мышления. Общее понятие об умозаключении (выводе). Посылки и заключение. Понятие логического следования. Виды умозаключений: дедуктивные, индуктивные и по аналогии. Непосредственные и опосредованные умозаключения.

Непосредственные умозаключения и их виды: обращение, превращение, противопоставление предикату, выводы по «логическому квадрату».

Дедуктивные умозаключения. Общее понятие о дедуктивных умозаключениях. Категорический силлогизм: структура категорического силлогизма, фигуры и модусы категорического силлогизма, их правила. Сокращённый категорический силлогизм (энтимема). Сложные и сложно-сокращённые силлогизмы (полисиллогизмы, сориты, эпихейремы). Условные умозаключения. Разделительные умозаключения. Условно-разделительные (лемматические) умозаключения. Непрямые (косвенные) выводы.

Индуктивные умозаключения. Общее представление об индукции. Полная индукция. Виды неполной индукции: популярная и научная. Понятие вероятности. Индуктивные методы установления причинных связей: метод единственного сходства, метод единственного различия, соединённый метод сходства и различия, метод сопутствующих изменений, метод остатков.

Умозаключения по аналогии. Понятие аналогии. Виды аналогии: аналогия предметов, аналогия отношений. Условия состоятельности выводов по аналогии. Значение аналогии в науке и практике.

## 6. Основы аргументации

Общая характеристика аргументации и доказательства. Доказательство – логическая основа научного знания. Доказательство и убеждение. Связь доказательства с выводным знанием. Структура доказательства: тезис, аргументы, демонстрация.

Прямое и косвенное доказательство. Понятие прямого доказательства. Виды не прямых (косвенных) доказательств.

Опровержение. Прямой и косвенный способы опровержения. Опровержение тезиса, аргументов и демонстрации.

Правила доказательства и опровержения. Ошибки, наиболее часто встречающиеся в доказательствах и опровержениях.

Софизмы и паралогизмы. Понятие о логических парадоксах.

Роль аргументации в познании и в дискуссиях.

## 7. Полемика как практика, гипотеза

Полемика как практика.

Общая характеристика гипотезы. Методологические условия состоятельности научных гипотез. Виды гипотез. Общие и частные гипотезы. Понятие рабочей гипотезы (версии). Конкурирующие гипотезы в науке.

Построение гипотез. Роль анализа, синтеза, различных форм умозаключений и опытных данных при построении гипотез. Метод множественных гипотез.

Способы подтверждения гипотез. Основной метод подтверждения гипотез: выведение следствий и их верификация. Роль эксперимента в процессе верификации. Вероятностная оценка степени подтверждения гипотез.

Опровержение гипотез путём опровержения (фальсификации) следствий.

Гипотеза и достоверное знание. Прямой и косвенный способы превращения гипотезы в достоверное знание. Роль гипотезы в развитии знаний.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Магнитные явления на макро-, микро- и наномасштабах**

#### **Цель дисциплины:**

- ознакомление с современным состоянием исследований и разработок в области магнитных явлений, материалов и устройств на их основе.

#### **Задачи дисциплины:**

- познакомить студентов с основными идеями и техническими решениями в этой области, с постановкой задач и исследовательскими подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия по теме дисциплины, ключевые количественные соотношения.

##### **уметь:**

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### **владеть:**

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Микромагнетизм.**

Магнетостатика, диа- и парамагнетизм, ферромагнетизм. Микродомены, гистерезис, их размерные зависимости. Коэрцитивные силы, роль дефектов. Магнитная вязкость, роль дефектов. Поведение магнитных кристаллов и пленок в переменном поле. Динамика

доменных стенок. Определение доменной структуры. Магнито-силовая микроскопия. Магнетооптические методы. Магнитные релаксации.

## 2. Магнетизм в наноразмерных системах.

Характерные линейные размеры для проявления размерных эффектов. Тонкие и ультратонкие пленки. Кристаллические и аморфные пленки, спиновые стекла. Многослойные пленочные структуры. Магнитные проволоки и иглы, малые частицы из магнитных материалов – технологии изготовления, иммобилизация на подложках.

## 3. Основные приложения низко- и наноразмерных систем.

Двумерные магнитные гетероструктуры. Одномерные гетероструктуры. Упорядоченные ансамбли магнитных наночастиц. Магнитные керамики. Приложения в криоэлектронике: приложения магнито-мягких материалов; устройства на основе магнито-жестких материалов. Устройства магнитозаписи.

## 4. Спин-орбитальные взаимодействия.

Микроскопические или внутренние спин-орбитальные взаимодействия в атомах. Макроскопические спин-орбитальные взаимодействия, взаимодействие Рашбы. Спиновый эффект Холла. Спиновый эффект Пельтье. Магнито-электрические эффекты. Спиновые конденсаторы.

## 5. Спиновые релаксации.

Механизмы спиновой релаксации. Механизм Дьяконова-Переля. Эффект Бира-Аронова-Пикуса. Механизм Эллиота-Яфета. Температурная зависимость спиновой релаксации. Ультратонкие взаимодействия ядерных спинов.

## 6. Устройства спинтроники.

Спинтронно-логические устройства. Спиново-полевой транзистор. Магнитная память. Магнитные датчики. Транзисторы.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Математическая геофизика и интерпретация геофизических данных**

#### **Цель дисциплины:**

Усвоение методологии, основных методов и подходов к обработке и интерпретации геофизических данных, решению прямых и обратных задач геофизики, математическому моделированию геофизических полей и процессов.

#### **Задачи дисциплины:**

- получение теоретических знаний о математических методах решения прямых и обратных задач;
- выработка практических навыков по применению этих методов для обработки и интерпретации полевых геофизических данных.
- рассмотреть задачи пометодной и комплексной интерпретации геофизических данных, анализа и привлечения априорной геолого-геофизической информации, геологическое истолкование полученных результатов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- физико-математическую теорию геофизических методов исследований;
- принципы и методы моделирования геофизических полей и процессов;
- основные методы и алгоритмы обработки и интерпретации геофизических данных;
- принципы решения прямых и обратных задач геофизики;
- принципы построения геологических моделей месторождений полезных ископаемых и способы корректировки плана геолого-разведочных работ на основе результатов интерпретации геофизических данных;
- основы методики проведения полевых геофизических исследований и получения геофизических данных.

##### **уметь:**

- на основании информации о геологическом строении, литолого-фациальном и минералогическом составе среды проводить моделирование геофизических полей и процессов;
- на основании данных о значениях наблюдаемых физических полей реконструировать строение и физические свойства геологической среды;
- давать геологическое истолкование результатов обработки и интерпретации геофизических данных.

**владеть:**

следующими навыками:

- анализа и обработки первичных геофизических данных;
- использования компьютерных программ анализа и обработки геофизической информации;
- подготовки заданий и отчётов по проектам обработки и интерпретации геофизических данных.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение

Цель, задачи и значение курса. Предмет и методы исследования.

2. Методы математической физики

Основные уравнения математической физики: теплопроводности, Пуассона, Лапласа, волновое, Гельмгольца, Навье-Стокса, описываемые ими физические процессы и применение в геофизике. Постановка краевых задач математической физики. Теория потенциала. Гармонические функции и их свойства. Краевые задачи теории потенциала. Применение в геофизике. Нормальное поле силы тяжести. Редукции силы тяжести. Теория волн. Принцип Гюйгенса. Метод Кирхгофа. Гармонические колебания. Сейсмические волны. Отражение и преломление. Распространение плоских волн в слоистой среде. Волноводы. Задача Лэмба о волнах, возбуждаемых точечными источниками в упругом полупространстве. Поверхностные упругие волны. Волна Рэлея, волна Лява. Электромагнитные волны, их распространение в геологической среде.

3. Геофизические поля и процессы. Прямые задачи геофизики

Поля времён сейсмических волн в слоистых и трёхмерно-неоднородных средах. Лучевые методы. Уравнение эйконала. Методы расчёта волновых полей. Электромагнитные поля в коре Земли. Фильтрация флюидов в пористых средах. Расчёт термических полей в литосфере Земли. Вклад радиоактивности. Континентальная изотерма. Модели формирования океанической литосферы, океаническая изотерма.

4. Обратные задачи геофизики

Постановка обратных задач. Задачи на условный и безусловный минимум. Вариационные методы. Понятие корректности по Адамару. Некорректные и условно-корректные обратные

задачи. Метод регуляризации А.Н. Тихонова. Обратные задачи теории потенциала. Методы аналитического (аппроксимационного) продолжения, особые точки аномальных полей. Определение интегральных характеристик возмущающих масс. Единственность в рудных и структурных обратных задачах. Обратные задачи сейсмологии. Обратные задачи кинематической сейсмологии, способы их решения. Сейсмическая томография. Обратные задачи метода поверхностных волн.

#### 5. Статистические методы обработки и интерпретации геофизических данных

Вероятностная модель экспериментального материала. Понятие статистической гипотезы. Проверка статистических гипотез. Ошибки первого и второго рода, их вероятности. Правила принятия решений, критерии оптимальности. Случайные процессы. Геофизические поля как случайные процессы. Обнаружение сигналов на фоне помех. Оценки параметров сигналов по выборке. Свойства оценок: состоятельность, несмещённость, эффективность. Оптимальная фильтрация по Колмогорову-Винеру, её применение в задачах разделения и интерполяции аномальных полей. “Предсказывающая” деконволюция в обработке сейсмических записей. Статистическое обоснование метода наименьших квадратов, свойства минимально-квадратических оценок.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Машинное обучение в задачах геофизики**

#### **Цель дисциплины:**

Практическое и теоретическое знакомство с методами применения машинного обучения в задачах геофизики.

#### **Задачи дисциплины:**

1. Знакомство студентов с возможностью использования нейросетей в задачах геофизики на примере актуальных академических и коммерческих задач.
2. Получение студентами опыта использования методов машинного обучения в задачах геофизики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные разделы геофизики и соответствующие методы машинного обучения, которые могут быть применены для решения обратных задач.

##### **уметь:**

- выбирать подходящие методы, алгоритмы и конфигурации нейронных сетей для решения некоторых задач геофизики.

##### **владеть:**

- математическим аппаратом, описывающим геофизические процессы в разведке полезных ископаемых.

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Введение**

- Определение машинного обучения в геофизике и его отличие от классических методов анализа данных.

- Различные типы задач, решаемых с помощью машинного обучения в геофизике, такие как классификация, регрессия и кластеризация.
- Обзор различных алгоритмов машинного обучения, используемых в геофизике, включая нейронные сети, случайные леса и методы опорных векторов.
- Важность выбора и подготовки данных для успешного применения методов машинного обучения.

## 2. Машинное обучение в акустике и упругих средах

- Применение методов машинного обучения для обработки и интерпретации данных сейсмической акустики.
- Создание моделей машинного обучения для прогнозирования параметров упругих сред и определения границ раздела геологических формаций.
- Использование глубоких нейронных сетей для обработки больших объемов данных сейсмических исследований и извлечения скрытых закономерностей.

## 3. Машинное обучение в гравиметрии

- Применение алгоритмов машинного обучения для коррекции и фильтрации гравиметрических данных для устранения шума и артефактов.
- Разработка моделей машинного обучения для определения геологических структур на основе изменений в гравитационном поле

## 4. Машинное обучение в магнитометрии

- Применение методов машинного обучения для обработки и анализа магнитных данных с целью определения геологических структур и ресурсов.
- Создание моделей машинного обучения для классификации различных типов магнитных аномалий и их интерпретации.
- Использование глубоких нейронных сетей для распознавания сложных паттернов в магнитных данных и предсказания геологических характеристик.

## 5. Машинное обучение в комплексной интерпретации геофизических данных

- Интеграция данных разных геофизических методов (сейсмико-акустические, гравиметрические, магнитные и т. д.) для создания комплексных моделей машинного обучения.
- Применение алгоритмов объединения и фьюжона данных для повышения точности интерпретации и обнаружения скрытых структур.

- Разработка методов визуализации и представления результатов комплексной интерпретации геофизических данных для лучшего понимания геологических процессов.

6. Машинное зрение и другие методы автоматизации поиска и разведки полезных ископаемых

Применение методов машинного зрения, таких как компьютерное зрение и обработка изображений, для автоматического обнаружения и классификации полезных ископаемых на основе геологических образцов и геофизических данных.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Машинное обучение и анализ данных**

#### **Цель дисциплины:**

Познакомить слушателей с основными задачами машинного обучения и современными методами, включая популярные методы, такие как градиентный бустинг и нейронные сети. Научить работе с широко известными библиотеками машинного обучения. Сформировать навыки решения задач машинного обучения с использованием программного обеспечения и языка программирования Python.

#### **Задачи дисциплины:**

- изучение методов машинного обучения;
- изучение моделей машинного обучения;
- изучение способов оценки качества моделей и методов выбора наилучшей модели;
- знакомство с нейронными сетями и методами градиентного бустинга;
- приобретение навыков оформления результатов исследования и обоснования построенных моделей;
- приобретение практических навыков программирования на языке Python, включая работу с современными библиотеками машинного обучения;
- знакомство с платформами по анализу данных для спортивных соревнований, в т.ч., Kaggle.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные методы машинного обучения;
- основные модели машинного обучения;
- способы оценки качества моделей и методов выбора наилучшей модели;
- основные объекты, процедуры и библиотеки языка Python, необходимые для решения задач машинного обучения.

##### **уметь:**

- обосновывать оценку качества модели и метода выбора наилучшей модели;
- оформлять результаты исследования;
- работать с современными библиотеками машинного обучения;
- применять основные объекты и процедуры языка Python, необходимые для решения задач прикладной статистики.

**владеть:**

- основными методами машинного обучения.
- навыками выбора наилучшей модели для машинного обучения;
- средствами разработки и тестирования программного кода на языке Python, объектами и средствами, предлагаемыми стандартными библиотеками, необходимыми для решения задач машинного обучения.

**Темы и разделы курса:**

1. Основные задачи машинного обучения

Регрессия, классификация, кластеризация.

2. Регуляризация в линейной регрессии

Мультиколлинеарность, ее признаки. Регуляризация в линейной регрессии: ридж и лассо регрессии, свойства моделей. Формула оценки коэффициентов в ридж-регрессии. Эквивалентные задачи условной оптимизации и их интерпретация.

3. Логистическая регрессия

Свойства логистической функции. Постановка задачи логистической регрессии, формула градиентного спуска, стохастический градиентный спуск. Переобучение модели.

4. Метод главных компонент

Причины избыточности информации в данных, типы методов снижения размерности. Метод главных компонент (PCA) как выбор направлений с максимальной дисперсией, формулы перехода в сжатое пространство и обратно. Дисперсии образа, выбор размерности сжатого пространства на основе доли необъясненной дисперсии.

5. Решающие деревья

Решающее дерево, процесс его построения и выбора разбиения в вершине. Критерии информативности (gini, энтропийный, MSE). Критерии останова, выбор ответа в листе.

6. Случайные леса

Bias-variance разложение. Беггинг, b-v разложение для него.

Случайный лес, анализ случайного леса при помощи b-v разложения. Out-of-Bag ошибка.

7. Бустинг

Бустинг, его построение и построение новой базовой модели. Формулы для сдвигов для разных функций потерь. Аналогия с градиентным спуском. Сокращение шага. Стохастический градиентный спуск. Анализ бустинга с помощью  $b-v$  разложения.

Градиентный бустинг над деревьями, перенастройка ответов в листьях.

#### 8. Продвинутое построение композиций

XGBoost, CatBoost, LightGBM, стеккинг, варианты его обучения. Блендинг, StackNet.

#### 9. Работа с признаками

Работа с числовыми признаками (трансформации, квантование). Работа с порядковыми и категориальными признаками. Mean encoding, регуляризация для него.

#### 10. SVM (Метод опорных векторов)

Оптимальная разделяющая гиперплоскость для линейно разделимых классов, ее ширина полосы. Постановка задачи SVM в линейно разделимом случае и в общем случае. Двойственная, классификация объектов на три типа. Ядерный трюк в задаче SVM, свойства ядра, примеры. История SVM.

#### 11. Кластеризация

Задача кластеризации. Метрика качества задачи кластеризации. K-means, оптимизируемый функционал, начальные приближения. Mini-batch K-means, K-means++. EM-алгоритм. DBSCAN.

#### 12. Нейронные сети

Модель нейрона, однослойная сеть. Метод обратного распространения ошибки для двухслойной нейросети. Методы оптимизации для нейронных сетей. Функции активации. Проблема затухания и взрыва градиента. Dropout. Batch Normalization. Автоэнкодеры.

#### 13. Свёрточные нейронные сети

Свёртка, padding, stride. Receptive field, интерпретация нейронов с помощью receptive field. Pooling.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Методика преподавания**

#### **Цель дисциплины:**

формирование у слушателей базового набора знаний, относящихся к общей педагогике, методике преподавания, составу различных учебных дисциплин, а также общим целям преподавания этих дисциплин и задачам, решаемым преподавателем в ходе педагогического процесса.

#### **Задачи дисциплины:**

изучить основные принципы дидактики и основные вопросы методики обучения, принципы построения учебных дисциплин, способы оценивания учебных достижений и мотивирования обучающихся, основы нормативной правовой базы образовательного процесса, основные приемы и методы развития таланта обучающихся и их мотивации к участию в интеллектуальных соревнованиях школьников;

изучить базовые принципы построения образовательного стандарта и программы учебной дисциплины;

научиться планировать и готовить основные виды занятий для школьников и студентов (урок, лекция, семинарское занятие, специальный курс, практическое занятие) – как по общим курсам, так и в рамках своей научной специализации;

научиться формулировать цели и задачи лекций, семинарских занятий, лабораторных практикумов и демонстрационного эксперимента;

изучить особенности создания онлайн-курсов с использованием стандартного функционала и осознать встречающиеся при этом педагогические затруднения;

научиться использовать полученные базовые знания, умения и навыки на практике при проведении учебных занятий;

понять роль рефлексии при анализе педагогических ошибок.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основы дидактики и методики преподавания дисциплин естественнонаучного цикла;
- сущность процессов обучения и воспитания, путей совершенствования мастерства педагога и способов самосовершенствования;

- принципы построения структуры учебных планов и учебных программ;
- различные подходы к организации изучения естественнонаучных дисциплин;
- современные технологии обучения, методы формирования у учащихся логического мышления и навыков самостоятельной работы;
- способы развития таланта учащихся.

**уметь:**

ориентироваться в системе физико-математического образования РФ;

- критически оценивать различные образовательные подходы к подготовке в области физики и математики;
- планировать и проводить учебные занятия основных типов;
- проектировать, конструировать, организовывать и анализировать педагогическую деятельность, обеспечивать последовательность изложения материала и междисциплинарные связи физики с другими дисциплинами, ясно и логично излагать содержание нового учебного материала;
- осваивать и самостоятельно применять частные методики преподавания отдельных разделов в рамках естественнонаучных предметов;
- устанавливать связи школьных предметов с различными вузовскими дисциплинами и вузовских дисциплин друг с другом;
- анализировать нормативно-правовую базу обеспечения учебного процесса
- оценивать знания учащихся и вносить соответствующие коррективы в процесс обучения.

**владеть:**

- основами методики оценки эффективности различных образовательных подходов, применяемых в современных образовательных центрах;
- методами и приёмами составления задач, упражнений и тестов;
- навыками оценивания учебных достижений, способами мотивации, основами методики подготовки к учебным занятиям;
- приемами анализа учебной и учебно-методической литературы с целью построения собственного изложения материала;
- приемами создания и поддержания благоприятной учебной среды, развития интереса учащихся к предмету;
- методами мотивации обучения, формирования и поддержания обратной связи с обучающимися.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Введение в педагогику

Общая характеристика педагогической профессии. Педагогика как наука, ее объект, предмет, функции. Методология педагогики и методы педагогического исследования. Педагогическая деятельность как профессия. Основные вопросы методики преподавания (кого, чему, зачем, когда и как учить?). Принципы построения учебных дисциплин.

## 2. Рефлексия в педагогике. Практико-ориентированный семинар по анализу педагогических ошибок

Педагогическое мастерство. Сущность педагогического общения. Ценностные характеристики педагогической деятельности. Понятие профессиональной компетентности педагога. Взаимосвязь педагогической науки и практики. Педагогические ошибки и важность рефлексии педагогической деятельности.

## 3. Особенности чтения лекций и ведения семинаров для различных категорий студентов

Цели и задачи семинарских занятий. Категории студентов. Особенности чтения лекций и ведения семинаров для различных категорий студентов. Системы оценивания учебных достижений обучающихся – зачет, зачет с оценкой, экзамен, рейтинг. Обсуждение возможных способов мотивации обучающихся с разным уровнем подготовки и различными целевыми установками.

## 4. Мастер-класс от ведущего преподавателя МФТИ

Практические аспекты методики чтения лекций и проведения семинаров по дисциплинам естественнонаучного профиля. Основное содержание лекции – понятийный аппарат, определения, формулировки, теоремы, математическая запись закономерностей, работа преподавателя с аудиторией, с доской, с демонстрационным экспериментом, другие вопросы проведения занятий на примере опыта преподавателя.

## 5. Электронные технологии в образовании. Проблемно-ориентированный семинар

Особенности различных электронных образовательных платформ. Достоинства и недостатки использования различных платформ в образовательном процессе.

## 6. Создание онлайн курсов в различных средах

Основные особенности создания электронных курсов в различных видах образовательных платформ.

## 7. Развитие таланта школьников как педагогическая задача

Психолого-педагогические аспекты развития таланта. Формы и методы деятельности по развитию таланта. Профессиональная ориентация школьников, проявивших свой талант.

## 8. Интеллектуальные соревнования школьников

Типы и виды интеллектуальных соревнований. Олимпиады. Особенности проведения различных видов интеллектуальных соревнований. Особенности подготовки школьников к интеллектуальным соревнованиям.

## 9. Различные педагогические подходы к углубленному преподаванию физики и математики

История и традиции углубленного изучения математики и физики в России. Современная нормативная база углубления изучения математики и физики (ФГОС, примерные

программы). Методическое обеспечение углубленного изучения физики и математики (в бумажной и электронной форме).

#### 10. Развитие таланта школьников и популяризация науки

Различные формы популяризации науки. Особенности чтения научно-популярных лекций для различных категорий школьников. Проектно-исследовательская деятельность школьников.

#### 11. Итоговый проблемный семинар

Составление плана собственного семинара. Анализ собственного педагогического опыта. Рефлексирование собственного педагогического опыта.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Методы анализа газокинетических процессов на основе уравнения Больцмана**

#### **Цель дисциплины:**

овладеть общим понятийным аппаратом и научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен иметь основные представления о физических процессах, лежащих в основе кинетической теории Больцмана, уметь задавать граничные условия для различных задач кинетической теории, рассчитывать и анализировать газокинетические процессы переноса, рассчитывать основные физические характеристики газокинетических процессов, знать области применения компьютерного моделирования к Кнудсеновским микронасосам различного типа.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики переноса массы и энергии на основе кинетического уравнения Больцмана;
- обучение студентов основным методам и подходам, используемым в кинетической теории, изучение базовых принципов кинетической теории, основанной на уравнении Больцмана;
- формирование подходов, основанных на конечно-разностных аппроксимациях оператора адвекции кинетического уравнения, расщепление кинетического уравнения по физическим процессам. Дискретная реализация начальных и граничных условий.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- принципы и методы кинетической теории Больцмана,
- проекционный метод вычисления интеграла столкновений,
- методы решения уравнения адвекции на сетках различного типа
- метод Коробова
- метод расщепления

##### **уметь:**



- численно решать кинетическое уравнение,
- использовать различные потенциалы межмолекулярного взаимодействия,
- задавать граничные условия для различных типов задач.

**владеть:**

- методами компьютерного моделирования газокинетических процессов,
- методами разработки проблемно-моделирующих сред на современных суперкомпьютерных системах.

**Темы и разделы курса:**

1. Кинетическое уравнение Больцмана.

Консервативный проекционный метод. Многомерные кубатурные сетки Коробова и их преимущество. Скорости после столкновения для произвольного молекулярного потенциала. Обобщение метода для смеси газов. Решение дискретного кинетического уравнения.

2. Консервативный проекционный метод.

Проекционный метод вычисления интеграла столкновений с учётом поступательно-вращательного и поступательно-колебательного переноса энергии. Простая релаксационная модель поступательно-вращательного переноса энергии. Решение системы кинетических уравнений для газа с внутренними степенями свободы молекул.

3. Многомерные кубатурные сетки Коробова и их преимущество.

Мембранный микро фильтр. Кнудсеновский компрессор. Насос из перемежающихся разно нагретых пластин. Микро ротатор (радиометр Крука). Компьютерная модель эксперимента Кнудсена 1910 г.

4. Обобщение метода для смеси газов

Методы решения уравнения диффузии. Метод дискретных ординат для решения уравнения переноса. Метод характеристик для решения уравнения переноса.

5. Проекционный метод вычисления интеграла столкновений с учётом поступательно-вращательного и поступательно-колебательного переноса энергии.

Проекционный метод вычисления интеграла столкновений с учётом поступательно-вращательного и поступательно-колебательного переноса энергии.

6. Консервативные конечно-разностные схемы.

Методы решения уравнения диффузии. Метод дискретных ординат для решения уравнения переноса. Метод характеристик для решения уравнения переноса.

7. Дискретная реализация начальных и граничных условий.

Дискретная реализация начальных и граничных условий.

8. Аппроксимация уравнения Больцмана на пространственно-скоростной сетке узлов.

Кинетическое уравнение для молекулярных газов. Аппроксимация уравнения Больцмана на пространственно-скоростной сетке узлов.

9. Граничные условия на поверхностях симметрии течения. Консервативная формулировка граничных условий.

Граничные условия на поверхностях симметрии течения. Консервативная формулировка граничных условий.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Методы анализа данных и распознавания**

#### **Цель дисциплины:**

изучение современных подходов, моделей, алгоритмов анализа данных и решения задач распознавания, классификации, нахождения зависимостей.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами базовых знаний в области методов анализа данных и распознавания (МАДР);
- приобретение теоретических знаний в области анализа прецедентных данных в условиях их частичной противоречивости и неполноты;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных теоретических и экспериментальных исследований в области МАДР;
- формирование навыков применения МАДР при исследовании экспериментальных, статистических или экспертных данных при выполнении студентами выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- фундаментальные понятия и методы теории распознавания по прецедентам и анализа данных;
- современные проблемы анализа данных, теории распознавания, классификации, поиска зависимостей;
- методы и подходы решения практических задач анализа данных и классификации коллективами алгоритмов;
- программные средства решения основных задач анализа данных и классификации.

##### **уметь:**

- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных и технологических задач в различных предметных областях;

- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента, выбирать правильно параметры методов, адекватные размерности обучающих выборок;
- делать качественные и количественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать оптимальные алгоритмы классификации и правильно оценивать степень их точности и достоверности;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- планировать оптимальное проведение обучения по прецедентам;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

**Владеть:**

- навыками анализа большого объема частично противоречивых и неполных признаков описаний;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории с использованием современных компьютерных технологий;
- культурой постановки и планирования последовательности решения задач анализа данных и классификации;
- навыками грамотной обработки статистических многомерных данных, оформления результатов численных расчетов и их сопоставления с теоретическими оценками;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками анализа реальных задач из различных предметных областей на уровне отдельных подходов и коллективами алгоритмов.

**Темы и разделы курса:**

1. Основные понятия. Модели распознавания, основанные на принципе частичной прецедентности.

Основные понятия теории распознавания по прецедентам. Признаковые описания, обучающие выборки, компактность, задачи распознавания, кластерного анализа, восстановления регрессий, прогнозирования, поиска закономерностей. Примеры практических применений. Стандартная обучающая информация. Функционал качества распознавания. Тестовый алгоритм, алгоритмы с представительными наборами. Модели алгоритмов вычисления оценок. Эффективные формулы вычисления оценок.

2. Информативность признаков и эталонов, методы оценки информативности.

Различные подходы и методы определения информативности признаков и эталонов. Вычисление оценок информативности. Поиск информативных систем признаков как

дискретная оптимизационная задача. Приближенный метод нахождения оптимального признакового подпространства, основанный на применении логических корреляций признаков и методов кластеризации

### 3. Логические закономерности классов, их поиск и применение в задачах классификации.

Логические закономерности классов, логические описания классов, минимальные и сокращенные описания. Построение решающих функций в моделях голосования по системам логических закономерностей. Нахождение логических закономерностей классов как решение специализированных задач дискретной оптимизации. Поиск логических закономерностей классов с частотным и стандартным критериями качества.

Генетические алгоритмы поиска. Кроссовер, мутация, операторы отбора. Генетический алгоритм поиска логических закономерностей классов.

### 4. Модели распознавания, основанные на построении бинарных решающих деревьев.

Бинарные решающие деревья. Признаковые предикаты. Представление разбиения дискретного единичного куба в виде бинарного решающего дерева. Алгоритм построения допустимого разбиения. Алгоритмы построения бинарного решающего дерева по прецедентам, практические методы обрезания деревьев.

### 5. Алгоритмы распознавания, основанные на построении линейных и кусочно-линейных разделяющих поверхностей

Минимизация эмпирического риска. Правило постоянного приращения, теорема Новикова. Поиск максимальной совместной подсистемы системы линейных неравенств. Линейные и кусочно-линейные разделяющие поверхности. Линейная машина. Линейный дискриминант Фишера. Методы построения линейных разделяющих функций (релаксационные методы, псевдообращения, методы линейного программирования). Метод комитетов.

### 6. Модели распознавания, основанные на построении нелинейных разделяющих поверхностей

Построение полиномиальных разделяющих поверхностей, переход в спрямляющее пространство. Метод потенциальных функций, процедура обучения метода, метод группового учета аргументов. Метод опорных векторов. Сведение задачи построения разделяющей гиперплоскости с максимальным зазором к задаче квадратичного программирования. Случай линейной неразделимости классов. Метод опорных векторов и спрямляющее признаковое пространство. Связь метода опорных векторов и метода потенциальных функций.

### 7. Нейросетевые модели классификации

Нейросетевые алгоритмы распознавания. Общие понятия. Алгоритм обратного распространения ошибки. Сети Кохонена и Хопфильда, алгоритмы обучения Хэбба, сети встречного распространения, мультипликативные нейронные сети, теорема Колмогорова.

### 8. ROC-анализ и AUC- оптимальные классификаторы.

Определение ROC-кривых как выбор оптимальных классификаторов. Определение таблицы сопряженности, точки отсечения, ошибки I и II рода, чувствительные и специфичные тесты. Практическое построение и анализ ROC-кривых в моделях классификации.

#### 9. Статистическая теория распознавания

Байесовское решающее правило. Байесовский риск. Классификация с минимальным уровнем ошибок. Классификаторы, разделяющие функции и поверхности решений. Вероятности ошибок, случай нормальной плотности, махаланобисово расстояние, дискретный случай. Параметрические и непараметрические статистические методы распознавания. Функция роста, емкость множества функций. Равномерная сходимость частот ошибок к вероятностям. Примеры моделей распознавания ограниченной и неограниченной емкости.

#### 10. Алгебраическая теория распознавания

Стандартный распознающий алгоритм, распознающий оператор, решающее правило. Основные понятия и определения алгебраического подхода в распознавании. Корректность и полнота моделей. Представление алгоритмов в виде операторных полиномов. Существование корректных алгоритмов. Методы поиска корректных алгоритмов. Операции над распознающими алгоритмами. Логические корректоры, корректор по большинству, байесовский и потенциальный корректоры алгоритмов

#### 11. Система анализа данных и классификации РАСПОЗНАВАНИЕ

Описание графической оболочки. Главные окно и основное меню. Окно проекта. Методы распознавания и классификации. Ввод и предобработка данных, количественные признаки. Обработка номинальных признаков и неизвестных значений. Задание основного признака. Структура программы.

#### 12. Кластерный анализ

Задача кластерного анализа. Меры подобия. Функции критериев для группировки: критерий суммы квадратов ошибок, родственные критерии минимума дисперсии. Матрицы и критерии рассеяния. Критерии кластеризации, основанные на матрицах рассеяния. Некоторые эвристические алгоритмы (метод k-средних, метод размытых k-средних, форель, метод k-эталонов, алгоритм взаимного поглощения). Задача кластеризации в статистической постановке. Восстановление плотностей компонент по плотности смеси. Итеративная оптимизация в кластерном анализе. Минимизация критерия суммы квадратов ошибок. Иерархическая группировка, дендрограммы, агломеративные и делимые процедуры. Алгоритмы "ближайший сосед", "дальний сосед", компромиссы. Пошаговая оптимальная иерархическая группировка. Многомерное масштабирование. Решение задачи кластеризации как поиск минимальных покрытий. Критерии качества кластеризаций, основанные на оценке устойчивости решений. Методы вычисления критериев. Меры концентрации, средняя мера внутриклассового рассеяния. Критерии кластеризации при неизвестном числе кластеров. Решение задач кластеризации при неизвестном числе кластеров

#### 13. Решение задач кластеризации коллективами алгоритмов

Кластеризация коллективами алгоритмов. Комитетный синтез коллективных решений. Размытые и контрастные матрицы оценок. Критерии качества коллективных решений.

Методы нахождения оптимальных коллективных решений задач кластерного анализа. Видео - логический метод кластеризации.

14. Классификация объектов с неполными признаковыми описаниями, с большим числом классов

Существующие методы восстановления значений признаков (marginalisation, imputation, регрессионные и статистические методы). Подходы, основанные на локальном обучении, оптимизации и применении алгоритмов распознавания. Достоинства и недостатки различных методов.

Существующие подходы для решения задач с многими классами. Подходы, основанные на попарном разделении классов, подход «один против всех». Сведение задачи к набору дихотомических классификаций и подходу ЕСОС.

15. Нахождение функциональных зависимостей по прецедентам

Задачи и методы восстановления регрессий, параметрические и непараметрические подходы (линейная и кусочно-линейная, полиномиальная, логистическая регрессии, ядерное сглаживание).

Восстановление функциональных зависимостей по прецедентам с использованием логических моделей распознавания. Байесовское восстановление, как построение коллективных решений задач распознавания. Восстановление кусочно-постоянных функций по прецедентам.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Методы вычислительной электродинамики**

#### **Цель дисциплины:**

освоение студентами основных современных вычислительных методов электродинамики и подходов к решению прикладных задач с использованием этих методов;

получение навыков работы с некоторыми САПР, используемыми при практическом решении вычислительных задач электродинамики; получение опыта в поиске необходимой информации и углублённом изучении некоторых тем по монографиям, учебникам и периодической литературе.

#### **Задачи дисциплины:**

формирование базовых знаний в области вычислительной электродинамики как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков в области электродинамики и основные численные методы;

обучение студентов принципам решения задач вычислительной электродинамики, разработки вычислительных алгоритмов;

получение студентами навыков использования некоторых САПР (FEKO, Автокад) в целях решения вычислительных задач прикладной электродинамики;

формирование подходов к выполнению исследований студентами в области вычислительной электродинамики в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

современные проблемы и достижения физики, математики, вычислительной математики и техники;

постановку проблем численного моделирования взаимодействия электромагнитного поля с объектами и структурами.

##### **уметь:**

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения,



работать с современными пакетами прикладных программ;

абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;

планировать оптимальное проведение сложных вычислений.

**владеть:**

математическим моделированием физических задач возбуждения и рассеяния электромагнитных волн.

**Темы и разделы курса:**

1. Классификация задач электродинамики. Примеры прикладных задач. Физические особенности полей, учёт которых необходим при численном решении задачи

Классификация задач электродинамики: внешние и внутренние задачи, задачи возбуждения и дифракции, прямые и обратные задачи. Примеры прикладных задач: задачи радиомаскировки, метаматериалы, управляемые поверхности, задачи медицинской гипертермии и интроскопии.

Физические особенности полей и токов на металлических кромках. Особенности поля в неоднородной плазме при переходе действительной части диэлектрической проницаемости через ноль. Возбуждение поверхностных волн в слое диэлектрика при дифракции волны на нерегулярностях слоя.

2. Эффективная поверхность рассеяния. Решения на основе метода собственных функций. Оценка полей и ЭПР простых тел из лучевых и геометрических соображений. Связь решений двумерных и трёхмерных задач

Диаграммы излучения (антенны) и рассеяния (радиолокация). Двумерная и трёхмерная эффективная поверхность рассеяния (ЭПР).

Метод разделения переменных. Собственные функции и собственные волны. Координатные поверхности. Дифракция плоской волны на цилиндре. Возбуждение кругового цилиндра нитью тока.

ЭПР сферы, цилиндра и полости больших размеров из геометрических и физических соображений.

Оценка размера зоны сохранения квазидвумерной структуры распределения полей для трёхмерной задачи рассеяния на цилиндре, на пластине, на крае поверхности конечной длины. Связь между полями рассеяния в дальней зоне для двумерных и трёхмерных задач. Интерпретация формирования рассеянного поля через зоны Френеля.

3. Уравнения Максвелла и Гельмгольца. Граничные условия и условия излучения. Векторные и скалярные потенциалы. Решение неоднородных уравнений Гельмгольца с использованием функции Грина

Неоднородные уравнения Гельмгольца для полей, векторных и скалярных потенциалов. Калибровка Лоренца. Примеры уравнений Гельмгольца для неоднородных сред.

Граничные условия на тангенциальные и нормальные к границе составляющие электрического и магнитного полей. Условия излучения в свободном пространстве и в волноводе.

Представления функции Грина для поверхности с токами, для цилиндрической и трёхмерной задач.

Специальные функции Грина для случаев наличия идеально проводящих объектов с координатными границами.

Три типа решений неоднородных уравнений Гельмгольца с использованием функции Грина.

4. Основные теоремы электродинамики и их использование в вычислениях. Поверхностный импеданс. Оценка заметности размерного объекта методом физической оптики

Теоремы Умова-Пойнтинга, единственности, эквивалентности, взаимности. Удельная поглощаемая мощность. Баланс мощностей. Определение добротности. Связь устойчивости решения с теоремой единственности. Теорема эквивалентности, три способа введения эквивалентных поверхностных токов. Симметрия матриц импедансов и рассеяния в условиях теоремы взаимности.

Физические ситуации, в которых вводится поверхностный импеданс.

Метод физической оптики. Вычисление диаграммы рассеяния по найденным токам на объекте.

5. Декомпозиционный подход к решению задач электродинамики. Решение граничных задач электродинамики методом конечных элементов

Матрицы рассеяния по собственным волнам соединительных волноводов. Матрицы импедансов и адмиттансов по достаточно полным системам граничных функций. Реконструкция по матрицам рассеяния или импедансов /адмиттансов подобластей.

Варианты решения задачи рассеяния при известной матрице импедансов /адмиттансов для внутренней области.

Решение задачи рассеяния по частям (декомпозиционно) и "сразу" методом конечных элементов.

6. Методы поверхностных и объёмных интегральных уравнений (ИУ)

Поверхностные интегральные уравнения электрического и магнитного поля для металлов, для однородных магнито-диэлектриков.

Объёмные интегральные уравнения для неоднородных магнитодиэлектриков.

Использование метода Галёркина для составления систем интегральных уравнений.

7. Решение трёхмерной задачи рассеяния методом поверхностных ИУ с использованием векторных базисных функций. ИУ для тонкопроволочных структур

Решение задачи рассеяния на металлическом объекте произвольной формы методом поверхностных ИУ с использованием базиса из векторных функций (RWG).

Составление и решение интегральных уравнений Поклингтона для тонкопроволочных структур.

8. Метод конечных разностей во временной области

Схема Уее решения задачи рассеяния методом конечных разностей во временной области. Условия на временной и пространственной дискреты для устойчивости метода. Введение поглощающих граничных условий для рассеянного поля на границе области расчёта.

9. Геометрическая и физическая теории дифракции

Край как центр рассеяния на поверхности. Решение задач дифракции плоских волн двух поляризаций на координатном, идеально проводящем клине. Генерация конуса дифракционных лучей на краю поверхности. Использование дифракционных коэффициентов в геометрической теории дифракции. Концепция элементарных краевых волн в физической теории дифракции.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Методы измерений в физике высоких плотностей энергии**

#### **Цель дисциплины:**

– обучение студентов основным принципам измерений в физике высоких плотностей энергии и методам обработки результатов измерений, формирование культуры измерений, исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физических принципов функционирования различных датчиков;
- обучение студентов основам аналоговой и цифровой обработки сигналов;
- изучение базовых алгоритмов цифровой обработки сигналов;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для решения практических задач, самостоятельного анализа полученных результатов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

– основные характеристики датчиков (чувствительность, динамический диапазон); – виды датчиков по условной классификации (возмущающие/невозмущающие, балансные/небалансные); – скалярное, векторное, смешанное произведения; – физические принципы работы различных датчиков (температуры, давления, положения, скорости, ускорения, ионизирующего и неионизирующего излучения и др.)

##### **уметь:**

- решать простейшие задачи обработки и анализа сигналов;
- использовать методы математического анализа и теории функции комплексной переменной для построения цифровых фильтров.

##### **владеть:**

- аппаратом цифровой и аналоговой обработки сигналов.

## **Темы и разделы курса:**

### 1. Датчики и сигналы.

Основные термины и определения. Понятие физической величины и сигнала. Общая структурная схема проведения измерений. Основные характеристики датчиков – чувствительность и динамический диапазон.

### 2. Датчики температуры.

Пример простого термометра с биметаллической пластиной. Преобразование температуры в электрический сигнал. Терморезисторы и термисторы. Другие датчики температуры. Общие принципы конструирования датчиков. Мостовая схема. Балансные и небалансные датчики.

### 3. Датчики давления.

Примеры датчиков давления. Барометр атмосферного давления. Манометры, тензодатчики, вакуумметры. Прямые и косвенные измерения.

### 4. Микрофоны и сенсорные датчики.

Микрофон – датчик волн давления. Динамический, угольный, электретный и другие типы микрофонов. Матричное соединение датчиков, сенсорные панели. Типы сенсорных датчиков.

### 5. Измерение смещения и расстояния.

Принципы зондирования при измерении расстояния до объекта. Радиолокатор как датчик расстояния и скорости. Основы радиолокации. Активная и пассивная локация. Основы теории принятия решений.

### 6. Датчики положения в пространстве.

Определение положения в пространстве. Триангуляция. Основные принципы спутниковой радионавигации. Система координат, измерение псевдодальности и решение навигационной задачи. Определение собственной скорости.

### 7. Датчики скорости и ускорения.

Основные принципы измерения скорости и ускорения. Акселерометры, их основные типы. Интегрирование данных акселерометров. Инерциальная гиросtabilизированная платформа. MEMS-датчики.

### 8. Датчики ионизирующего излучения.

Виды ионизирующего излучения. Основные принципы детектирования ионизирующего излучения. Ионизационные камеры, пропорциональные счетчики, счетчики Гейгера-Мюллера, сцинтилляторы. Детекторы нейтронов.

### 9. Фотометрия и радиометрия.

Пирометры и фотометры. Приемники ИК излучения. Фотоэлектронные умножители, полупроводниковые фотодетекторы.

### 10. Измерения в СВЧ технике.

Особенности техники СВЧ. Измерение мощности и частоты. Принципы измерения СВЧ радиосигналов. S-параметры.

11. Аналоговые и цифровые сигналы.

Аналоговые и цифровые сигналы. Усиление аналоговых сигналов. Основные виды сигналов, их параметры. Отношение сигнал/шум.

12. Аналоговые фильтры.

Классификация фильтров, их основные свойства. Пассивные и активные фильтры. Примеры фильтров ФНЧ, ФВЧ, ПФ, режекторные фильтры.

13. АЦП и ЦАП.

Принципы преобразования аналоговых сигналов в цифровые и обратно. Квантование по времени и квантование по уровню. Выбор оптимального шага квантования. Теорема Котельникова.

14. Цифровые фильтры,

Алгоритмы цифровой фильтрации. Z-преобразование. Классификация цифровых фильтров: КИХ и БИХ фильтры, их свойства.

15. Цифровой спектральный анализ.

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ). Разрешение по частоте. Оконные функции.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Методы квантовой теории информации в физике**

#### **Цель дисциплины:**

дать студентам, обучающимся в магистратуре, знания, необходимые для описания физических явлений методами квантовой теории информации, методами теоретической физики, методами построения соответствующих математических моделей; ознакомить с современным состоянием теории квантовой обработки и передачи информации, существующими экспериментами в данной области; продемонстрировать достоверность теории в области её применимости; дать навыки, позволяющие эффективно решать задачи многочастичной квантовой физики.

#### **Задачи дисциплины:**

применение математического аппарата квантовой теории информации к различным физическим квантовым системам (оптическим, спиновым, зарядовым); изучение методов решения многочастичных квантовых задач; изучение методов описания открытых квантовых систем; овладение студентами методами квантовой информатики для описания квантовых каналов передачи информации и квантовой перепутанности; изучение методов анализа и постановки физических экспериментов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- принципы и основные объекты квантовой теории информации;
- свойства квантовых динамических отображений;
- методы описания непроективных квантовых измерений;
- основные характеристики перепутанных квантовых состояний;
- алгоритмы дистилляции перепутанности и методы создания перепутанных состояний;
- основные методы решения задач квантовой обработки и передачи информации;
- физические системы, реализующие квантовые протоколы обработки информации;
- методы и способы описания динамики квантовых систем.

**уметь:**

- пользоваться аппаратом векторного анализа в многомерных гильбертовых пространствах;
- определять степень перепутанность квантовых состояний;
- пользоваться аппаратом квантовых операторов в многомерных гильбертовых пространствах;
- пользоваться представлением состояний в виде матричного произведения;
- применять метод оператора плотности для описания эволюции квантовых систем, взаимодействующих с окружением;
- пользоваться аппаратом квантовых нелокальных во времени кинетических уравнений для описания открытых квантовых систем;
- находить размерность вспомогательного пространства при расчете временной динамики методом тензорных сетей.

**владеть:**

- основными методами математического аппарата квантовой теории информации;
- навыками теоретического анализа физических задач, связанных с возможными реализациями квантовых битов;
- основными методами решения задач о нахождении эволюции открытых квантовых систем;
- навыками описания и исследования многочастичных перепутанных квантовых систем.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Квантовая перепутанность.

перепутанность и сепарабельность двусоставных систем, дистилляция квантовой перепутанности, критерий Переса-Городецких, перепутанность и сепарабельность многочастичных систем, формулировка в терминах полуопределённого программирования, активация перепутанности, истинно перепутанные состояния и полностью сепарабельные состояния, каналы, разрушающие и аннигилирующие перепутанность, критерий Саймона для двухмодовых гауссовских состояний.

## 2. Квантовые многочастичные системы.

точное описание в терминах волновой функции и матрицы плотности, основное состояние локальных гамильтонианов, состояния матричного произведения, тензорные диаграммы Пенроуза, алгоритм ренормгруппы для матрицы плотности, операторы в виде матричного произведения, закон площадей для квантовой перепутанности.

## 3. Немарковская динамика открытых квантовых систем.



Лэмбовский сдвиг для марковской динамики, локальное во времени кинетическое уравнение с зависящим от времени генератором, положительные и отрицательные скорости релаксации и декогеренции, проекционные методы Накажимы-Цванцига, нелокальное по времени кинетическое уравнение, свойства делимости квантовых динамических отображений.

#### 4. Численные методы анализа многочастичных квантовых систем.

временная динамика многочастичной цепочки, метод ТЕВД, тензорные сети для открытых квантовых систем.

#### 5. Пропускные способности квантовых каналов.

классическая пропускная способность квантового канала, гипотеза аддитивности, классическая пропускная способность при использовании перепутанных состояний передатчика и приемника, квантовая пропускная способность, деградируемые и антидеградируемые каналы.

#### 6. Непроективные квантовые измерения.

теорема Озавы, различные способы описания положительной операторнозначной меры, совместимость и несовместимость квантовых наблюдаемых и квантовых каналов, квантовое ширококвещение.

#### 7. Квантовые операции и квантовые инструменты. Квантовый контроль.

отображения, не сохраняющие след, преобразование квантовых систем при непроективных измерениях, теория квантового контроля, ландшафт управления в теории квантового контроля, ловушки управления.

#### 8. Оптические, спиновые, зарядовые и механические квантовые системы.

перепутанность в оптических системах, перепутанность в спиновых системах, перепутанность в зарядовых системах, гибридные квантовые системы, протоколы квантовой передачи информации и дистилляции перепутанности в таких системах, измерения и квантовый контроль на примере конкретных физических систем.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Методы Монте-Карло в статистической физике**

#### **Цель дисциплины:**

Целью освоения дисциплины «методы Монте-Карло в статистической физике» является изучение основных законов статистической физики, изучение различных задач классической и квантовой статистической физики и подходов к их решению на основе метода Монте-Карло.

#### **Задачи дисциплины:**

- получение представлений о круге задач, решаемых в рамках статистической физики;
- изучение основных законов классической и квантовой статистической физики;
- изучение метода Монте-Карло и его приложений к задачам статистической физики;
- моделирование различных классических и квантовых систем;
- вычисление термодинамических и переносных свойств различных систем;
- представление о стохастическом моделировании квантовых систем.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- распределение Гиббса, формулы для статсуммы в микроканоническом и каноническом ансамблях;
- понятие случайного числа, функции распределения и плотности распределения;
- алгоритм Метрополиса для генерации случайных чисел с заданным распределением;
- формулу Эйнштейна для коэффициента самодиффузии;
- формулы для вычисления термодинамических величин для заданного парного потенциала взаимодействия;
- стационарное уравнение Шредингера.

##### **уметь:**

- реализовывать на компьютере алгоритм вычисления определенных интегралов методом Монте-Карло;
- реализовывать алгоритм Метрополиса;
- реализовывать на компьютере модель спиновой динамики в модели Изинга;
- моделировать на компьютере систему атомов, взаимодействующих с заданным парным потенциалом, методом Монте-Карло в каноническом ансамбле;
- численно решать стационарное уравнение Шредингера для заданного потенциала вариационным методом Монте-Карло;
- численно решать стационарное уравнение Шредингера для заданного потенциала диффузионным методом Монте-Карло.

**владеть:**

- навыками разработки простых алгоритмов, основанных на методах Монте-Карло;
- структурным программированием на языках C/C++ и Python;
- визуализацией результатов моделирования на языке Python;
- подключением сторонних библиотек для реализации алгоритмов, основанных на методе Монте-Карло.

**Темы и разделы курса:**

1. Основные понятия теории вероятностей. Дискретная и непрерывная случайная величина. Функция распределения, плотность вероятности. Примеры случайных величин с различными распределениями

Основные понятия теории вероятностей. Дискретная и непрерывная случайная величина. Функция распределения, плотность вероятности. Примеры случайных величин с различными распределениями.

2. Основные понятия статистической физики. Статсумма, плотность состояний, понятие ансамбля. Примеры

Основные понятия статистической физики. Статсумма, плотность состояний, понятие ансамбля. Примеры.

3. Генераторы псевдослучайных чисел. Типы генераторов, их достоинства и недостатки. Тестирование генераторов псевдослучайных чисел. Программные реализации генераторов псевдослучайных чисел

Генераторы псевдослучайных чисел. Типы генераторов, их достоинства и недостатки. Тестирование генераторов псевдослучайных чисел. Программные реализации генераторов псевдослучайных чисел.

4. Понятие метода Монте-Карло. Метод Монте-Карло для вычисления интегралов. Погрешность метода Монте-Карло. Примеры. Алгоритм Метрополиса

Понятие метода Монте-Карло. Метод Монте-Карло для вычисления интегралов. Погрешность метода Монте-Карло. Примеры. Алгоритм Метрополиса.

5. Метод случайных блужданий. Броуновское движение и диффузия. Блуждание без самопересечений и приложения к физике полимеров

Метод случайных блужданий. Броуновское движение и диффузия. Блуждание без самопересечений и приложения к физике полимеров.

6. Задача о перколяции. Порог перколяции, бесконечный кластер. Алгоритмы поиска бесконечного кластера. Вычисление порога перколяции

Задача о перколяции. Порог перколяции, бесконечный кластер. Алгоритмы поиска бесконечного кластера. Вычисление порога перколяции.

7. Модели спиновой динамики. Модель Изинга. Моделирование термодинамических свойств ферромагнетика в двумерной модели Изинга

Модели спиновой динамики. Модель Изинга. Моделирование термодинамических свойств ферромагнетика в двумерной модели Изинга.

8. Модель твердых сфер. Задание начальной конфигурации. Вычисление давления системы твердых сфер в зависимости от плотности в одномерном и двумерном случае

Модель твердых сфер. Задание начальной конфигурации. Вычисление давления системы твердых сфер в зависимости от плотности в одномерном и двумерном случае.

9. Применение метода Монте-Карло для квантовых систем. Вариационный метод Монте-Карло для одномерного стационарного уравнения Шредингера

Применение метода Монте-Карло для квантовых систем. Вариационный метод Монте-Карло для одномерного стационарного уравнения Шредингера.

10. Метод случайных блужданий для стационарного уравнения Шредингера. Диффузионный метод Монте-Карло. Алгоритм метода, приложения для модельных систем

Метод случайных блужданий для стационарного уравнения Шредингера. Диффузионный метод Монте-Карло. Алгоритм метода, приложения для модельных систем.

11. Понятие о методе Монте-Карло с интегралами по траекториям. Матрица плотности, проблема знаков. Современное состояние проблемы моделирования квантовых систем многих частиц

Метод случайных блужданий для стационарного уравнения Шредингера. Диффузионный метод Монте-Карло. Алгоритм метода, приложения для модельных систем.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Методы решения некорректных обратных задач**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины является подготовка специалистов в области математической геофизики и геоинформатики в эпоху суперкомпьютеров, параллельных вычислений и больших массивов данных. Методы, применяемые в геоинформатике, позволяют адекватно интерпретировать огромные массивы непрерывно меняющихся данных о рельефе земной поверхности (данные спутниковой альтиметрии и т.п.), решать геоморфологические задачи, создавать аналитические аппроксимации потенциальных полей Земли. Математическая геофизика основана на классических математических методах и подходах, разработанных исследователями в области математического анализа, дифференциальных уравнений (обыкновенных и с частными производными), функционального анализа. Важнейшим «структурным элементом» математической геофизики является теория некорректных задач. Специфика геофизической практики требует развития методов регуляризации, адаптации уже существующих алгоритмов к решению задач интерпретационного характера, создания новых подходов и концепций.

#### **Задачи дисциплины:**

Обеспечить высокий уровень математической культуры обучающихся, который является совершенно необходимым условием успешного решения сложных задач интерпретационного характера в условиях резкого роста объема информации об окружающей среде. Знание теории обратных и некорректных задач, в особенности приложений этой теории к геофизике, позволит будущим специалистам не только анализировать уже имеющуюся информацию о природных и антропогенных факторах, но и планировать новые эксперименты и экспедиции с максимальной степенью энерго- и ресурсосбережения.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Понятие корректных и некорректных задач математической физики

##### **уметь:**

Строить регуляризирующие алгоритмы

**владеть:**

Методами численного решения обратных задач

**Темы и разделы курса:**

## 1. Определение некорректных задач

Понятие корректно поставленной по Адамару задачи. Метрические, нормированные и линейные пространства. Скалярное произведение. Гильбертовы пространства.

## 2. Элементы теории линейных операторов

Свойства операторов. Определение линейного оператора.

Ограниченные и неограниченные операторы. Вполне непрерывные операторы.

## 3. Примеры некорректно поставленных задач

Примеры некорректно поставленных задач. Уравнения Фредгольма 1 типа. Уравнения Вольтерра 1 и 2 типов. Суммирование рядов Фурье. Нахождение производных приближенно заданной функции.

## 4. Понятие регуляризирующего алгоритма

Понятие регуляризирующего алгоритма. Регуляризируемые задачи. Условно регуляризируемые задачи. Сравнение регуляризирующих алгоритмов.

## 5. Некорректные задачи на компактах

Некорректные задачи на компактах. Определение компакта. Понятие квазирешения. Виды квазирешений.

## 6. Задачи минимизации. Постановка экстремальных задач

Задачи минимизации. Постановка экстремальных задач. Разрешимость задачи оптимизации. Выпуклые множества.

## 7. Выпуклые функционалы

Выпуклые функционалы. Выпуклые комбинации элементов векторного пространства. Надграфик функционала. Сильно выпуклые и строго выпуклые функционалы.

## 8. Разрешимость задачи выпуклого программирования

Разрешимость задачи выпуклого программирования. Теорема Вейерштрасса. Критерии выпуклости и сильной выпуклости.

## 9. Сведения о матрицах

Сведения о матрицах. Вырожденные матрицы. Плохо обусловленные системы линейных алгебраических уравнений. Особенности матриц систем, возникающих при решении задач интерпретационного характера в геофизике.

## 10. Метод наименьших квадратов

Метод наименьших квадратов. Определение. Функциональные пространства, рассматриваемые при применении метода наименьших квадратов. Метод псевдообращения. Минимизирующие последовательности.

#### 11. Итерационные методы минимизации функционалов

Итерационные методы минимизации функционалов. Градиентные и безградиентные методы. Метод сопряженных градиентов. Метод скорейшего спуска. Метод Розенброка. Метод случайного поиска.

#### 12. Численные методы решения некорректных задач. Компактные множества специального вида

Численные методы решения некорректных задач. Компактные множества специального вида. Истокопредставимость решения. Метод расширяющихся компактов. Нахождение решения обратной задачи на последовательности компактов.

#### 13. Регуляризирующий алгоритм А.Н.Тихонова

Регуляризирующий алгоритм А.Н.Тихонова. Метод обобщенной невязки. Несовместные некорректные задачи.

#### 14. Интегральные уравнения Фредгольма

Интегральные уравнения Фредгольма. Постановка задачи. Интегральные уравнения Фредгольма с неперiodическим ядром. Способы решения методом расширяющихся компактов интегральных уравнений Фредгольма с неперiodическим ядром, возникающих при решении задач сейсмического каротажа.

#### 15. Метод линейных интегральных представлений

Метод линейных интегральных представлений. Локальная и региональная версии метода. S- F- R-аппроксимации потенциальных полей и рельефа в рамках метода линейных интегральных представлений. Модифицированные аппроксимации.

## Аннотации к рабочим программам дисциплин.

Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность: Общая и прикладная физика

### Методы теории одномерных квантовых систем

#### Цель дисциплины:

изложение точных и непертурбативных результатов в квантовомеханических и квантовополевых задачах с одним пространственным измерением.

#### Задачи дисциплины:

- познакомить студентов с основными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### знать:

- основные понятия по теме дисциплины.

##### уметь:

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### владеть:

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### Темы и разделы курса:

1.  $O(2)$ -модель и переход Костерлица-Таулеса. Бозонизация модели Тирринга. Ренормгруппа для перехода Костерлица--Таулеса.  $O(N)$ -модель:  $1/N$ -разложение.

$O(2)$ -модель и переход Костерлица–Таулеса.

- Вихри в  $O(2)$ -модели и кулоновский газ.



- Запись через нелокальное поле и эквивалентность модели  $\sin$ -Гордон.
- Переход плазма–газ.
- Масштабная размерность возмущающего оператора и точное значение точки перехода.

Бозонизация модели Тирринга.

- Представление фермионов через бозонные поля (бозонизация).
- Сокращение расходящихся частей в лагранжиане и точная связь между константами связи.

$O(3)$ -модель: генерация массы инстантонами.

- Топологические свойства  $O(3)$ -модели, топологически нетривиальные решения в евклидовой плоскости.
- Качественное описание генерации массы инстантонами.

$O(N)$ -модель:  $1/N$ -разложение.

- Теория возмущений по  $1/N$  для  $O(N)$ -модели.
- Генерация массы.
- Кинематические условия рассеяния и вычисление  $S$ -матрицы по теории возмущений.

2.  $O(N)$ -модель: интегрируемость и точная  $S$ -матрица. Модель Тирринга: решение методом анзатца Бете. Спиновая цепочка Гайзенберга и ее скейлинговый предел. Уравнение Янга-Бакстера и анзатц Бете.

$O(N)$ -модель: интегрируемость и точная  $S$ -матрица.

- Высшие интегралы движения и факторизация  $S$ -матриц.
- Уравнение Янга–Бакстера.
- Вычисление  $S$ -матрицы  $O(N)$ -модели из условий факторизации и пертурбативного результата.

Модель Тирринга: решение методом анзатца Бете.

- Псевдовакуум и волновые функции модели Тирринга в анзатце Бете.
- Уравнения Бете и их термодинамический предел.
- Спектр и  $S$ -матрица модели.

Спиновая цепочка Гайзенберга и ее скейлинговый предел.

- XYZ-модель.
- Преобразование Йордана–Вигнера и XY-модель.
- Скейлинговый предел и связь с моделью Тирринга in-Гордона.

Уравнение Янга–Бакстера и анзатц Бете.

- XXZ-модель и шестивершинная модель.
- Уравнение Янга–Бакстера и коммутирующие трансфер-матрицы.
- Координатный анзатц Бете.

3. Алгебраический анзатц Бете. Решение уравнений Бете. Задача Кондо: вывод анзатца Бете. Задача Кондо: решение уравнений Бете.

Алгебраический анзатц Бете. Решение уравнений Бете.

- Псевдовакуум и собственные состояния в рамках алгебраического анзатца Бете.
- Уравнения Бете и их решение в термодинамическом пределе.
- Вычисление свободной энергии шестивершинной модели.

Задача Кондо: вывод анзатца Бете.

- Эффект Кондо.
- Приведение задачи к одномерной.
- Первичный и вторичный анзатц Бете.
- Система уравнений Бете для задачи Кондо.

Задача Кондо: решение уравнений Бете.

- Основное состояние в нулевом магнитном поле.
- Обсуждение вывода формулы для намагниченности для системы во внешнем магнитном поле.
- Краткое обсуждение случая конечной температуры.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Методы физической и квантовой оптики**

#### **Цель дисциплины:**

Целью данного курса является обучение студентов современным экспериментальным методам исследования оптических и спектральных свойств различных систем, а также ознакомление студентов с основными проблемами, стоящими перед современной оптикой, спектроскопией, лазерной физикой и физикой взаимодействия излучения с веществом.

#### **Задачи дисциплины:**

- Изучение основных современных методик оптического эксперимента.
- Рассмотрение особенностей конкретных методик, их преимуществ и ограничений.
- Обзор актуальных задач современной оптики и спектроскопии.
- Формирование у студентов навыков выступления на научных семинарах.
- Расширение кругозора студентов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Основные направления передовых исследований в области нелинейной и квантовой оптики, лазерной физики, спектроскопии конденсированного состояния, нанооптики и физике взаимодействия электромагнитного излучения с веществом;
- преимущества и недостатки экспериментальных методик, применяемых в современных оптических исследованиях;
- принципы функционирования основных типов установок, используемых для выполнения оптических измерений.

##### **уметь:**

- Выбирать экспериментальные методики, наиболее подходящие для выполнения требуемых измерений;
- ориентироваться в перспективных направлениях современных оптических исследований;
- быстро осваивать новые методики.

**владеть:**

- теоретическими основами основных методов проведения оптических измерений.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Фурье спектроскопия.

Принцип работы и преимущества Фурье спектрометра. Примеры применения: Спектры пропускания и отражения кристаллов в области остаточных лучей, фононные поляритоны, исследование локальных колебаний, связанных с дефектами кристаллической решетки, определение энергетической щели в спектре сверхпроводника.

## 2. Низкотемпературная люминесценция.

Спектры стационарной фотолюминесценции и спектры люминесценции с временным разрешением. Исследование быстропротекающих процессов: время-коррелированный счет фотонов, стрик-камера, оптическое стробирование. Спектроскопия возбуждения фотолюминесценции. Катодолюминесценция и электролюминесценция. Примеры применения: спектры излучения полупроводниковых наноструктур, дефекты в кристаллах, определение скорости релаксации носителей в полупроводниках.

## 3. Спектроскопия рассеяния света.

Экспериментальное измерение спектров комбинационного рассеяния света. Экспериментальное измерение спектров Бриллюэновского рассеяния. Резонансное комбинационное рассеяние света. Примеры применения.

## 4. Модуляционная спектроскопия.

Частотно-модулированное отражение и термоотражение. Пьезоотражение. Электроотражение (эффект Франца-Келдыша). Фотоотражение. Спектроскопия разностного отражения. Примеры применения: определение энергии критических точек на дисперсионных кривых, бесконтактное определение концентрации свободных носителей заряда в полупроводниках.

## 5. Методы pump-probe (возбуждение-зондирование).

Исследование электронной подсистемы. Измерение временной зависимости пропускания и отражения. Примеры использования: процессы релаксации и фазовые переходы в электронной подсистеме. Методы исследования колебательной подсистемы. Примеры использования: исследование терагерцовых фононов в наноструктурах, детектирование поверхностных колебаний.

## 6. Конфокальный микроскоп.

Принцип работы. Использование нелинейных эффектов: преодоление дифракционного предела. Примеры применения: исследование статистики испущенных фотонов, измерение двухфотонных корреляций, прямое наблюдение экситон-плазмонного взаимодействия.

## 7. Лазерный пинцет (оптическая ловушка).

Градиентная сила. Мультиплексные лазерные пинцеты. Лазерные пинцеты, основанные на оптических волокнах. Лазерные пинцеты, основанные на затухающих полях. Измерение оптических сил.

## 8. Лазерное охлаждение.

Доплеровское охлаждение. Сизифово охлаждение. Охлаждение методом боковой полосы. Селективное по скоростям когерентное пленение заселённости. Антистоксовое неупругое рассеяние света. Зеемановское замедление. Коллективные эффекты, наблюдаемые в облаках ультрахолодных атомов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Методы экспериментального и компьютерного моделирования процессов переноса проникающих излучений и противорадиационной защиты**

#### **Цель дисциплины:**

- изложение описания процессов переноса массы и энергии на основе уравнения Больцмана;
- описание конечно-разностных аппроксимаций оператора адвекции кинетического уравнения, расщепления кинетического уравнения по физическим процессам. Дискретная реализация начальных и граничных условий.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики переноса массы и энергии на основе кинетического уравнения Больцмана;
- обучение студентов основным методам и подходам, используемым в кинетической теории, изучение базовых принципов кинетической теории, основанной на уравнении Больцмана;
- формирование подходов, основанных на конечно-разностных аппроксимациях оператора адвекции кинетического уравнения, расщепление кинетического уравнения по физическим процессам. Дискретная реализация начальных и граничных условий.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- принципы и методы кинетической теории Больцмана, получения когерентного излучения, физические явления, лежащие в основе методов переноса газов и излучений в сложных средах и композициях.

##### **уметь:**

- численно решать кинетическое уравнение.

##### **владеть:**

- методами компьютерного моделирования газокинетических процессов, методами разработки проблемно-моделирующих сред на современных суперкомпьютерных системах.

### Темы и разделы курса:

1. Методы калибровки детекторов для измерения абсолютных значений плотности потоков, энергетических спектров и мощностей доз нейтронов и гамма-излучения.

- Абсолютные измерения и оценка интенсивности нейтронных источников.
- Определение абсолютных значений плотностей потоков быстрых нейтронов с использованием абсолютных измерений величины наведенной активности методом  $\beta$ - $\gamma$  совпадений и с использованием пороговых активационных детекторов по методу сравнения с полем нейтронов стандартного источника.
- Методика калибровки гамма-дозиметров, "ход с жесткостью".
- Методика измерения абсолютных значений групповых потоков (спектров) нейтронов, фотонов методом "протонов отдачи" или "комптоновских электронов".
- Источники фона, методы его измерения и подавления.
- Методы коллимации пучков и детекторов излучений.

2. Основные принципы и методы регистрации ядерных излучений.

- Ионизационный метод.
- Общие положения: ионизация, движение электронов, положительных и отрицательных ионов в газах, рекомбинация.
- Ионизационные камеры: ионизационный ток, постоянная и импульсная ионизация, работа камер в токовом и импульсном режиме, технология измерения малых токов. Греевские камеры с воздухоэквивалентными стенками: токовые, зарядовые.
- Пропорциональные счетчики: газовое усиление, область пропорциональности, форма и величина импульса, мертвое время, временное разрешение, счетная и загрузочная характеристики.
- Детекторы нейтронов и фотонов с твердым и газообразным радиатором; счетчики нейтронов на основе реакций (n,p), (n, $\alpha$ ), (n,f) и т.п., всеволновый(типа Хэнсона-МакКиббена) счетчик нейтронов; детекторы бета-излучения.
- Использование ионизационного метода в спектрометрии ядерных излучений.
- Счетчики Гейгера-Мюллера: несамогасящиеся и самогасящиеся счетчики, мертвое и восстановительное время, эффективность регистрации фотонов, заряженных частиц.
- Конструкции камер и счетчиков.
- Сцинтилляционный метод.
- Принцип действия сцинтилляционного счетчика.

- Образование вспышки: люминесценция в сцинтилляторе под действием ионизирующих излучений, длина волны световой вспышки, время высвечивания сцинтиллятора. Сцинтилляторы: основные требования к ним, органические и неорганические, пластмассы, инертные газы; световоды.
- Фотоумножители: принцип действия, эффективность фотокатода, формирование импульса на аноде фотоумножителя.
- Разрешающее время и временное разрешение сцинтилляционного счетчика.
- Сцинтилляционные спектрометры быстрых нейтронов, фотонов, схемы разделения импульсов нейтронов и фотонов; сцинтилляционные счетчики, дозиметры излучений.
- Полупроводниковые детекторы ионизирующих излучений. Образование носителей заряда под действием излучения, чувствительный слой полупроводникового детектора.
- Энергетическое и временное разрешение, эффективность регистрации; работа в счетном и спектрометрическом режиме.
- Поверхностно-барьерные, диффузионные полупроводниковые детекторы, накопление радиационных дефектов, предельные потоки излучений (ресурс работы).
- Типы ППД. Пространственное и временное разрешение
- Метод наведенной радиоактивности для регистрации нейтронов. Ядерные реакции для регистрации тепловых, замедляющихся и быстрых нейтронов, правила выбора используемой реакции, индикаторы (материал, габариты).
- Методика облучения индикаторов, паразитная наведенная радиоактивность и методы ее подавления. Способы измерения наведенной радиоактивности, измерение абсолютного числа распадов методом  $\beta$ - $\gamma$  совпадений.
- Активационные методы измерения потоков тепловых и резонансных нейтронов.
- Пороговые активационные детекторы для регистрации быстрых нейтронов, определение энергетического состава нейтронов в пучке.
- Трековые детекторы.
- Камера Вильсона; ядерные фотоэмульсии; пузырьковая камера; искровая камера.

### 3. Особенности регистрации нейтронов и гамма-квантов.

Особенности регистрации нейтронов и гамма-квантов в смешанных гамма-нейтронных полях ядерных установок, требования к детекторам излучений.

### 4. Радиоактивность.

Основной закон радиоактивного распада, постоянная распада, период полураспада, схемы распада; наведенная радиоактивность, активность насыщения.

Требования к методике измерений и детекторам излучений в макроскопических базовых экспериментах.

### 5. Характеристики взаимодействия проникающих ядерных излучений с веществом.



- Взаимодействие нейтронов с веществом. Полное и парциальные сечения взаимодействия нейтронов с ядрами, зависимость от энергии нейтронов и ядра-мишени. Упругое рассеяние нейтронов, сброс энергии и изменение направления движения (анизотропия рассеяния). Средняя логарифмическая потеря энергии, определение числа столкновений для замедления до заданной энергии. Неупругое рассеяние нейтронов, энергетический порог реакции, угловое и энергетическое распределение рассеянных нейтронов, вторичное гамма-излучение. Радиационный захват нейтронов и захват нейтронов без образования вторичного гамма-излучения.

- Взаимодействие гамма-квантов с веществом. Линейный и массовый коэффициенты ослабления, парциальные составляющие.

- Фотоэлектрическое поглощение гамма-квантов, сопутствующее рентгеновское и тормозное излучения. Комптоновское рассеяние фотонов, изменение энергии и направления движения (анизотропия рассеяния). Эффект образования пар, пороговый характер сечения, аннигиляционное гамма-излучение. Зависимость указанных процессов от энергии гамма-квантов, заряда ядра. Полный коэффициент ослабления для легких и тяжелых материалов.

- Взаимодействие заряженных частиц с веществом. Тяжелые заряженные частицы, ионизационные потери энергии  $\alpha$ -частиц и протонов, коэффициент торможения вещества, зависимость среднего пробега от скорости и массы частиц, кривая Брэгга, интегральный и дифференциальный спектры пробегов.

- Электроны. Радиационные и ионизационные потери энергии, зависимость их от скорости электронов и характеристик вещества, экстраполированная и максимальная длина пробега.

- Приближенные соотношения для расчета пробега заряженных частиц в веществе.

- Роль рассмотренных характеристик взаимодействия излучений с ядрами и атомами вещества при моделировании макропереноса и глубокого прохождения излучений в задачах радиационной защиты и безопасности. Связь макрохарактеристик переноса с микросечениями взаимодействия излучений с ядрами и атомами вещества. Примеры практического использования рассмотренных процессов взаимодействия излучений с веществом в указанных задачах.

6. Экспериментальное моделирование переноса проникающих ионизирующих излучений в веществе.

- Экспериментальное моделирование переноса проникающих ионизирующих излучений в веществе Базовые (типа benchmark) и модельные, проблемно - ориентированные, макроскопические эксперименты по исследованию переноса нейтронов и фотонов делительного диапазона энергий в различных материалах и сложных композициях в одномерной и двумерной (R-Z) геометрии; дифференциальные (энерго - угловые) характеристики функции пропускания (отражения); глубокое прохождение (deep penetration) первичного излучения реактора, генерация и перенос вторичных фотонов (нейтронов), широкий мононаправленный пучок излучений реактора как «инструмент» для макроскопических benchmark экспериментов высокой информативности.

- Установка ОР-М РНЦ «Курчатовский институт»-уникальная исследовательская установка России для проведения базовых (класса benchmark) макроскопических экспериментов по проблеме переноса нейтронов и фотонов в веществе.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Методы экспериментальной электродинамики**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами фундаментальных знаний в области дифракции и рассеянии электромагнитных волн, изучение способов измерения характеристик рассеяния объектов сложной формы и параметров антенн, а также областей их практического применения.

#### **Задачи дисциплины:**

Формирование базовых знаний в области электродинамики, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Основы электродинамики и основные методы измерений электромагнитных полей.

##### **уметь:**

Уметь пользоваться современной измерительной аппаратурой и методами обработки сигналов.

##### **владеть:**

Знаниями о современных методах экспериментальной электродинамике.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Методы измерения рассеивающих свойств объектов и параметров антенн.

Общие понятия. Основные измеряемые параметры. ЭПР, диаграмма рассеяния, диаграмма излучения. Развитие методов измерения рассеивающих свойств объектов и параметров антенн. Открытые полигоны. Компактные полигоны. Измерения в ближнем поле.

2. Плоская волна. Поляризация плоской волны. Поляризационная матрица рассеяния.

Почему нужны измерения в плоском поле. Критерии дальней зоны. Поляризация плоской волны. Поляризационная матрица рассеяния.

3. Создание квазиплоских полей. Отражение от стен. Взаимодействие объекта с коллиматором, стенами, вспомогательными устройствами.

Факторы, определяющие качество измерительной системы. Сравнение открытых полигонов, компактных полигонов. Коллиматор. Форма кромок зеркала. Точность поверхности зеркала. Облучатели. Устройства позиционирования объектами.

.

4. Анализ полей коллиматоров методами физической оптики. Радиопоглощающие материалы для БЭК.

Анализ полей коллиматоров методами физической оптики. Дифракция на отверстиях и на экране. Апертурный и токовый методы. Формула Кирхгофа. Элементы анализа методами интегральных уравнений. Причины, определяющие форму коллиматора. Радиопоглощающие материалы для БЭК. Типы радиопоглощающих материалов. Методы измерения характеристик радиопоглощающих материалов.

5. Основные типы измерительных систем.

Основные типы измерительных систем. Компенсационные измерительные системы. Системы с линейной и ступенчатой перестройкой частоты. Особенности импульсной модуляции при измерении характеристик рассеяния и параметров антенн. Чувствительность измерительных систем. Основные виды помеховых сигналов в открытых и закрытых полигонах и их влияние на точность измерения характеристик рассеяния. Примеры практической реализации различных типов измерительных систем.

6. Калибровка измерительных систем.

Основные типы измерительных систем. Компенсационные измерительные системы. Системы с линейной и ступенчатой перестройкой частоты. Особенности импульсной модуляции при измерении характеристик рассеяния и параметров антенн. Чувствительность измерительных систем. Основные виды помеховых сигналов в открытых и закрытых полигонах и их влияние на точность измерения характеристик рассеяния. Примеры практической реализации различных типов измерительных систем.

7. Использование широкополосных сигналов при измерении характеристик рассеяния. Построение радиоизображений.

Использование широкополосных сигналов при измерении характеристик рассеяния. Преобразования частота-дальность. Весовые функции. Определение вклада отражений от различных частей объекта в суммарный отраженный сигнал. Построение радиоизображений. Рассеивающие центры первого и более высокого порядков. Использование расширенных радиоизображений для выделения ползучих волн, переотражений и других центров рассеяния высокого порядка.

8. Классификация погрешностей измерений. Использование численного моделирования для оценки погрешностей.

Классификация погрешностей измерений. Влияние неравномерности амплитуды и фазы в рабочей зоне на точность измерений. Использование численного моделирования для оценки погрешностей.

9. Компактный полигон, разработанный в ИТПЭ, для измерения рассеивающих свойств объектов и параметров антенн.

Основные характеристики компактного полигона ИТПЭ РАН. Виды измерений, методики измерений. Состав оборудования. Программное обеспечение.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Механика сплошных сред**

#### **Цель дисциплины:**

Основной целью дисциплины является ознакомление студентов с математическим аппаратом механики сплошных сред, формирование понимания основных законов, определяющих напряженное состояние сплошных сред, находящихся в равновесии или движении.

#### **Задачи дисциплины:**

К основным задачам дисциплины относятся:

1. Получение студентами опыта выполнения математических операций над тензорными величинами и полями;
2. Формирование у студентов понимания основных законов механики сплошных сред;
3. Получение студентами опыта применения основных законов механики сплошных сред для определения напряженного состояния сред в условиях, допускающих аналитическое решение задачи механики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные законы, определяющие механическое поведение сплошных сред

##### **уметь:**

решать простейшие задачи механики сплошных сред и линейной алгебры, имеющие аналитические решения

##### **владеть:**

математическим аппаратом линейной алгебры и механики сплошных сред

#### **Темы и разделы курса:**

## 1. Элементы тензорной алгебры и тензорного анализа

Основные определения векторной алгебры. Понятия скалярных, векторных и тензорных величин. Тензоры второго, третьего и четвертого ранга. Бескоординатная и координатная формы записи операций над тензорами. Скалярное и тензорное произведение тензоров второго ранга. Приведение симметричного тензора второго ранга к главным осям. Инварианты тензора второго ранга. Элементы тензорного анализа: операции над тензорными полями: понятия градиента, дивергенции, ротора тензорных полей, понятие производной по направлению.

## 2. Кинематика сплошной среды

Отсчетная и актуальная конфигурации при описании движения сплошной среды. Отсчетное и пространственное описание перемещения элементов сплошной среды. Вектор смещения. Тензор малых и конечных деформаций. Тензор деформаций Коши и Альманзи. Общая деформация сплошной среды: движение тела как целого, повороты и чистая деформация. Условия совместности малых деформаций. Главные значения тензора малых деформаций.

## 3. Напряжения в сплошных средах

Массовые и поверхностные силы, принцип разрезания Эйлера-Коши. Вектор напряжения. Постулат, лемма и теорема Коши. Напряженное состояние. Главные напряжения и главные оси тензора напряжений. Инварианты тензора напряжений. Круги Мора. Поиск вектора напряжений, его нормальной и касательной составляющей для элементарной площадки заданной пространственной ориентации.

## 4. Элементы линейной теории упругости

Связь между тензорами малых деформаций и напряжений. Закон Гука для изотропных, ортотропных и анизотропных сред. Модуль Юнга, коэффициент Пуассона, модуль сдвига и модуль объемного сжатия. Связь между различными упругими модулями в изотропной среде. Термодинамика деформирования, теоретический вывод закона Гука. Коэффициенты Ламе. Температурные деформации.

## 5. Уравнения равновесия и движения

Равновесие и движение произвольного объема, выделенного в сплошной среде. Уравнения равновесия и движения в напряжениях, в смещениях (уравнения Навье). Распространение плоских продольных и поперечных упругих волн в изотропной упругой среде. Напряжения и деформации изотропной упругой среды под действием собственного веса. Запись уравнений механики сплошных сред в сферических и цилиндрических координатах. Задачи равновесия симметричных линейно-упругих изотропных тел: сплошных и полых цилиндров и сфер.

## 6. Нелинейная реология сплошных сред

Отсутствие линейной связи между напряжениями и деформациями. Понятия ползучести и пластичности. Тела Гука, Ньютона, Сен-Венана. Дерево реологических моделей. Теории прочности. Линейный критерий разрушения Кулона-Мора.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Микроскопическая теория сверхпроводимости**

#### **Цель дисциплины:**

- познакомить студентов старших курсов с основными современными методами решения задач сверхпроводящей мезоскопии и примерами их применения для решения актуальных научных проблем.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся специализированных знаний о микроскопической природе сверхпроводящего состояния, методах уравнений Боголюбова-де Жена и гриновских функций в теории сверхпроводимости, развитие практических навыков их применения для решения задач сверхпроводящей мезоскопии, знакомство студентов с эффектами близости в сверхпроводящих гетероструктурах и их последовательным описанием в рамках микроскопической теории.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- физические механизмы притяжения между электронами, как с микроскопической точки зрения устроено основное состояние сверхпроводника и спектр его элементарных возбуждений, температурное поведение сверхпроводящей щели; вывод уравнений Боголюбова де Жена, их квазиклассическое приближение – уравнения Андреева, физический механизм и микроскопическое описание процессов андреевского отражения, теорию электронного транспорта через различные сверхпроводящие интерфейсы, механизмы возникновения, физические проявления и методы расчета андреевских уровней в различных системах; метод гриновских функций в теории сверхпроводимости, его квазиклассическое приближение – уравнения Эйленбергера и Узалея, условия применимости этих уравнений и граничные условия к ним; основные физические свойства и экспериментальные проявления эффектов близости в гибридных структурах сверхпроводник/ферромагнетик.

##### **уметь:**

- решать уравнение самосогласования для нахождения сверхпроводящего параметра порядка в различных системах, применять метод уравнений Боголюбова де Жена и Андреева для нахождения андреевских состояний, описания эффектов близости и расчета

электронного в различных сверхпроводящих системах; уметь выводить уравнения Горькова для различных сверхпроводящих систем, уметь выводить уравнения Эйленберга и Узалея, а также применять их для расчетов эффектов близости на различных интерфейсах.

**владеть:**

- навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях;
- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами сверхпроводящих систем.

**Темы и разделы курса:**

1. Микроскопическое описание сверхпроводящего состояния

Неустойчивость нормального состояния при наличии притяжения между частицами. Природа притяжения. Роль кулоновского отталкивания. Основное состояние и элементарные возбуждения. Спиновая структура волновой функции пары при синглетном и триплетном спаривании. Вычисления при конечных температурах. Изменение сверхпроводящей щели с температурой.

2. Метод уравнений Боголюбова де Жена

Вывод уравнений Боголюбова де Жена. Градиентная инвариантность. Немагнитные сплавы и теорема Андерсона. Эффект Мейсснера в металлах и сплавах.

3. Андреевское отражение, андреевские уровни

Квазиклассическое приближение уравнений Боголюбова де Жена – уравнения Андреева. Андреевское отражение. Андреевские состояния в джозефсоновских контактах и корях вихрей. Джозефсоновский транспорт.

4. Формализм ВТК

Транспорт заряда. SIN граница. Формализм Блондера-Тинкхама-Клапвайка. Обзор актуальных интерфейсных задач сверхпроводящей мезоскопии, которые решаются в формализме ВТК.

5. Общая теория гриновских функций

Функции Грина ферми систем при нулевой температуре. Функция Грина для фононов. Аналитические свойства функций Грина. Определение энергетического спектра по функции Грина. Функция Грина идеального ферми – газа. Распределение частиц в ферми – жидкости по импульсам. Простейшие примеры диаграммной техники. Собственно-энергетическая функция. Функции Грина при конечных температурах.

6. Метод гриновских функций в теории сверхпроводимости. Уравнения Горькова



Микроскопический вывод уравнений Горькова. Решение уравнений Горькова для пространственно-однородного сверхпроводника. Уравнение самосогласования. Температурное поведение параметра порядка. Подавление синглетной сверхпроводимости в магнитных сверхпроводниках. Неоднородное сверхпроводящее ЛОФФ-состояние. Парамагнитный предел сверхпроводимости. Одиночная примесь в d-волновом сверхпроводнике, одиночная магнитная примесь в s-волновом сверхпроводнике.

#### 7. Квазиклассическое приближение. Уравнения Эйленберга и Узалея

Квазиклассическое приближение уравнений Горькова – уравнения Эйленберга. Условие нормировки. Граничные условия. Диффузный предел, уравнения Узалея.

#### 8. Микроскопическая теория слабых сверхпроводящих контактов

Энергия связи в S-I-S контакте и критический ток. Температурная зависимость тока, формула Амбегаокара-Баратова для симметричного S-I-S. Андреевские уровни и сверхток в S-N-S контактах. Формула Бинаккера для короткого контакта. Анализ предельных случаев большой и малой прозрачности.

#### 9. Эффект близости в S/F и S/F/S структурах

Эффект близости на S/F границе. Наведенная триплетная сверхпроводимость. Контакт сверхпроводников через ферромагнетик (S-F-S) и инверсия фазы ( $\pi$ -контакт). Обзор основных концепций сверхпроводящей спинтроники.

**Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**Многообразия, расслоения, связности и когомологии**

**Цель дисциплины:**

Изучение основ дифференциальной геометрии и топологии в объеме, необходимом будущим физикам-теоретикам.

**Задачи дисциплины:**

Сформировать представление о дифференциальной геометрии и топологии. Обучить студентов основным методам решения задач по этому разделу, связанных с проблемами теоретической физики

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

основы дифференциальной геометрии и топологии

**уметь:**

вычислять основные геометрические и топологические характеристики в базовых случаях

**владеть:**

методами решения задач по дифференциальной геометрии и топологии

**Темы и разделы курса:**

1. Линейная алгебра.

Тензорная алгебра, симметрические и кососимметрические тензоры, операции с тензорами, кольца, дифференцирования.

2. Координаты, замены координат. Многообразия.

Замены координат в (области в)  $R^n$ , касательные векторы, векторные и тензорные поля. Многообразия, касательное расслоение, векторные и тензорные поля, операции с ними. Дифференциальные операторы.

### 3. Гладкие отображения, диффеоморфизмы.

Инвариантные относительно диффеоморфизмов операции и дифференциальные операторы.

### 4. Векторные поля и инфинитезимальные диффеоморфизмы.

Обыкновенное дифф.уравнение и экспонента векторного поля. Коммутатор векторных полей. Производная Ли. Группы Ли.

### 5. Подмногообразия

Распределения в касательном расслоении, условие интегрируемости, теорема Фробениуса.

### 6. Комплекс де Рама, локальная теория.

Лемма Пуанкаре.

### 7. Интегрирование дифференциальных форм.

Интегрирование дифференциальных форм по подмногообразиям. Теорема Стокса.

### 8. Комплекс де Рама, глобальная теория.

Когомологии Бетти, эйлерова характеристика. Гомологии. Фундаментальная группа. Накрытия.

### 9. Векторные расслоения.

Определение и примеры векторных расслоений. Основные конструкции расслоений.

### 10. Гомотопические группы.

Определения, примеры вычислений, применение в теории векторных расслоений.

### 11. Связность в расслоении.

Связность, кривизна связности, упорядоченная экспонента. Группа голономии, локальная и глобальная. Плоская связность.

### 12. Риманова геометрия.

Метрика, геодезические, изометрии, векторы Киллинга.

### 13. Метрическая форма объёма.

Функционалы действия в теории поля на римановом многообразии. Оператор Лапласа. Псевдориманова геометрия.

### 14. Метрическая связность. Кручение и кривизна.

Оператор ковариантной производной, спин-связность и символ Кристоффеля. Тензор Римана, тождества Риччи и Бьянки.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Многочастичные амплитуды рассеяния и теория твисторов**

#### **Цель дисциплины:**

Познакомить студентов с последними достижениями в области квантовой теории поля связанными с новыми аналитическими подходами к вычислению элементов  $S$ -матрицы (амплитуд рассеяния) в калибровочных теориях и теории Гравитации в различных размерностях пространства времени.

#### **Задачи дисциплины:**

Познакомить студентов с последними достижениями в области аналитических вычислительных методов для амплитуд рассеяния в калибровочных теориях и теории Гравитации. Предполагается, что, прослушав этот курс, студенты смогут использовать методы и подходы этой области в своей научно-исследовательской работе.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия по теме дисциплины.

##### **уметь:**

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### **владеть:**

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Формализм спиральных спиноров (spinor helicity formalism).

Понятие о цветовой декомпозиции и спиральных спиноров как наиболее оптимальных переменных для описания амплитуд рассеяния безмассовых частиц. Примеры вычисления древесных диаграмм в калибровочных теориях в этих переменных.

## 2. Рекурсионные соотношения для амплитуд рассеяния на массовой поверхности.

Построение рекурсионных соотношений на массовой поверхности для древесных амплитуд рассеяния в калибровочных теориях. BCFW рекурсия и её обобщения. Примеры вычисления серии MHV  $n$ -частичных амплитуд рассеяния и NMHV 6-ти точечной амплитуды.

## 3. Суперсимметрия на массовой поверхности, $N=4$ SYM и $N=8$ SUGRA.

Краткое введение в суперсимметрию. Суперпространство массовой поверхности (on-shell momentum superspace). Формулировка  $N=4$  и  $N=8$  супермультиплетов на массовой поверхности. Суперамплитуды в  $N=4$  SYM и  $N=8$  SUGRA. MHV древесная суперамплитуда в  $N=4$  SYM.

## 4. Симметрии древесных амплитуд в $N=4$ SYM. Дуальная конформная симметрия и “моментные твисторы” (momentum twistors).

Симметрии древесных суперамплитуд в  $N=4$  SYM. Дуальная конформная симметрия и переменные моментных твисторов. Суперсимметричное обобщение BCFW рекурсии. Вычисление серии NMHV  $n$ -точечных суперамплитуд.

## 5. Вычисление петлевых амплитуд в калибровочных теориях и метод унитарных разрезов. Амплитуды рассеяния в калибровочных теориях в различных размерностях пространства времени.

Понятие об унитарных разрезах и интегранде петлевых амплитуд и разложении петлевых амплитуд по мастер интегралам. Пример вычисления разложения по мастер интегралам 4-ёх точечных амплитуд в  $N=4$  SYM в одной, двух и трёх петлях по методу унитарных разрезов.

Амплитуды рассеяния в высших размерностях, обобщённая унитарность и пример вычисления однопетлевой 4-ёх точечной амплитуды в КХД со спиральностями (++++).

## 6. Лидирующие сингулярности петлевых амплитуд, Грассманианы и “диаграммы массовой поверхности” (on-shell diagrams).

Обобщённая унитарность и лидирующие сингулярности петлевых амплитуд. Представление древесных амплитуд и лидирующих сингулярностей петлевых амплитуд в  $N=4$  SYM в виде интеграла по грассманиану. Понятие о диаграммах массовой поверхности.

## 7. Петлевые амплитуды в супергравитации.

Современные подходы к пертурбативным вычислениям в теориях гравитации. Дуальность между кинематикой и цветом. Пример вычисления однопетлевой амплитуды в  $N=8$  супергравитации.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Модели расчета химического и ионизационного равновесия**

#### **Цель дисциплины:**

- формирование базовых знаний по геометрии для дальнейшего использования в других областях математического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания;
- формирование математической культуры, исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся базовых знаний по термодинамике газоплазменного состояния;
- формирование общефизической культуры: умение мыслить в категориях термодинамики и статистической физики, проводить вывод основных формул;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для понимания и описания химического и ионизационного равновесия в неидеальной плазме, самостоятельного анализа полученных результатов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики плазмы и химической термодинамики;
- порядки фундаментальных физических величин, характерных для термодинамики вещества с высокой концентрацией энергии в состоянии многофазной, многокомпонентной химически активной плазмы;
- понимание современных проблем физики и химии вещества с высокой концентрацией энергии, и сопутствующих вычислительных математических проблем;
- понимать формы проявления различных фазовых превращений в термодинамике вещества с высокой концентрацией энергии; основные понятия термодинамики и физики плазмы;
- термодинамические функции, производящие термодинамический потенциалы, классификацию типов термодинамического равновесия, особенностей термического и калорического уравнений состояния, взаимосвязи аномалий термодинамических и

гидродинамических процессов, специфику термодинамического описания адиабатических процессов и течений газоплазменных сред, виды фазовых состояний и опорных объектов на фазовых диаграммах вещества, типы фазовых превращений в газоплазменных средах.

**уметь:**

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций в проблемах энергетики и физики высоких плотностей энергии;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач в области физики высоких плотностей энергии;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в прикладных задачах энергетики их главное физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и вычислительные методики в термодинамике реагирующих кулоновских систем и вещества в экстремальных состояниях;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов;
- решать простейшие задачи термодинамики и физики плазмы методом уравнений состояния и канонических преобразований наборов термодинамических неравенств; – использовать язык фазовых диаграмм для решения задач;
- использовать различные виды и определять тип кривых и поверхностей уравнений состояния вещества;
- уметь исследовать свойства устойчивости термодинамических сред по заданному уравнению состояний.

**владеть:**

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и численного моделирования задач в физике высоких плотностей энергии;
- практикой расчетно-теоретического метода исследования и решения теоретических и прикладных задач в физике высоких плотностей энергии;
- математическим аппаратом термодинамики, химической физики и физики плазмы, аналитическими методами исследования уравнения состояний и фазовых переходов.

## Темы и разделы курса:

1. Общие сведения о методах расчета термодинамики сильно сжатой плазмы в подходах, альтернативных квазихимическому представлению.

Ячеечное приближение для описания плотной и сверхплотной плазмы. Связь с вариационным принципом статистической механики. Описание электронной компоненты: модель Томаса-Фермии ее модификации для вырожденных электронов и приближение Пуассона-Больцмана – для невырожденных. Оболочечные эффекты. Модель Хартри-Фока-Слетера. Описание вклада ядерных степеней свободы. Модернизации ячейчного подхода. Модель осциллирующей ячейки. Модель “ограниченного атома”.

Возможности и перспективы методов *ab initio* в описании термодинамики плотной неидеальной плазмы. Общая характеристика классических и квантовых методов Монте-Карло (MC) и Молекулярной Динамики (MD) в сочетании с Методом Функционала Плотности (DFT). Термодинамика плотного водорода в предсказании традиционных моделей и первопринципных подходов.

2. Описание эффектов неидеальности в термодинамике газоплазменных систем в формализме химической модели плазмы.

Терминология. "Поправки на неидеальность" и каналы их влияния на термодинамику системы в формализме «химической модели». Связь с дилеммой подходов «метод смеси» и «метод исходных атомов» в химической термодинамике неидеальных нейтральных реагирующих систем. Неидеальность в кулоновских системах. Определяющие безразмерные параметры неидеальности и вырождения. Стандартный вывод дебаевского приближения для многокомпонентной плазмы в химической модели. Простейшие коррекции дебаевского приближения.

Проблема разделения степеней свободы на внутренние и поступательные. Проблема "обрезания" статсуммы. Краткий обзор подходов и результатов. Понятие эффективных взаимодействий свободных нейтральных и заряженных сортов частиц в формализме химической модели плазмы. Эффективное короткодействующее отталкивание. Влияние кулоновских поправок на неидеальность на структуру и параметры «полос» ионизации и диссоциации. Строеие полной N-T диаграммы для водорода с газоплазменной и плотной областями. Взаимодействие заряд-нейтрал и нейтрал-нейтрал в терминах химической модели. Поляризационные и Ван дер Ваальсовы поправки на взаимодействие.

3. Особенности кулоновской неидеальности в плотной плазме.

Дебаевское приближение для поправок на неидеальность. Проблема разделения степеней свободы на внутренние и поступательные. Общие представления об аппарате строгой теории неидеальных систем. Понятие об аппарате диаграммных разложений.

Неидеальная плазма в идеализированных кулоновских моделях. Общие сведения о семействе кулоновских моделей и структуре их фазовых диаграмм. Однокомпонентная классическая плазма (ОКП). Электронный газ. Модели классической ионной смеси и заряженные твердых шаров. Фазовые свойства кулоновских моделей.



4. Проблема термодинамической устойчивости и фазовых переходов в неидеальной плазме в формализме химической модели.

Сведения об общих свойствах выпуклости и вогнутости термодинамических потенциалов. Роль экстенсивных и интенсивных термодинамических переменных. Локальные (дифференциальные) и полные (интегральные) условия потери термодинамической устойчивости для термодинамических потенциалов и их производных. Традиционная форма записи и интерпретация. Исключительность энтропии. Условия термодинамической устойчивости в системе многих сортов частиц. Роль матрицы перехода  $\frac{d^2\Omega(i)}{dn(j)^2}$ . Нарушение устойчивости в простейших приближениях. Дебаевское приближение. Разбавление нейтралами. Особенности проблемы устойчивости в случае многократной ионизации. Роль взаимодействия заряд-нейтрал и нейтрал-нейтрал.

Понятие о гипотетических “плазменных фазовых переходах” (ПФП). История и современные поиски в плотной плазме водорода, благородных газах и металлах. Результаты экспериментальных поисков ПФП. “Плазменность” обычных переходов газ-жидкость и связь с проблемой перехода металл-диэлектрик в парах металлов.

Условия одновременного химического, ионизационного и фазового равновесия в плотных нейтральных средах и неидеальной одноэлементной плазме и плазме химических смесей и компаундов. Правило Максвелла и правило двойной касательной. Условия Гиббса для нейтральных химически реагирующих смесей. Обобщенный (электрохимический) потенциал и условия Гиббса-Гуггенхейма для простой и многоэлементной плазмы в терминах квазихимического подхода.

Неконгруэнтные фазовые переходы (НФП) в плазме смесей и химических соединений (компаундов). Особенности основных фазовых диаграмм НФП в интенсивных и экстенсивных термодинамических переменных. Разделение границ кипения жидкости и насыщения пара, границ плавления кристалла и замерзания жидкости. Фазовые переходы и полные фазовые диаграммы в уран-содержащих топливах современных и перспективных ядерных реакторов. Связь с проблемой безопасности ядерной энергетики.

5. Структура термодинамических зависимостей газоплазменного состояния в представлении химической модели плазмы.

Термодинамика газоплазменного состояния в «вакуумном» пределе ( $T \rightarrow 0$ ,  $\rho \rightarrow 0$ ). Химический потенциал как главный «управляющий параметр» в вакуумном пределе. Понятие о «лестнице» ионизации для давления и энергии. Понятие о «термодинамическом спектре» для дифференциальных термодинамических характеристик. Положение «линий» и потенциалы ионизации. Связь параметров лестницы ионизации с фундаментальными термодинамическими константами вещества. Энергетическая Шкала вещества. Теплота сублимации как граница Шкалы. Структура лестницы ионизации в метастабильной области.

Профили термодинамических зависимостей в газоплазменной области как суперпозиция полного набора полос диссоциации и всех ступеней ионизации. Общая панорама формы глобального уравнения состояния вещества от газовых до конденсированных плотностей. Понятие о «долине неидеальности» и ее газоплазменном и конденсированном «склонах». Связь с определяющими термодинамическими параметрами. Триада: термическая ионизация,

ионизация давлением и ионизация разрежением. Полосы реакций как «размытый» фазовый переход. Общее и различия.

#### 6. Термодинамика плазмы в представлениях "химической модели".

Понятие о «физическом» и квазихимическом представлениях (физической и химической моделях плазмы) в термодинамическом описании плотной, неидеальной, химически реагирующей и частично ионизованной плазмы. Варианты деления на идеальную часть и «поправки» на неидеальность. Совершенный газ, идеальный газ с внутренними степенями свободы, многокомпонентная идеальная смесь с взаимными превращениями.

Выбор термодинамических переменных. Полное выражение для свободной энергии многосортной системы. Структура идеальной части. Ноль отсчета энергии и учет термохимии взаимных превращений в квазихимическом представлении. Внутренняя статсумма комплексных частиц. Выделение статсуммы возбуждения. Проблема ограничения ("обрезания") статсумм возбуждения комплексных частиц в плазме. Краткий обзор исторических и современных подходов.

Смысл и роль понятия равновесного состава. Минимизация свободной энергии. Центральная роль химических потенциалов в формулировке методики расчета.

Полная система уравнений для расчета состава и термодинамических функции многокомпонентной неидеальной реагирующей плазмы с произвольной кратностью ионизации и структурой молекулярных реакций. Полная система уравнений для расчета состава и термодинамических функций многокомпонентной неидеальной реагирующей плазмы с произвольной кратностью ионизации и структурой молекулярных реакций. Формальная эквивалентность описания хим.реакций и реакций ионизации.

Термодинамика газоплазменного состояния в рамках приближения идеальной смеси с ионизацией и химическими превращениями. Понятие «полосы ионизации» и «полосы диссоциации» на примере ионизации и диссоциации водорода. Положение полос на фазовой диаграмме. Определяющие параметры. Структура термического и калорического уравнений состояния при пересечении изолированной «полосы» реакции. Фактор сжимаемости ( $PV/RT$ ) и внепоступательная часть вн.энергии ( $U-3/2PV$ ) как характеристики термического и калорического уравнений состояния. Обобщение на последовательные стадии полной ионизации. «Оболочечные» осцилляции и волны промежуточных кратностей ионизации.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Модели уравнений состояния**

#### **Цель дисциплины:**

- формирование базовых знаний по моделям уравнений состояния вещества для дальнейшего использования в других областях физического знания, дисциплинах естественнонаучного содержания и научно-исследовательской работе; формирование научного подхода к решению физических задач, исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся базовых знаний по моделям уравнений состояния вещества;
- формирование общего научного подхода к изучению физических процессов;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для решения физических задач, самостоятельного анализа полученных результатов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- модели уравнений состояния.

##### **уметь:**

- объяснять принципы построения уравнений состояния;
- определять область применимости различных уравнений состояния и возможные способы их экспериментальной проверки.

##### **владеть:**

- различными методами построения и проверки уравнений состояния.

#### **Темы и разделы курса:**

## 1. Введение в проблему моделей уравнений состояния.

Предмет курса. Актуальность исследования термодинамических свойств и фазовых превращений вещества в широком диапазоне температур и давлений. Основные понятия термодинамики и статистической физики. Термодинамические потенциалы.

## 2. Экспериментальные методы изучения термодинамических свойств и фазовых превращений веществ.

Статические эксперименты при высоких давлениях. Электрический взрыв проводников под действием мощных импульсов тока. Ударное сжатие сплошных и пористых образцов. Изэнтропическое расширение ударно-сжатых веществ.

## 3. Фазовые переходы и метастабильные состояния.

Фазовые состояния вещества. Фазовое равновесие. Сосуществование двух и трех фаз в равновесии. Критическая точка фазового перехода. Метастабильные состояния и границы устойчивости фазы. Общий вид фазовой диаграммы. Характерные примеры фазовых диаграмм.

## 4. Идеальный газ Бозе–Эйнштейна.

Уравнение состояния. Фононный газ в кристаллической решетке. Модели Дебая и Эйнштейна. Уравнение Ми–Грюнайзена.

## 5. Идеальный газ Ферми–Дирака.

Уравнение состояния. Электроны в металле. Электроны в диэлектрике.

## 6. Идеальный газ Больцмана–Максвелла. Неидеальные газы.

Уравнение состояния одноатомного газа. Уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса. Связь параметров уравнение состояния газа Ван-дер-Ваальса с параметрами критической точки.

## 7. Полуэмпирические уравнения состояния.

Холодная кривая и ударная адиабата конденсированного вещества. Связь коэффициента Грюнайзена с параметрами холодной кривой. Интерполяционные выражения для описания теплового вклада атомов и электронов в уравнение состояния в широком диапазоне температур.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Моделирование газокинетических процессов в микро- и наноустройствах**

#### **Цель дисциплины:**

В курсе лекций представлены основные методы моделирования газокинетических процессов в микроструктурах на основе численных методов решения кинетического уравнения Больцмана. Изложены математические модели систем типа мембранный микрофильтр, вакуумные микронасосы на эффекте термотранспирации, компьютерная модель эксперимента Кнудсена

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики переноса массы и энергии на основе кинетического уравнения Больцмана;
- обучение студентов основным методам и подходам, используемым в кинетической теории, изучение базовых принципов кинетической теории, основанной на уравнении Больцман;
- формирование подходов, основанных на конечно-разностных аппроксимациях оператора адвекции кинетического уравнения, расщепление кинетического уравнения по физическим процессам. Дискретная реализация начальных и граничных условий.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

принципы и методы кинетической теории Больцмана, получения когерентного излучения, физические явления, лежащие в основе методов модуляции лазерного излучения, основные свойства лазерного излучения.

##### **уметь:**

численно решать кинетическое уравнение.

##### **владеть:**

методами компьютерного моделирования газокинетических процессов, методами разработки проблемно-моделирующих сред на современных суперкомпьютерных системах.

### **Темы и разделы курса:**

#### **1. Кинетическое уравнение.**

Консервативный проекционный метод. Многомерные кубатурные сетки Коробова и их преимущество. Скорости после столкновения для произвольного молекулярного потенциала. Обобщение метода для смеси газов. Решение дискретного кинетического уравнения.

#### **2. Описание процессов переноса массы и энергии на основе уравнения Больцмана.**

Проекционный метод вычисления интеграла столкновений с учётом поступательно-вращательного и поступательно-колебательного переноса энергии. Простая релаксационная модель поступательно-вращательного переноса энергии. Решение системы кинетических уравнений для газа с внутренними степенями свободы молекул.

#### **3. Расщепление кинетического уравнения по физическим процессам.**

Мембранный микро фильтр. Кнудсеновский компрессор. Насос из перемежающихся разно нагретых пластин. Микро ротатор (радиометр Крука). Компьютерная модель эксперимента Кнудсена 1910 г.

#### **4. Консервативные конечно-разностные схемы.**

Методы решения уравнения диффузии. Метод дискретных ординат для решения уравнения переноса. Метод характеристик для решения уравнения переноса. Метод вероятности первых столкновений. Метод Монте-Карло. Групповое приближение и групповые константы.

Дискретная реализация начальных и граничных условий.

#### **5. Интегральные формы кинетического уравнения Больцмана.**

Интегральные формы кинетического уравнения Больцмана. Кинетическое уравнение для молекулярных газов. Аппроксимация уравнения Больцмана на пространственно-скоростной сетке узлов.

#### **6. Граничные условия на поверхностях симметрии течения.**

Граничные условия на поверхностях симметрии течения. Консервативная формулировка граничных условий.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Моделирование оболочек горячих юпитеров**

#### **Цель дисциплины:**

Курс «Моделирование оболочек горячих юпитеров» входит в цикл образовательно-профессиональных дисциплин основной образовательной программы подготовки научно-педагогических кадров высшей квалификации в магистратуре по направлению 03.04.01 - Прикладные математика и физика

#### **Задачи дисциплины:**

получение базовых знаний, необходимых студенту для проведения научных исследований в рамках своей магистерской работы.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основы физики космоса и вычислительной астрофизики

##### **уметь:**

выработать представление об актуальных проблемах науки и техники в области физики космоса, быть способным на научном языке формулировать профессиональные задачи

##### **владеть:**

системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Горячие юпитеры**

Основные наблюдательные и физические характеристики горячих юпитеров. Свойства верхних атмосфер горячих юпитеров. Аэрономические модели верхних атмосфер.

##### **2. Протяженные оболочки горячих юпитеров**

Наблюдательные проявления протяженных оболочек у горячих юпитеров. Переполнение полости Роша горячего юпитера его атмосферой горячего. Стабилизация истекающих оболочек горячих юпитеров звездным ветром.

### 3. Обзор методов моделирования оболочек

Одномерные гидростатические модели. Моделирование верхних атмосфер методом Монте-Карло. Гидродинамические модели.

### 4. Газодинамическая модель оболочки

Уравнения газовой динамики для системы звезда-планета. Модель атмосферы и звездного ветра. Разностная схема и расчетная сетка.

### 5. Основные типы оболочек (газодинамическое моделирование)

Замкнутые оболочки. Квази-замкнутые оболочки. Открытые оболочки. Темп потери массы горячего юпитера.

### 6. Влияние излучения звезды на течение в оболочке

Ионизация верхней атмосферы горячего юпитера излучением родительской звезды. Влияние радиативного давления на динамику оболочки. Результаты трехмерного численного моделирования. Влияние других источников поглощения излучения.

### 7. Схема Роу-Эйнфельдта для уравнений магнитной гидродинамики

Уравнения магнитной гидродинамики и их свойства. Схема Роу для численного решения уравнений МГД. Энтропийная поправка Эйнфельдта. Примеры тестовых расчетов.

### 8. Схема повышенного порядка аппроксимации

Схема высокого порядка аппроксимации для уравнения адвекции. Случай гиперболической системы уравнений. Примеры тестовых расчетов для магнитной гидродинамики. Повышающая поправка для случая неоднородной сетки.

### 9. Магнитная гидродинамика с фоновым полем

Уравнения магнитной гидродинамики с фоновым полем. МГД схема Роу с учетом фонового поля. Двухэтапный метод численного решения уравнений МГД с фоновым полем. Примеры тестовых расчетов.

### 10. Магнитное поле горячих юпитеров

Магнитогазодинамическая модель оболочки горячего юпитера. Оценки величины магнитного поля горячих юпитеров. Результаты трехмерного численного моделирования структуры протяженной оболочки горячего юпитера с учетом собственного магнитного поля планеты.

### 11. Магнитное поле звездного ветра

Наблюдаемая структура солнечного ветра. Модель изотермического сферически-симметричного солнечного ветра. Магнитогазодинамическая модель солнечного ветра. Анализ решения.

### 12. Магнитосферы горячих юпитеров



Структура магнитного поля в системе звезда-планета. Возможные режимы обтекания горячих юпитеров звездным ветром. Основные типы магнитосфер горячих юпитеров. Формирование магнитодиска в магнитосфере горячего юпитера.

13. Сверх-альфвеновский режим обтекания горячего юпитера

Описание модели. Анализ результатов расчетов. Темп потери массы.

14. Суб-альфвеновский режим обтекания горячего юпитера

Результаты численного моделирования. Новый тип протяженной оболочки. Возможные особенности наблюдательных проявлений.

15. Воздействие КВМ на оболочку горячего юпитера

Корональные выбросы массы. Численное моделирование воздействия широкого КВМ на оболочку горячего юпитера. Модель узко-направленного магнитогидродинамического КВМ. Влияние магнитного поля на механизм взаимодействия оболочки горячего юпитера с КВМ.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Моделирование тяжелых аварий**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний по физике процессов, происходящих при тяжелых авариях на АЭС с ВВЭР;
- получение представления о последовательности протекания физико-химических процессов в ходе тяжелой аварии на АЭС с ВВЭР;
- изучение методов численного и экспериментального моделирования тяжелых аварий на АЭС с ВВЭР;
- нацеливание студентов на реалистичное описание тяжелоаварийных процессов вместо консервативного описания;
- достижение понимания качественных отличий между новыми перспективными типами реакторов и существующими реакторами.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами базовых знаний по теплогидравлическим и высокотемпературным процессам;
- приобретение студентами знаний в области моделирования физико-химических процессов;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных исследований по проблеме тяжелых аварий на АЭС;
- приобретение студентами навыков качественного анализа процессов, протекающих при тяжелых авариях на АЭС;
- приобретение навыков количественных оценок, касающихся тяжелых аварий на АЭС.
- освоение основными понятиями из терминологии, применяемой при исследовании тяжелых аварий на АЭС;
- усвоение основных особенностей (дополнительные системы безопасности, новые перспективные материалы) новых типов реакторов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- порядки теплофизических параметров веществ.
- специфические особенности физических и физико-химических процессов, протекающих при тяжелых авариях на АЭС;
- современные стратегии предотвращения неблагоприятных сценариев при тяжелых авариях на АЭС;
- последние достижения в создании численных кодов по моделированию тяжелых аварий на АЭС;
- характерные значения теплофизических параметров материалов, используемых на АЭС;
- современные подходы для реалистичного описания физико-химических процессов, происходящих при тяжелых авариях на АЭС;
- основные качественные отличия новых перспективных типов АЭС с точки зрения повышения их уровня безопасности.

**уметь:**

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- получать приблизительную оценку величины для выходного параметра задачи на основании данных о входных параметрах.
- осваивать новые предметные области и теоретические подходы применительно к проблеме безопасности атомной энергетики;
- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов по проблеме тяжелых аварий на АЭС;
- правильно выбирать путь решения задачи по теплогидравлической или тяжелоаварийной тематике.

**Владеть:**

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- методами оценки характерных параметров процессов;
- методами проверки с помощью анализа размерностей;
- навыками по использованию безразмерных комплексов для анализа физических задач.
- навыками использования базовых уравнений для моделирования физических, физико-химических и других процессов, протекающих при тяжелых авариях на АЭС;
- методами численного моделирования теплогидравлических, тепловых и тяжелоаварийных задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач, относящихся к проблеме тяжелых аварий на АЭС.

**Темы и разделы курса:**

1. Безопасность атомной энергетики. Терминология аварий на АЭС. Основные принципы обеспечения безопасности

1. Обоснование безопасности работы атомных станций при различных режимах работы

2. Проектные и запроектные аварии

3. Активные и пассивные системы безопасности

4. Концепция глубокоэшелонированной защиты

5. Барьеры безопасности: оболочка, первый контур, шахта, противоаварийная оболочка

2. Виды теплопередачи. Теплопроводность, конвекция, теплообмен излучением, теплообмен при кипении и конденсации

1. Решение стационарного и нестационарного уравнения теплопроводности в простейших случаях

2. Описание теплообмена при конвекции числом Нуссельта

3. Число Рэлея в случае тепловыделяющей жидкости

4. Аналитический расчет коэффициентов переизлучения в простейших случаях

5. Основные режимы кипения жидкости: пузырьковый, переходный, пленочный

6. Теплопередача при конденсации

3. Численные коды, используемые для моделирования реакторных установок. Моделирование теплогидравлики и разрушения активной зоны в численных кодах

1. Основные подходы, используемые в численных кодах, по моделированию проектных и запроектных режимов работы реакторных установок

2. Современные коды улучшенной оценки

Российский код СОКРАТ/В5

3. Система уравнений неразрывности, момента импульса и энергии для каждой из фаз

4. Окисление циркония и железа

5. Плавление

6. Образование эвтектик

7. Стеkanie расплавленных материалов

8. Деформационное поведение

4. Аварии на АЭС с потерей теплоносителя. Моделирование окисления циркониевых оболочек в паровой атмосфере и атмосфере пар-кислород-азот

1. Аварии типа “большая” и “малая течь”

2. Окисление оболочек, содержащих цирконий, в паровой среде

3. Окисление оболочек, содержащих цирконий, в смесях пар-азот и кислород-азот (воздух)

5. Аварии в бассейнах выдержки (БВ) отработанного топлива. Моделирование генерации водорода при аварии с потерей теплоносителя в бассейне выдержки (БВ) отработанного топлива

1. Феноменология аварий, теплогидравлическое описание

2. Осушение БВ

3. Аварии с течью в днище БВ

4. Окисление оболочек в атмосфере пар-кислород-азот

5. Основные уравнения для моделирования окисления

6. Способы решения уравнений

7. Выход водорода при реакции циркониевых и стальных конструкций со смесью, содержащей пар, кислород, азот

6. Взаимодействие расплава с бетоном. Рост температуры и давления под противоаварийной оболочкой при тяжелой аварии

1. Уравнение энергетического баланса для расплава

2. Осевое и радиальное проплавление бетона

3. Уравнение энергии атмосферы противоаварийной оболочки

4. Динамика давления под оболочкой
7. Концепция ловушки. Пассивные системы безопасности вне реактора
  1. Ловушка как пассивная система безопасности реактора
  2. Жертвенные слои
  3. Охлаждение водой
  4. Спринклеры
  5. Ледовые конденсаторы
  6. Фильтры
  7. Тепловые трубы
  8. Ограничение давления под противоаварийной оболочкой
  9. Водородная безопасность
  10. Рекомбинаторы водорода
8. Обзор проводимых экспериментальных исследований по тематике тяжелых аварий на АЭС. Тесты по исследованию отдельных явлений, протекающих при тяжелых авариях. Интегральные эксперименты по моделированию явлений, протекающих при тяжелых авариях. Интегральные эксперименты серии CORA
  1. Основные направления экспериментальных исследований в области безопасности АЭС применительно к тяжелым авариям
  2. Тесты по исследованию отдельных явлений (SET)
  3. Интегральные эксперименты
  4. Тесты и эксперименты с новыми перспективными материалами ATF
9. Экспериментальная установка PARAMETER. Эксперименты PARAMETER-SF1 - PARAMETER-SF4
  1. Описание установки
  2. Эксперименты PARAMETER-SF1 - PARAMETER-SF3 с окислением в паровой среде
  3. Эксперимент PARAMETER-SF4 с окислением в воздушной среде
10. Экспериментальная установка QUENCH. Эксперименты QUENCH-LOCA-0 - QUENCH-LOCA-1 по моделированию проектных аварий
  1. Описание установки
  2. Эксперименты по проектным авариям
  3. Эксперименты по тяжелым авариям
11. Эксперименты QUENCH-06, QUENCH-09, QUENCH-10, QUENCH-16, QUENCH-18, QUENCH-19, QUENCH-20

1. Эксперимент QUENCH-06 по моделированию температурной эскалации и залива после фазы преокисления
2. Эксперимент QUENCH-09 по моделированию резкой температурной эскалации и выхода водорода после фазы кислородного голодания
3. Эксперименты QUENCH-10 и QUENCH-16 по моделированию окисления в воздушной среде
4. Эксперимент QUENCH-18 по моделированию окисления в среде пар-кислород-азот
  
5. Эксперимент QUENCH-19 по моделированию окисления перспективных ATF-оболочек из сплава FeCrAl
6. Эксперимент QUENCH-20 по моделированию поведения BWR с поглощающими пластинами из В4С
  
12. Новые перспективные материалы ATF- топлива и оболочек для реакторов нового поколения
  1. Обзор текущих исследований перспективных ATF-материалов для АЭС
  2. Повышение уровня безопасности АЭС нового поколения

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Модельное мышление и его применение**

#### **Цель дисциплины:**

Формирование навыков осмысления жизненного опыта, применения критического мышления в реальной жизни, а также обоснования своей гражданской позиции и своего мировоззрения с помощью экспериментальных данных.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами базовых знаний (понятий, концепций, методов и моделей) модельного мышления;
- приобретение теоретических знаний и практических навыков применения критического мышления в бизнесе, геополитике и общем мировоззрении;
- развитие навыков выступления на публику и донесения своей точки зрения до аудитории.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- фундаментальные понятия современного критического материализма (Черный Лебедь, антихрупкость, эволюционная эпистемология, сложные системы и т.д.);
- роль случая и значимость когнитивных искажений в реальной жизни;
- основные причины провала стартапов;
- типовые способы принятия решений;
- базовые принципы развития человеческого общества и их историческое обоснование;
- основные мифы либерал-глобализма и методы манипуляции общественным мнением;
- роль России в мировой культуре;
- главные направления классической философии;
- принципы практической философии и их экспериментальный характер.

##### **уметь:**



- ставить цели, разбивать поставленные цели на задачи и этапы, минимизировать хрупкость проекта;
- оценивать себя, членов команды и контрагентов своих проектов и выработать наиболее продуктивное общение с ними;
- определять попытки манипуляции (в СМИ, в бизнесе и т.д.) и противодействовать им;
- создавать простые модели явлений в реальной жизни.

#### **владеть:**

- навыками публичных выступлений и донесения своей точки зрения до аудитории;
- навыками осмысления своего жизненного опыта и выработки собственных жизненных принципов;
- методами противодействия информационным атакам против России.

#### **Темы и разделы курса:**

##### 1. Черный Лебедь. Антихрупкость

Что такое «Черный лебедь»? Критерии Черного Лебедя. Источники Черных Лебедей. Триада Хрупкость-Неуязвимость-Антихрупкость. Уменьшение хрупкости. Достижение антихрупкости. Антихрупкость в действиях Правительства РФ. Сложные системы первого и второго рода. Этика и мораль в современном мире. Агентская проблема. Эпистемическая и доксистическая ответственность. Главная ошибка Галеба.

##### 2. Почему проваливаются стартапы?

Джеффри Мур, "Пересекая пропасть". Почему проваливаются 90% стартапов? Как это преодолеть? "Продуктивные" встречи. Зачем продавцам нужны инженеры? Несбыточные мечты о "платформе". Зачем инженерам нужны продавцы? Эрик Рис, "Lean startup". Как сделать бизнес антихрупким? Принцип "fail fast" - наличие стратегии выхода. Инвесторы и инвестфонды – в чем разница? "Ошибка выжившего". Так ли важен опыт сверх-успешных предпринимателей? Миф о патентах. Миф о важности руководителей. Механизмы принятия решений. Миф об идеальном руководителе. Кен Бланшар, ситуационное лидерство. Фредерик Лалу, "Открывая организации будущего". Типы организаций. Один базовый принцип, о котором часто забывают.

##### 3. Геополитика и политэкономия

Эрик Райнерт, «Как богатые страны стали богатыми...» - исторические факты от XV до XXI века. Государственное вмешательство, протекционизм по отношению к своей промышленности. Эмуляция. "Летающие гуси" Восточной Азии. Вторичные факторы: несовершенная конкуренция, инновации, синергия. Мифы "мейнстрим"-экономики. Миф о "невидимой руке рынка". Как рекомендации МВФ разрушают экономики развивающихся стран. Миф об "институтах демократического общества". Коррупция. Виды коррупции и их динамика на примерах Великобритании, США и России. Миф о пост-индустриальной экономике. Разбор основных пропагандистских примеров. Как Украина поверила всем мифам и проигнорировала все факты. Глобализация (географическое разделение труда) и

вызванный ей рост напряженности в отношениях между странами. Мировые религии. Исламизм. Сырьевые ресурсы планеты. Арктика - "последняя кладовая Земли". Рост напряженности внутри стран. Рост неравенства. Как работает мир? Текущая пролетаризация среднего класса. Безработица. Роботизация. Надвигающийся глобальный экономический кризис и вероятность большой войны. "Политическая корректность". Тупиковое положение левой идеологии в качестве услуги транснационального финансового капитала и бюрократии. Изменение роли США в мире. США и Китай - текущее состояние и планы. Национальные идеи. Коммунизм. Главная ошибка Карла Маркса. Адаптация идей Маркса к реальности. Коммунизм как религия в СССР. Недооценка исторической роли СССР в современном мире. Китайский подход. Возможная модернизация коммунизма. Новая холодная война - так ли это плохо?

#### 4. Критическое мышление. Практическая философия.

Манипуляции общественным мнением. Современный идеализм («постмодернизм»). Основы критического материализма. Эволюция. Почему то, что делает «Russia Today», вызывает истерику на Западе? Информация и что с ней делать. Разница между информацией и образованием. Проникновение философии в реальную жизнь. Логика и философия. Приёмы практической философии. Вопрос о смысле жизни. Феномен "творческой интеллигенции" в Великобритании начала XX века и в России начала XXI века. Надо ли русским пытаться стать англо-американцами? Русская интеллигенция сегодня и завтра. Что такое мистицизм? Экспериментальный характер мистицизма. Материализм и мистицизм. Эволюция разума. Получится ли у нас искусственный интеллект? Альтернативные картины будущего (выступления студентов). Эффект Линди. Люди и время. Западный миф об отсталости России. Некоторые отличительные черты русского менталитета. Формирование новой национальной идеи России.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Молекулярная спектроскопия**

#### **Цель дисциплины:**

Цель курса состоит в обучении студентов старших курсов МФТИ базовым представлениям теории молекул, структуре спектров молекулярных соединений, а также основным теоретическим подходам, используемым при описании процессов взаимодействия света с молекулами. Успешное освоение материалов данного курса должно позволить выпускникам свободно ориентироваться в актуальных вопросах молекулярной спектроскопии.

#### **Задачи дисциплины:**

- 1) Освоение основ молекулярной спектроскопии.
- 2) Переход от рассмотрения отдельных атомов к изучению процессов, происходящих при взаимодействии света с системами, состоящими из двух и более атомов.
- 3) Ознакомление студентов с современными теоретическими методами, используемыми при количественном описании спектров двух- и многоатомных молекул.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Основные представления теории молекул;
- Структуру молекулярных спектров;
- Теоретические основы молекулярной спектроскопии;
- Современные методики определения спектральных свойств молекулярных систем.

##### **уметь:**

- Определять электронные термы и волновые функции двухатомных молекул;
- Расшифровывать экспериментально полученные спектры молекул;
- Вычислять относительные и абсолютные величины интенсивностей излучаемого и рассеиваемого излучения.

**владеть:**

- Математическим аппаратом молекулярной спектроскопии;
- Теоретическими основами современных методик молекулярной спектроскопии.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Основные представления теории молекул.

Электронная, колебательная и вращательная энергия молекулы. Типы молекулярных фотопереходов. Линейчатый, полосатый и непрерывный спектры. Адиабатическое приближение Борна-Оппенгеймера. Электронные и ядерные волновые функции двухатомной молекулы. Методы валентных связей и молекулярных орбиталей. Симметрия и классификация электронных термов гетероядерной и гомоядерной молекулы. Связь молекулярных термов с атомными.

## 2. Методы вычисления электронных термов и их расщеплений.

Асимптотические теории Ландау-Херринга ( $H_2^+$ ) и Горькова-Питаевского ( $H_2$ ). Теория Смирнова. Ab-initio подходы.

## 3. Структура колебательно-вращательных уровней энергии молекулы.

Приближение гармонического осциллятора и жесткого ротатора. Эффекты ангармонизма колебаний и взаимодействия колебаний с вращением,  $\Lambda$ -удвоение. Колебательно-вращательный квазиконтинуум. Модельные потенциалы. Влияние мультиплетности.

## 4. Неадиабатические переходы.

Области неадиабатичности. Пересечение и квазипересечение термов. Диабатический и адиабатический базисы. Преддиссоциация молекул. Теория Ландау-Зинера и ее обобщения. Применение теории Ландау-Зинера к описанию фотопроцессов с изменением электронного состояния молекулы.

## 5. Излучение и поглощение света на связанно-связанных переходах.

Излучение и поглощение света на связанно-связанных переходах. Правила отбора для электронных, колебательных и вращательных переходов. P-, Q-, R-ветви. Факторы Франка-Кондона в приближении Борна-Оппенгеймера. Вероятности, коэффициенты Эйнштейна, силы осцилляторов и сечения колебательно-вращательных и электронных переходов. Распределение интенсивностей в электронно-колебательно-вращательных спектрах.

## 6. Комбинационное (рамановское) рассеяние.

Структура колебательно-вращательного и вращательного спектра комбинационного рассеяния. Правила отбора.

## 7. Свободно-связанные и свободно-свободные радиационные переходы в двухатомной молекуле.

Свободно-связанные и свободно-свободные радиационные переходы в двухатомной молекуле. Структура спектров. Диффузные спектры. Преддиссоциация.

## 8. Основы нелинейной молекулярной спектроскопии.

Двухфотонные переходы. Субдоплеровская спектроскопия. Правила отбора для двухфотонных переходов. Упрощение формы спектров. Методы нелинейной молекулярной спектроскопии. Population labelling и Polarization labelling.

## 9. Многоатомные молекулы.

Теория многоатомной молекулы. Поверхности потенциальной энергии. Симметрия и классификация молекулярных термов. Типы колебаний и колебательные уровни энергии. Квантование вращения шарового, симметричного и асимметричного волчков.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Молекулярная спектроскопия**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины «Молекулярная спектроскопия» является формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических концепций в области физики молекул и молекулярной спектроскопии; развитие умений, основанных на полученных теоретических знаниях, позволяющих анализировать и интерпретировать молекулярные спектры, определять равновесную структуру молекул, понимать внутримолекулярную динамику и межмолекулярные взаимодействия; получение студентами навыков самостоятельной исследовательской работы, предполагающей изучение специфических алгоритмов, инструментов и компьютерных программ, необходимых для решения задач молекулярной спектроскопии; получение практических навыков использования современных баз данных по молекулярным спектрам для решения задач физики атмосферы и астрофизики.

#### **Задачи дисциплины:**

Задачами учебной дисциплины являются: освоение студентами знаний по спектрам молекул, свойствам симметрии молекул, методам молекулярной спектроскопии; формирование у них исследовательских навыков и способности применять полученные знания на практике.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

общие положения о химической связи и структуре молекул; основные характеристики уровней энергии, интенсивности переходов, ширина и форма спектральных линий; правила отбора;

типы молекулярных спектров и экспериментальные методы их регистрации;

современные методы расчета и обработки молекулярных спектров.

##### **уметь:**

применять полученные знания для интерпретации спектров молекул различной природы;

применять современные компьютерные программы для анализа спектров молекул;

извлекать из молекулярных спектров информацию о структуре и динамике молекул.

**владеть:**

навыками работы с современной научной литературой по актуальным вопросам молекулярной спектроскопии;

методами теоретического моделирования спектров молекул и их анализа с целью определения молекулярных констант и параметров межмолекулярного взаимодействия;

навыками использования современных баз данных по молекулярным спектрам для решения задач физики атмосферы и астрофизики.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение в физику молекул и молекулярную спектроскопию

Взаимодействие излучения с веществом. Уровни энергий. Молекулярный спектр. Интенсивности, ширины и форма линий. Применение молекулярной спектроскопии в различных науках. Идентификация соединений – установление строения. Определение энергетических и геометрических характеристик молекул.

2. Экспериментальные методы молекулярной спектроскопии

Современные спектральные методы. Электронная спектроскопия. Инфракрасная спектроскопия. Спектроскопия комбинационного рассеяния света. Микроволновая спектроскопия. Ядерный магнитный резонанс. Электронный парамагнитный резонанс. Масс-спектрометрия. Эффекты Штарка и Зеемана в экспериментальных методах.

3. Межмолекулярные взаимодействия

Внутримолекулярное и межмолекулярное взаимодействия. Разновидности межмолекулярных взаимодействий. Силы Ван-дер-Вальса. Ориентационное, индукционное, дисперсионное взаимодействия. Водородная связь.

4. Вращательные спектры молекул

Двухатомные молекулы. Моменты инерции; вращательная постоянная; влияние центробежного растяжения. Тонкая структура.

Линейные молекулы. Вращательные состояния, симметрия и спиновая статистика. Сверхтонкая ядерная структура.

Молекулы типа симметричного волчка. Вращательные состояния, симметрия и спиновая статистика. Чередование интенсивностей. Инверсионное удвоение и инверсионный спектр NH<sub>3</sub>.

Молекулы типа асимметричного волчка. Вращательные состояния, симметрия и спиновая статистика. Правила отбора. Интенсивности переходов.

5. Колебательные и колебательно-вращательные спектры молекул

Колебательно-вращательные спектры двухатомных молекул; колебательно-вращательные взаимодействия; распределение интенсивностей в колебательно-вращательном спектре поглощения; влияние спиновой статистики ядер; роль симметрии электронной волновой функции.

Линейные молекулы. Вращательные состояния, симметрия и спиновая статистика. Кориолисово взаимодействие. 1-удвоение.

Молекулы типа симметричного волчка. Кориолисово взаимодействие компонент вырожденных колебаний и разных колебаний. Симметрия и спиновая статистика. Параллельные и перпендикулярные полосы.

Молекулы типа асимметричного волчка.

Молекулы типа сферического волчка.

## 6. Электронные спектры молекул

Электронные спектры двухатомных молекул. Электронно-колебательные спектры. Принцип Франка-Кондона. Электронно-колебательно-вращательные спектры. Вращательные постоянные в верхних и нижних состояниях. Схема Гунда. Электронные спектры многоатомных молекул.

## 7. Сложные молекулы и кластеры

Формирование кластеров в газовой фазе. Строение и свойства кластеров. Молекулы в матрицах. Молекулы в гелиевых каплях. Радикалы и молекулярные ионы. Биомолекулы.

## 8. Молекулы в межзвездной среде

Состав межзвездной среды. Содержание водорода и гелия. Молекулы в межзвездных облаках. Физические условия в межзвездных облаках. Космическая пыль. Радиоастрономия.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Морская геофизика**

#### **Цель дисциплины:**

- формирование знаний в области методов исследований строения геологической среды на акваториях морей и океанов при решении практических задач поисков и разведки полезных ископаемых, инженерных изысканий при строительстве шельфовой инфраструктуры и экологических задач.

#### **Задачи дисциплины:**

- познакомить студентов с основными особенностями проведения геофизических исследований на акваториях;
- дать представление о современных подходах к организации наблюдений и интерпретации их результатов;
- познакомить студентов с основными типами аппаратуры, используемой при геофизических исследованиях на акваториях;
- дать представление об основных практических задачах, решаемых методами морской геофизики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Современные методы морских геофизических исследований, применяемые при поиске месторождений полезных ископаемых;
- Современные методы морских геофизических исследований, применяемые при инженерно-геофизических исследованиях на акваториях;
- Современные методы морских геофизических исследований, применяемые при решении экологических задач;
- Особенности и методы организации измерений аномалий магнитного поля на акваториях;
- Особенности и методы организации измерений аномалий поля силы тяжести на акваториях;
- Современные подходы к организации сейсмоакустических исследований на акваториях;

- Современные методы исследований дна акваторий с использованием локаторов бокового обзора;
- Методы отбора проб грунта на акваториях;
- Современные подходы к обработке и интерпретации данных морских сейсмоакустических исследований;
- Современные подходы к комплексной интерпретации результатов геофизических исследований на акваториях при поиске месторождений углеводородов;
- Современные подходы к оценке геологических рисков по результатам инженерно-геофизических исследований на акваториях.

**уметь:**

- Правильно выбирать комплекс геофизических методов, необходимых для исследований на акваториях в зависимости от геологической задачи;
- Интерпретировать временные и глубинные сейсмические разрезы;
- Выделять зоны потенциально опасные для бурения и возведения шельфовой инфраструктуры;
- Проводить комплексную интерпретацию геофизических данных на акваториях;
- Интерпретировать изображения поверхности дна, получаемые при помощи локаторов бокового обзора.

**владеть:**

- методами интерпретации морских геофизических данных;
- навыками выделения потенциальных геологических рисков по совокупности данных морских геофизических исследований;
- представлениями о современных видах аппаратуры для морских геофизических исследований;
- навыками интерпретации сейсмических разрезов.

**Темы и разделы курса:**

1. Цели и задачи морской геофизики

Виды задач, решаемых методами морской геофизики. Комплекс методов, используемых при поиске и разведке углеводородов. Комплекс методов, используемых при решении инженерно-геофизических задач. Экологические задачи морской геофизики.

2. Общие принципы организации морских геофизических работ

Суда, применяемые при морских геофизических исследованиях: их типы. Организация и планирование морских геофизических исследований.

### 3. Измерения аномалий силы тяжести на акваториях, особенности обработки и интерпретации результатов наблюдений

Методы измерения силы тяжести на подвижном основании. Морские гравиметры. Организация наблюдений. Первичная обработка данных измерений. Особенности обработки: поправка Этвеша, поправка Брунса. Интерпретация результатов измерений в различных масштабах.

### 4. Измерения аномалий магнитного поля на акваториях, особенности обработки и интерпретации результатов наблюдений

Методы измерения аномалий магнитного поля на акваториях. Морские магнитометры. Организация наблюдений. Первичная обработка данных измерений. Особенности обработки: поправка за девиацию, учёт вариаций. Интерпретация результатов измерений в различных масштабах.

### 5. Общие принципы организации морских сейсмических исследований: генерация и приём сигнала, системы наблюдения

Морские сейсмические источники: пневмоисточники, электроискровые источники, пьезоэлектрические источники. Регистрация волн в жидкости, плавучие и донные сейсмические косы, донные станции. Методы морской сейсмоакустики: НСП, ОГТ, МПВ, принципы организации наблюдений. Особенности волнового поля на акваториях: волны-спутники, оптимизация геометрии наблюдений.

### 6. Морская сейсморазведка при поиске месторождений углеводородов на глубоководье, шельфе и в транзитной зоне

Морская сейсморазведка 2D ОГТ и 3D ОГТ. Системы наблюдений. Обработка и интерпретация данных морской сейсморазведки ОГТ.

### 7. Высокоразрешающая сейсморазведка при инженерно-геофизических изысканиях на акваториях

Типы высокоразрешающей сейсморазведки на акваториях. Особенности сейсмических источников, применяемых в высокоразрешающей сейсморазведке: «спаркер», «бумер», их комбинирование. Многочастотная сейсморазведка. 2D и 3D наблюдения, их обработка и интерпретация.

### 8. Исследования дна с применением глубинных локаторов бокового обзора

Принцип работы глубинных локаторов бокового обзора (ГЛБО). Типы ГЛБО. Интерпретация изображений, получаемых ГЛБО.

### 9. Комплексная интерпретация геофизических данных при поисках и разведке полезных ископаемых

Комплексирование геофизических методов: принципы и подходы. Виды комплексной интерпретации. Роль различных методов при поиске и разведке углеводородов. Сейсмоплотностные и сейсмамагнитные модели, их построение и интерпретация. Применение методов геоэлектрики. Применение данных геохимии. Прогноз нефтегазоносности по результатам комплексной интерпретации.

### 10. Выделение геологических рисков по результатам морских геофизических исследований

Понятие геологического риска при добыче углеводородов и сооружении объектов шельфовой инфраструктуры. Зоны аномально высокого порового давления. Разломы. Газовые гидраты подводные оползни. Характерные признаки зон геологических рисков на сейсмических разрезах.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Нанофотоника**

#### **Цель дисциплины:**

Целью изучения дисциплины «Нано-фотоника» является знакомство студентов с физическими основами и принципами функционирования новых типов электро-оптических приборов, составляющих основу для построения систем квантовой коммуникации и информации.

#### **Задачи дисциплины:**

В ходе курса будут изучены принципы квантования электромагнитного поля и основы квантовой оптики, различия между проявлениями классической и квантовой природы света в природе и оптических приборах, дано описание света как совокупности (ансамбля) квантовых частиц, объяснены основные методы квантового описания света, рассмотрены типы состояний света, способы его генерации и измерения, даны примеры расчетов квантового поведения света в простых оптических приборах, рассмотрена природа квантовых корреляций, способы их измерений, их связь с состояниями света, природа взаимодействия света с квантовыми наносистемами, дано теоретическое описание квантовых состояний света с использованием простые модели с несколькими уровнями, рассмотрена природа квантовой динамики открытых систем, потери квантовой когерентности и релаксации, рассмотрены основные теоретические подходы описания динамики открытых систем.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- принципы квантования электромагнитного поля и основы квантовой оптики, различия между проявлениями классической и квантовой природы света в природе и оптических приборах, типы состояний света, способы его генерации и измерения, природу квантовых корреляций, способы их измерений, их связь с состояниями света, природу взаимодействия света с квантовыми наносистемами, природу квантовой динамики открытых систем, физическую природу потери квантовой когерентности и релаксации.

##### **уметь:**

- практически применять основные теоретические методы для описания квантового описания света, рассчитать квантовое поведение света в простых оптических приборах,

может описать теоретически взаимодействие света с квантовыми наносистемами используя простые модели.

**владеть:**

- базовыми теоретическими методами квантовой оптики для описания взаимодействия света с наносистемами.

**Темы и разделы курса:**

1. Краткое введение в классическое описание электромагнитных волн

Уравнения Максвелла, кулоновская калибровка, разделение поля на потенциальную и роторную части, потенциальные и роторные переменные для описания поля, собственные моды света, общее решение уравнений Максвелла через собственные моды, уравнения поля как динамические уравнения Гамильтона.

2. Квантовое описание электромагнитного поля

Общий подход к квантованию поля, квантование в кулоновской калибровке, аналоги импульса и координат для квантового описания поля, уравнение Шредингера для поля, полевые операторы рождения и уничтожения, электромагнитное поле, как квантовый оператор, разложение оператора поля по собственным модам света, коммутационные соотношения, соотношения неопределенности Гейзенберга и проблема измерений.

3. Описание света как совокупности квантовых частиц. Типы квантовых состояний и их характеристики

Различные способы квантового описания света – волновая функция и матрица плотности, состояния Фока, вакуумное состояние света – эффект Казимира, квазиклассические состояния света, когерентные и «сплюснутые» состояния света, квантовый кот Шредингера, свет как статистический ансамбль.

4. Генерация квантовых состояний. Квантовые аналоги оптических приборов. Измерения

Генерация состояний Фока – атомные резонаторы и нелинейные кристаллы, генерация когерентных состояний, «сплюснутые» состояния света, элементарные оптические приборы - зеркала и делители, и их квантовые аналоги, измерения квантовых характеристик света.

5. Взаимодействие квантованного света с веществом. Составные моды света и материи

Общий подход к описанию взаимодействия света с веществом, возможность выбора мод и калибровочные преобразования, взаимодействие света с наноструктурами, дипольное разложение, комбинированные моды света и материи, поларитоны и плазмоны.

6. Квантовая механика света на простых моделях

Общий подход к квантово-механическому описанию света, основные составляющие, базовая модель Джейн-Каммингса, приближение вращающейся системы координат, осцилляции Раби, связанные квантовые состояния света и вещества, ступеньки Джейн-Каммингса и динамика ее состояний, коллапс и восстановление квантовых состояний.

## 7. Временная эволюция квантовых систем, взаимодействующих с фотонами и другими модами возбуждений внешней среды

Общий подход к изучению эволюции открытых квантовых систем, обобщенная модель эволюции квантовых систем, временное уравнение Шредингера для волновой функции и уравнение Лиувилля-фон Неймана для матрицы плотности, квантовая динамика и потеря квантовой когерентности, квантовое уравнение Ланжевена, основное уравнение динамики, метод интеграла по траекториям, феноменологические подходы и приближение Маркова, релаксация квантовых систем с памятью, релаксация двухуровневой системы – сравнение подходов.

## 8. Квантовые корреляции света. Измерения и корреляционные характеристики состояний света

Некоммутативность операторов поля и квантовые корреляции, основные величины и их связь с измерениями, корреляции амплитуд и корреляции интенсивностей, измерение состояния света через корреляции.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Научная этика и подготовка научных публикаций**

#### **Цель дисциплины:**

Цель курса — сформулировать для слушателей минимальный набор нравственно-этических принципов, которые должен соблюдать в своей работе ученый.

#### **Задачи дисциплины:**

Показать связь научной этики с общечеловеческой, проиллюстрировать ценность научной этики для плодотворности собственности научных исследований, рассмотреть конкретные правила этики поведения внутри научного коллектива и взаимодействия в внешней научной инфраструктурой.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Нормы этики профессионального поведения научного работника.

##### **уметь:**

Соблюдать нормы морали, нравственности и этики в профессиональной деятельности научного работника.

##### **владеть:**

Навыками профессиональных взаимоотношений внутри научных коллективов и в рамках научного сообщества в целом

#### **Темы и разделы курса:**

1. Атомные проекты XX века, исторические предпосылки, политические и нравственные аспекты

Излагаются исторические предпосылки, политические и нравственные аспекты атомных проектов XX века в период до 1953 г. по материалам международных конференций по истории атомных проектов 1996 (ОИЯИ, Дубна) и 1999 гг. (Luxemburg, Австрия)



## 2. Атомный проект Германии, проблема взаимоотношений внутри коллектива

Излагаются исторические предпосылки, политические и нравственные аспекты атомных проектов XX века в период до 1953 г. по материалам международных конференций по истории атомных проектов 1996 (ОИЯИ, Дубна) и 1999 гг. (Luxemburg, Австрия)

## 3. Атомный проект Англии и США, его эволюция, кадровый состав, нравственные позиции его участников и других ученых-физиков

Описывается атомный проект Англии и США, его предыстория, эволюция, кадровый состав, нравственные позиции его участников и других ученых-физиков этих стран. Роль К Фукса в передаче СССР информации о Манхеттенском проекте. Письмо А. Эйнштейна президенту США.

## 4. Атомный проект СССР, личностные проблемы начального этапа, нравственные проблемы его участников, эволюция политических взглядов его участников

Описывается атомный проект СССР, личностные проблемы начального этапа, нравственные проблемы его участников. Рассматривается эволюция политических взглядов его участников. Даются нравственные оценки происходивших событий.

## 5. Исторические, политические и нравственные уроки истории создания ядерного оружия на историческом материале до 1953г. по материалам международных конференций по истории атомных проектов 1996 (ОИЯИ, Дубна) и 1999гг. (Luxemburg, Австрия)

Обсуждаются исторические, политические и нравственные уроки истории создания ядерного оружия на историческом материале до 1953 г. по материалам международных конференций по истории атомных проектов 1996 (ОИЯИ, Дубна) и 1999 гг. (Luxemburg, Австрия).

## 6. Нравственные уроки Чернобыльской катастрофы

Обсуждаются нравственные уроки Чернобыльской катастрофы. Рассматриваются этические аспекты поведения руководителей и специалистов ЧАЭС перед и во время развития аварийной ситуации на 4-м блоке. Рассказывается о героизме ликвидаторов катастрофы.

## 7. Сравнение нравственных аспектов Кыштымской, Чернобыльской и Фукусимской катастроф

В нравственном аспекте сравниваются Кыштымская, Чернобыльская и Фукусимская катастрофы. Дается оценка решениям и действиям госорганов и коммерческих структур. Оценивается гуманитарный ущерб, причиненный этими катастрофами.

## 8. Этические нормы публикационной деятельности ученого. Правила взаимоотношений с соавторами публикации, с рецензентами и редакторами научных изданий, с коллегами, публикующимися на ту же тему, правила цитирования и ссылок на чужие результаты. Этические нормы и правила участия в научных конференциях

Рассматриваются этические нормы публикационной деятельности ученого. Излагаются правила взаимоотношений с соавторами публикации, с рецензентами и редакторами научных изданий, с коллегами, публикующимися на ту же тему, правила цитирования и ссылок на чужие результаты. Рассматриваются этические нормы и правила участия в научных конференциях.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Научный семинар по математической и теоретической физике**

#### **Цель дисциплины:**

- мониторинг и контроль научной деятельности студентов, развитие у них навыков и культуры научного общения;
- разрешение текущих оперативных трудностей студентов при решении научных задач.

#### **Задачи дисциплины:**

- ознакомление студентов с научными задачами других обучающихся на образовательной программе "Теоретическая и математическая физика";
- возможность получения консультации по тому или иному вопросу, возникающему в ходе ведения научных изысканий.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- содержание наиболее важных свежих научных публикаций.

##### **уметь:**

- читать и анализировать научные статьи, представлять полученные знания в ходе устного доклада, вести научные изыскания под руководством научного сотрудника.

##### **владеть:**

- методами создания презентаций и работы у доски в научной аудитории, методами ведения научной дискуссии, методами распределения времени при ведении научной деятельности.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Научный семинар

Регулярные отчеты, доклады о собственной научной деятельности с вопросами руководителя семинара и участников семинара, как студентов, так и научных сотрудников ЛМТФ.

## 2. Научный семинар

Регулярные отчеты, доклады о собственной научной деятельности с вопросами руководителя семинара и участников семинара, как студентов, так и научных сотрудников ЛМТФ.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Научный семинар**

#### **Цель дисциплины:**

Формирование у студентов навыков представления результатов научной деятельности в форме семинара или выступления на конференции, а также навыков ведения научной дискуссии.

#### **Задачи дисциплины:**

- Формирование знаний и умений, необходимых для успешного представления результатов научной деятельности в области физики высоких энергий и теоретических исследований по современным актуальным проблемам;
- формирование навыков ведения научной дискуссии.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Основные методы построения научного доклада.

##### **уметь:**

- Сделать доклад по своей работе или по работе, описанной в журнальной статье;
- ответить на вопросы по своему докладу;
- вести/модерировать научную дискуссию.

##### **владеть:**

- Навыками подготовки презентаций по проделанной работе или обзора по журнальной статье;
- общим понятийным аппаратом в области физики элементарных частиц.

#### **Темы и разделы курса:**

#### 1. Тема магистерской работы. Принципы и средства написания научных работ.

Выступления студентов на научном семинаре с презентацией научной работы, выполняемой самостоятельно. В своём докладе студенты должны продемонстрировать чёткое понимание целей и задач планируемой работы, знать актуальность и современное состояние данной области исследования. Студент должен уметь отвечать на вопросы по теме исследования.

#### 2. Текущий статус магистерской работы. Принципы построение научных докладов.

Выступления студентов на научном семинаре с презентацией научной работы, выполняемой самостоятельно. В докладе должны быть кратко сформулированы цели проводимого исследования, представлены способы и методы решения поставленной задачи, в заключении должны быть представлены результаты проделанной работы. Представляемый доклад должен отражать личный вклад автора в исследовательскую работу. Студент должен уметь отвечать на вопросы по теме исследования.

#### 3. Текущий статус магистерской работы. Принципы построение научных докладов.

Выступления студентов на научном семинаре с презентацией научной работы, выполняемой самостоятельно. В докладе должны быть кратко сформулированы цели проводимого исследования, представлены способы и методы решения поставленной задачи, в заключении должны быть представлены результаты проделанной работы. Представляемый доклад должен отражать личный вклад автора в исследовательскую работу. Студент должен уметь отвечать на вопросы по теме исследования.

#### 4. Новейшие результаты в физике элементарных частиц. Принципы и средства подготовки презентаций.

Выступления студентов на научном семинаре с обзором журнальной статьи по актуальным вопросам в области физики элементарных частиц. В докладе должны быть сформулированы цели проводимого исследования и актуальность данной темы, представлены способы и методы решения поставленной задачи, в заключении должны быть отмечены результаты работы. Студент должен уметь отвечать на вопросы по теме выбранной журнальной статьи.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Научный семинар**

#### **Цель дисциплины:**

формирование у студентов навыков представления результатов научной деятельности в форме семинара или выступления на конференции, а также навыков ведения научной дискуссии.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование знаний и умений, необходимых для успешного представления результатов научной деятельности в области физики квантовых технологий и квантовых вычислений и теоретических исследований по современным актуальным проблемам;
- формирование навыков ведения научной дискуссии.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные методы построения научного доклада.

##### **уметь:**

- сделать доклад по своей работе или по работе, описанной в журнальной статье;
- ответить на вопросы по своему докладу;
- вести/модерировать научную дискуссию.

##### **владеть:**

- аппаратом квантовой механики и статистической физики, экспериментальными методами квантовых измерений.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Новейшие результаты физики квантовых технологий.

Студентам дается задание прочитать научные публикации по тематике, заданной научным руководителем или руководителем семинара. Студент может также самостоятельно найти заинтересовавшую его научную публикацию. Материалы статьи или статей докладываются на семинаре.

## 2. Принципы построения научных докладов и презентаций.

На примерах докладов студентов по материалам рассмотренных научных публикаций анализируются ошибки, допущенные при построении докладов и презентаций. Проводится разбор презентаций.

## 3. Текущий контроль выполнения магистерской работы. Доклады по результатам решения поставленных задач.

Студенты докладывают результаты собственных исследований. Форма доклада – презентация.

## 4. Новейшие результаты физики квантовых технологий.

Студентам дается задание прочитать научные публикации по тематике, заданной научным руководителем или руководителем семинара. Студент может также самостоятельно найти заинтересовавшую его научную публикацию. Материалы статьи или статей докладываются на семинаре.

## 5. Принципы и средства написания научных работ.

На примере докладов по научным публикациям анализируются принципы построения научных публикаций.

## 6. Текущий контроль выполнения магистерской работы. Доклады по итогам выполнения научных работ.

Студенты докладывают результаты, полученные при выполнении магистерской работы. Форма доклада – презентация, построенная на основе подготовленной к публикации или опубликованной статьи.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Нейтронные методы исследования конденсированных сред**

#### **Цель дисциплины:**

освоение студентами фундаментальных знаний в области физики конденсированного состояния, взаимодействия излучения с веществом, формирования нейтронных пучков с заданными характеристиками, разработки и оптимизации установок, предназначенных для исследований материалов методом нейтронного рассеяния.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики конденсированного состояния и физики взаимодействия излучения с веществом как дисциплин, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности в области материаловедения;
- ознакомление студентов с ключевыми проблемами развития материаловедения, тенденциями развития мегаустановок, предназначенных для использования частиц и излучений для структурной диагностики материалов, новыми типами экспериментальных установок на базе импульсных источников нейтронов;
- формирование подходов к оценке возможностей нейтронных пучков для исследования структурных и динамических свойств материалов, диагностики материалов, разработка новых и оптимизация существующих установок в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;



- постановку проблем физического (математического) моделирования кинетических и динамических процессов;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

**уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

**владеть:**

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- математическим моделированием физических задач.

**Темы и разделы курса:**

1. Основные свойства нейтрона.

История открытия нейтрона и исследований его свойств. Физические предпосылки использования нейтронов в физике конденсированного состояния. Особенности взаимодействия нейтронов с веществом. История развития нейтронного рассеяния, основные исторические вехи, нейтронное рассеяние и Нобелевские премии за его развитие.

2. Механизмы рассеяния нейтронов.

Ядерное и магнитное рассеяние нейтронов. Дважды дифференциальное сечение рассеяния нейтронов. Когерентное и некогерентное рассеяние нейтронов.

Преимущества и недостатки рассеяния нейтронов по сравнению с другими видами излучений и частиц (электроны, фотоны, мюоны). Связь энергии с длиной волны для разных типов частиц.

Связь энергии с длиной волны для разных типов частиц и квазичастиц.

Кристаллические структуры. Понятие прямой и обратной решеток. Сфера Эвальда.

Методы исследования квазичастиц при помощи нейтронов.

Роль термодинамических параметров в физике конденсированного состояния. Методика получения высоких давлений, низких и высоких температур, высоких магнитных полей.

### 3. Экспериментальное оборудование для нейтронного рассеяния.

Стационарные и импульсные нейтронные источники. Источники на основе испарительно-скалывающей реакции. Обзор основных источников нейтронов в мире.

Нейтронная оптика. Нейтроноводы на основе никеля. Суперзеркальные нейтроноводы. Нейтронные концентраторы и линзы.

Конструктивные схемы дифрактометров с монохроматорами. Разрешение нейтронных дифрактометров по межплоскостному расстоянию.

Конструктивные схемы дифрактометров с прерывателями пучка. Разрешение нейтронных дифрактометров по межплоскостному расстоянию.

Принцип работы трехосного спектрометра. Импульсное и энергетическое разрешение.

Принцип работы времяпролетного спектрометра. Импульсное и энергетическое разрешение. Спектрометры обратного рассеяния.

Принцип спинового эха и его реализация в современных установках. Энергетическое и угловое разрешение, доступное при помощи спин-эхо метода.

### 4. Структурные исследования.

Эксперименты по исследованию кристаллических структур. Структурные фазовые переходы.

Эксперименты по исследованию магнитных структур. Магнитные фазовые переходы.

### 5. Динамика решётки.

Модели для описания динамики решетки. Понятие о нормальных модах колебаний. Локализованные моды.

Измерение плотности фононных состояний в некогерентном приближении.

Измерений законов дисперсии на трехосных и времяпролетных спектрометрах.

### 6. Поляризованные нейтроны.

Методика разделения ядерной и магнитной составляющей в экспериментальных нейтронных спектрах.

Спиновые фильтры, отражение от магнитных кристаллов.

Поляризационный анализ в нейтронной дифракции и нейтронной спектроскопии.

### 7. Динамика магнитных возбуждений.

Магнитный формфактор. Сечение магнитного рассеяния.

Магнитные экситоны кристаллического электрического поля. Магноны и парамагноны. Спиноны.

#### 8. Развитие нейтронного рассеяния.

Развитие стационарных источников нейтронов и их ожидаемые параметры. Формирование нейтронных пучков. Нейтронно-оптические системы будущего, эллиптические и баллистические нейтронотводы.

Развитие импульсных источников нейтронов и их ожидаемые параметры. Использование нового принципа - мультиплицирования нейтронных импульсов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Нелинейная оптика**

#### **Цель дисциплины:**

– дать студентам базовые знания в области нелинейной оптики – важнейшем разделе современной оптики. Курс ориентирован в основном на подготовку физиков-экспериментаторов, которые могут использовать лазерное излучение для проведения исследований.

#### **Задачи дисциплины:**

– ознакомить студентов с основными механизмами нелинейного взаимодействия света со средами и основными проявлениями нелинейных механизмов при распространении лазерных пучков. При этом слушатели получают необходимые сведения для проведения собственных оценок и расчетов нелинейных эффектов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- перечень основных механизмов нелинейного взаимодействия света со средами;
- классификацию эффектов проявления нелинейного взаимодействия света со средами;
- основные методы количественного описания нелинейных эффектов;
- основные примеры использования нелинейно-оптических явлений в современной лазерной технике и аппаратуре.

##### **уметь:**

- оценивать возможные вклады нелинейных механизмов в реальных лазерных установках и приборах;
- выявлять доминирующие нелинейные механизмы в конкретных условиях работы лазерных установок и приборов;
- предлагать меры по устранению либо усилению нелинейно-оптических эффектов.

##### **владеть:**

- методами оценок и количественного анализа нелинейных явлений в оптических лазерных установках и приборах;
- приемами практического выявления нелинейных эффектов и управления ими в лазерных установках и оптических измерительных схемах.

### **Темы и разделы курса:**

#### 1. Нелинейные механизмы взаимодействия света со средами.

Что нелинейно в нелинейной оптике, принцип суперпозиции для поляризации среды. Нелинейно-оптические явления. Механизмы нелинейного взаимодействия излучения со средами: классификация.

#### 2. Нерезонансные нелинейные явления второго порядка.

Электронные нелинейности, нерезонансное взаимодействие. Описание явлений. Генерация второй гармоники (ГВГ), разделение уравнений. Простейший осциллятор как модель нелинейности, правило Миллера. Замечание о квантовой модели.

Решение уравнений ГВГ. Переход от волнового уравнения к уравнениям для медленных амплитуд. Точный синхронизм, слабое преобразование. Роль расстройки при слабом преобразовании. Точный синхронизм, полная перекачка энергии. Факторы, ограничивающие эффективность преобразования.

Генерация суммарной и разностной частот. Типы синхронизмов. Вторая гармоника как генерация суммарной частоты. Типы синхронизмов. Соотношения Мэнли-Роу.

Оптическое детектирование, генерация терагерцового излучения. Электрооптический эффект. Периодически поляризованные кристаллы.

Параметрическая генерация света. Основные свойства спонтанного параметрического рассеяния света. Параметрическое усиление света.

#### 3. Нерезонансные нелинейные явления третьего порядка.

Электронные нелинейности, нерезонансное взаимодействие. Явления третьего порядка. Две группы кубических нелинейных явлений. Генерация третьей оптической гармоники.

Четырех-волновые смещения в нелинейной оптике. Обращение волнового фронта.

Самофокусировка излучения. Фазовая самомодуляция излучения. Самодифракция излучения.

Нелинейный показатель преломления среды. Роль стрикционного и ориентационного механизмов нелинейности. Наведенное двулучепреломление в средах. Самовращение эллипса поляризации излучения.

Поляризационные эффекты нелинейного показателя преломления. Самовращение эллипса поляризации излучения.

Методы измерения констант нелинейного взаимодействия. Метод возбуждения и зондирования. Метод z-сканирования.

#### 4. Резонансные нелинейные явления.

Электронные нелинейности, резонансное взаимодействие. Полуклассическая модель. Балансные уравнения для населенностей атомов/молекул среды.

Задача о просветлении среды, изменение показателя преломления.

#### 5. Явления вынужденного рассеяния света.

Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР). Спонтанное рассеяние в качестве затравки ВКР. Роль четырехволновых процессов при ВКР.

Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюена (ВРМБ). Спонтанное рассеяние в качестве затравки ВРМБ. ВРМБ как нелинейный процесс третьего порядка. Применение ВРМБ для обращения волнового фронта.

#### 6. Другие нелинейные явления.

Обзор не затронутых тем нелинейной оптики: фоторефрактивные нелинейности, плазменные нелинейности, нелинейность «вакуума».

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Нелинейная оптика**

#### **Цель дисциплины:**

Целью курса является формирование базовых знаний в области нелинейной оптики.

#### **Задачи дисциплины:**

Изучение механизмов возникновения нелинейно-оптических явлений, их роли в современной лазерной физике, их практическим применениям в технике физического эксперимента и серийно выпускаемых лазерных устройствах. Применение полученных знаний для экспериментальных исследований в РФЯЦ-ВНИИЭФ.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- способы приближенных расчетов порогов возникновения таких нелинейных процессов, как генерация гармоник, параметрическое усиление, вынужденные рассеяния, самофокусировка и самодефокусировка света, оптический пробой;
- иметь представление о нелинейной поляризуемости вещества, нелинейных восприимчивостей и фазового синхронизма для различных нелинейно-оптических процессов.

##### **уметь:**

- проводить экспериментальные исследования нелинейно-оптических процессов.

##### **владеть:**

- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;

- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей.
- математическим моделированием физических задач.
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- экспериментальными и теоретическими методами исследования нелинейно-оптических процессов.

### **Темы и разделы курса:**

#### 1. Нелинейная поляризованность диэлектрика.

Волновое уравнение, плоские и гауссовы волны. Распространение волн, показатель преломления. Поляризуемость и восприимчивость среды. Нелинейная восприимчивость. Нелинейное материальное уравнение. Нелинейно-оптическое взаимодействие. Явления, связанные с квадратичной восприимчивостью. Явления, связанные с кубической восприимчивостью. Принцип фазового синхронизма. Преобразование энергии в нелинейных процессах. Соотношение Мэнли – Роу. Волновое уравнение для нелинейной среды. Приближение медленно меняющихся амплитуд и приближение заданного поля. Укороченные уравнения.

#### 2. Генерация второй гармоники.

Распространение света в одноосных кристаллах. Фазовый синхронизм при генерации второй гармоники (ГВГ). ГВГ в расходящемся световом пучке. ГВГ световыми импульсами. Диафрагменный апертурный эффект. Оптические схемы внерезонаторной ГВГ. Оптические схемы внутрирезонаторной ГВГ. Практическая реализация ГВГ.

#### 3. Параметрическая генерация света.

Трехчастотное параметрическое взаимодействие световых волн в квадратично-нелинейной среде. Фазовый синхронизм при трехчастотном параметрическом взаимодействии. Параметрическая люминесценция. Параметрическое усиление. Параметрический генератор света (ПГС).

#### 4. Вынужденное рассеяние света.

Рассеяние света. Вынужденные аналоги. Вынужденное комбинационное рассеяние. Вынужденное рассеяние Мандельштам-Бриллюэна (ВРМБ). Фазовый синхронизм при вынужденных рассеяниях. Комбинационные лазеры и комбинационные усилители.

#### 5. Эффект обращения волнового фронта.

Механизм обращения волнового фронта (ОВФ) при вынужденных рассеяниях. ОВФ при ВРМБ. Условия дискриминации необращенных волн. Экспериментальные схемы измерения качества ОВФ. Применение эффекта обращения волнового фронта. ОВФ слабых пучков при ВРМБ. ОВФ неполяризованного излучения. Обращения волнового фронта при генерации разностной частоты и при четырехволновом взаимодействии.

#### 6. Самовоздействие света.



Самофокусировка и каналирование лазерного излучения. Тепловая дефокусировка. Многофотонное поглощение и многофотонная ионизация. Оптический пробой. Лучевая прочность оптических материалов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Нелинейные волны в космической плазме**

#### **Цель дисциплины:**

Знакомство студентов с основными идеями, методами и результатами в теории нелинейных волновых процессов.

#### **Задачи дисциплины:**

Приобретение студентами способности параметрического анализа нелинейных волновых процессов и выбора подхода для решения конкретных задач в области волновых процессов в космической плазме.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основы теории линейных и нелинейных волновых процессов в магнитоактивной плазме.

##### **уметь:**

анализировать спутниковые данные по измерениям волн и потоков заряженных частиц, формулировать и решать соответствующие волновые задачи.

##### **владеть:**

основными методами и подходами к решению линейных и нелинейных волновых задач физики космической плазмы.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Волны в изотропной плазме

1. Основные характеристики колебательного и волнового движения. Волновое уравнение и плоские волны. Примеры линейных уравнений и их взаимосвязь с дисперсионным уравнением. Основы спектрального анализа реальных волновых спутниковых данных.

2. Волновой пакет и его основные характеристики. Уравнение для амплитуды и фазы пакета. Дисперсия групповой скорости и ее роль в эволюции волнового пакета. Уравнение для комплексной амплитуды волнового пакета с точностью до второго порядка.

3. Линеаризованная система уравнений Больцмана-Власова для изотропной плазмы. Высокочастотные волны в холодной немагнитной плазме. Дисперсионное уравнение, поперечные и продольные (ленгмюровские) волны. Поляризация электромагнитной волны.

4. Геометрическая оптика. Уравнение эйконала и уравнения геометрической оптики на примере поперечных высокочастотных волн в плазме. Пределы применимости геометрической оптики.

## 2. Нелинейные неустойчивости в изотропной плазме

1. Пондеромоторная сила. Нелинейное параболическое уравнение. Самофокусировка мощной электромагнитной волны в плазме.

2. Нелинейный сдвиг частоты в среде – природа возникновения и конкретные примеры. Модуляционная неустойчивость. Критерий Лайтхилла.

## 3. Базовые нелинейные уравнения и их стационарные решения

1. Уравнение КдВ и область его применимости. Законы сохранения для уравнения КдВ. Функция Эйри. Решение задачи Коши для линеаризованного уравнения КдВ и его асимптотика. Стационарные уединенные решения уравнения КдВ : солитоны. Эллиптические функции Якоби. Периодические решения уравнения КдВ.

2. Уравнение Бюргерса, его стационарные и нестационарные решения. Замена Коула-Хопфа. Нелинейное уравнение Шреденгера. Солитонное решение. Уравнение  $\sin$ -Гордон и его решения.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Нелинейные волны**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами фундаментальных знаний в области нелинейных волновых уравнений. Построение стационарных решений - нелинейных периодических решение и солитонов. Освоение приближенными методами решений.

#### **Задачи дисциплины:**

Формирование базовых знаний в областях нелинейных явлений, которые впоследствии позволят студентам проводить исследования нелинейных уравнений, возникающих во всех областях современной физики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Фундаментальные подходы к решению нелинейных физических задач

##### **уметь:**

Находить стационарные решения любых нелинейных волновых задач

##### **владеть:**

Точными и приближенными методами решения волновых нелинейных уравнений

#### **Темы и разделы курса:**

1. Линейные волны

Групповая скорость. Дисперсия. Геометрическая оптика

2. Линейное уравнение КдФ

Точное решение. Примеры: ионный звук в плазме, волны на мелкой воде

3. Простые волны

Опрокидывание. Метод характеристик. Простая волна Римана. Слабые ударные волны

4. Уравнение Бюргерса

Подстановка Коула-Хопфа. Общее решение. Правило площадей

5. Уравнение КдФ

Кноидальные волны. Солитоны

6. Обратная задача рассеяния для КдФ

N-солитонное решение, "хвосты"

7. Представление Лакса

(L, A) пары. Законы сохранения как следствие инвариантности амплитуды прохождения

8. Гамильтонова форма КдФ

Интегрируемость КдФ в классическом смысле

9. Классические уравнения sine-Gordon, НуШ, КП

Стационарные уравнения sine-Gordon, НуШ, КП. Их солитонные решения

10. Условие совместности для операторов U и V

Матричные операторы для КдФ, sine-Gordon, НуШ

11. Метод обратной задачи рассеяния

Матрица рассеяния. Функции Йоста

12. Метод усреднения Уизема

Нелинейное уравнение Klein-Gordon. Инварианты Римана

13. Преобразование Бэклунда

Связь преобразования Бэклунда с обратной задачей рассеяния

14. Нелинейная оптика

Нелинейное параболическое уравнение. Самомодуляция. Фокусировочная неустойчивость. Условие Лайтхилла. Самофокусировка. Коллапс

15. Уравнение Кадомцева-Петвиашвили

Вывод уравнения КП из двумерного дисперсионного уравнения. Двумерные солитоны

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Немецкий язык для научных целей**

#### **Цель дисциплины:**

Формирование и развитие социальных, деловых, межкультурных и профессионально-ориентированных коммуникативных компетенций для решения коммуникативных задач в социокультурной, академической и профессионально-деловой сферах деятельности, а также для развития профессиональных и личностных качеств выпускника.

#### **Задачи дисциплины:**

Сформировать способность обучающегося языковыми средствами решать коммуникативные задачи в различных ситуациях в академической и профессиональной сфере, приобрести знания в широком спектре областей науки, делать глубокий анализ информации и формировать своё мнение как в устной, так и в письменной форме.

Для достижения целей и задач освоения дисциплины, обучающиеся должны овладеть иноязычной общепрофессиональной коммуникативной компетенцией, включающей в себя:

Лингвистическую компетенцию: способность в соответствии с нормами изучаемого языка правильно конструировать грамматические формы и синтаксические построения.

Социолингвистическую компетенцию (способность использовать и преобразовывать языковые формы в соответствии с ситуацией иноязычного общения).

Социокультурную компетенцию: способность учитывать в общении речевое и неречевое поведение, принятое в стране изучаемого языка.

Социальную компетенцию: способность взаимодействовать с партнерами по общению, владение соответствующими стратегиями.

Дискурсивную компетенцию: способность понять и достичь связности отдельных высказываний в значимых коммуникативных моделях.

Стратегическую компетенцию: умение пользоваться наиболее эффективными стратегиями при решении коммуникативных задач.

Предметную компетенцию: знание предметной информации при организации собственного высказывания или понимания высказывания других людей.

Предметно-профессиональную: способность оперировать знаниями в условиях реальной коммуникации с представителями изучаемой культуры, проявление эмпатии, как способности понять нормы, ценности и мотивы поведения представителей иной культуры.

Коммуникативную: способность устанавливать и налаживать контакты с представителями различных возрастных, социальных и других групп родной и иной лингвокультур, возможность быть медиатором между собственной и иноязычными культурами.

Прагматическую компетенцию: умение выбирать наиболее эффективный и целесообразный способ выражения мысли в зависимости от условий коммуникативного акта и поставленной задачи.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- особенности видов речевой деятельности на немецком языке;
- основные фонетические, лексические и грамматические явления и структуры, используемые в устной и письменной речи при общении на немецком языке, их отличие от родного языка для аргументированного и логичного построения высказываний, позволяющих использовать изучаемый язык в повседневной, академической, научной, деловой и профессиональной коммуникации;
- особенности иноязычной академической коммуникации, приемы извлечения и сообщения иноязычной информации в академических целях;
- основы организации письменной коммуникации, типы коммуникативных задач письменного общения и функции письменных коммуникативных средств;
- специфику использования вербальных и невербальных средств в ситуациях иноязычной коммуникации;
- виды и особенности письменных текстов и устных выступлений, общее содержание сложных текстов на абстрактные и конкретные темы, особенности иноязычных текстов, универсальные закономерности структурной организации текста, в том числе узкоспециальных текстов;
- правила использования различных технических средств с целью поиска и извлечения иноязычной информации, основные правила определения релевантности и надежности иноязычных источников, анализа и синтеза информации;
- мировые достижения, открытия, события из области истории, культуры, политики, социальной жизни;
- общие формы организации групповой работы; особенности поведения и интересы других участников; основы стратегического планирования работы команды для достижения поставленной цели;
- стандартные типы коммуникативных задач, цели и задачи деловых переговоров, социокультурные особенности ведения деловых переговоров, коммуникативно-прагматические и жанровые особенности переговоров;
- лексику и терминологию для академического, научного и профессионального общения.

**уметь:**

- понимать и использовать языковые средства во всех видах речевой деятельности на немецком языке;
- вести на немецком языке дискуссии в различных сферах общения: бытовых, социально-культурных, общественно-политических, профессиональных;
- устно реализовать коммуникативное намерение с целью воздействия на партнера по общению начинать, вести/поддерживать и заканчивать диалог-расспрос об увиденном, прочитанном, диалог-обмен мнениями и соблюдая нормы речевого этикета, при необходимости используя стратегии восстановления себя в процессе коммуникации (переспрос, перефразирование и др.);
- извлекать общую и детальную информацию при чтении аутентичных научно-публицистических немецкоязычных текстов;
- сообщать информацию на основе прочитанного текста в форме подготовленного монологического высказывания (презентации по предложенной теме;
- понимать монологические и диалогические высказывания при непосредственном общении и в аудио/видеозаписи;
- понимать коммуникативные интенции полученных письменных и устных сообщений;
- развертывать предложенный тезис в виде иллюстрации, детализации, разъяснения;
- использовать современные информационные технологии для профессиональной деятельности, делового общения и саморазвития;
- передать на русском языке содержание немецкоязычных научных и публицистических текстов в сфере профессиональной деятельности;
- подбирать литературу по теме, составлять двуязычный словарь, переводить и реферировать специальную литературу, подготавливать научные доклады и презентации на базе прочитанной специальной литературы, объяснить свою точку зрения и рассказать о своих планах;
- осуществлять устное и письменное иноязычное общение в соответствии со своей сферой профессиональной деятельности;
- использовать приемы и принципы построения публичной речи для сообщения;
- распознавать и дифференцировать языковые и речевые явления, выделять основную и второстепенную информацию при чтении текстов и восприятии речи на слух, использовать типовые средства устной и письменной коммуникации в межличностном общении; применять адекватные коммуникативные средства в стандартных ситуациях общения на профессионально-ориентированные темы;
- пользоваться графическими редакторами, создавать легко воспринимаемые наглядные материалы;
- описать графическую информацию (круговая гистограмма, таблица, столбиковый и линейный графики); написать короткую статью на заданную тему;



- написать саммари, ревью, краткую статью-совет на предложенную тему;
- реферировать и аннотировать иноязычные профессиональные тексты;
- уметь представлять результаты исследования в письменной и устной форме;
- применять информационно-коммуникативные технологии в общении и речевой деятельности на иностранном языке;
- уметь выявлять и формулировать проблемы, возникающие в процессе изучения иностранного языка; оценивать свои возможности, реалистичность и адекватность намеченных способов и путей достижения планируемых целей.

**владеть:**

- межкультурной профессионально ориентированной коммуникативной компетенцией в разных видах речевой деятельности;
- различными коммуникативными стратегиями: учебными стратегиями для организации своей учебной деятельности; стратегиями рефлексии и самооценки в целях самосовершенствования личных качеств и достижений; стратегиями восприятия, анализа, создания устных и письменных текстов разных типов; Интернет-технологиями для выбора оптимального режима получения информации; разными приемами запоминания и структурирования усваиваемого материала;
- презентационными технологиями для сообщения информации;
- методом поиска и анализа информации из различных источников в профессиональной области;
- навыками аннотирования и реферирования оригинальных научно-публицистических статей;
- приемами оценки и самооценки результатов деятельности по изучению иностранного языка
- приемами выявления и осознания своих языковых возможностей, личностных и профессионально-значимых качеств с целью их совершенствования;
- умением понимать речь носителей языка в высоком темпе и адекватно реагировать с учетом культурных норм международного общения;
- умением создавать ясные, логичные высказывания монологического и диалогического характера в различных ситуациях бытового и профессионального общения, пользуясь необходимым набором средств коммуникации;
- приемами публичной речи и делового и профессионального дискурса на немецком языке.

**Темы и разделы курса:**

1. Тема 1. Гибкие навыки

Социальный и эмоциональный интеллект. Личные и социальные навыки. Отношения с самим собой. Навыки и способности распознавать эмоции, понимать намерения, мотивацию и желания других людей и свои собственные, управление эмоциями в целях решения практических задач. Внутренняя гармония. Самопознание. Саморегуляция. Мотивация. Эмпатия. Креативность. Коммуникабельность. Корпоративность. Критичность. Основные характеристики успешного человека. Успешность личности. Преодоление трудностей.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: строить логические высказывания о личных и социальных навыках, описывать различные ситуации с использованием иллюстраций; использовать в общении и уметь интерпретировать афоризмы; рассуждать о способах достижения успеха, возможностях развития внутреннего потенциала, жизненных перспективах, смысловом наполнении жизни, формировании ответственности, взятой на себя добровольно; рассказывать о способах самосовершенствования.

## 2. Тема 2. Коммуникация в современном мире

Коммуникация в обществе. Культура общения, основанная на общих ценностях: честности, уважении, взаимном доверии. Виды и формы коммуникации. Средства коммуникации. Социальные сети.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: осуществлять поиск, получение, передачу и обмен информацией, применять в практической деятельности различные типы информационных сообщений: высказывания, тексты, изображения, звуковое сообщение, сигналы, знаки, сообщения в форуме, ведение дискуссии, выражение собственного мнения, реферирование текста, описание иллюстраций; аргументированного эссе.

## 3. Тема 3. Экология, природа, общество

Современные экологические проблемы. Взаимодействие природы и общества. Защита окружающей среды. Биосфера и человек. Экологическое сознание.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: вести

обмениваться мнениями о роли экологии и отношении к природе современного человека; рассуждать о зависимости общественного здоровья от факторов окружающей среды; обсуждать влияние экологических факторов среды на поколение будущего; составлять описательные эссе по тематике; делать выводы, формулировать мнение о роли общества для сохранения естественной среды обитания на планете.

#### 4. Тема 4. Социально-этические вопросы в науке, промышленности, потреблении

Глобализация потребления и социальные последствия. Наука в целях устойчивого развития. Производство и потребление. Осознанное потребление. Принципы и стратегии минимализма. Потребительская культура. Потребление, как новая форма контроля в обществе.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах:

обсуждать проблемы глобализации потребления для удовлетворения потребностей личности, общества, государства, выразить аргументированное мнение о роли науки и влиянии развития экономики на потребительское отношение к окружающему миру, обсуждать социально-этические вопросы и социальные последствия потребительского образа жизни.

#### 5. Тема 5. Новый цифровой мир

Глобальные технологические процессы, связанные с цифровизацией. Цифровые технологии - Интернет вещей. Цифровой мир науки и бизнеса. Погружение в цифровой мир. Безопасные гаджеты. Молодые хакеры. Влияние цифрового мира на восприятие жизни современного человека.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах: уметь осуществлять поиск необходимой информации по теме; готовить сообщения по теме; излагать собственные суждения о преимуществах, ограничениях и перспективах использования цифровых технологий, и их возможностях; участвовать в групповой дискуссии; обмениваться мнениями о технологических инновациях для решения различных задач с применением технических средств цифрового мира; составлять эссе-рассуждение по предложенной тематике.

#### 6. Тема 6. Индустрия 4.0: на пути к "цифровым" производствам

Интеграции и сотрудничество с использованием цифровых технологий и ростом гибкости в организации работы. Трансформация секторов экономики и видов деятельности и её влияние на занятость. Создание новых рынков и новых форм работы через цифровые платформы. Проблемы, связанные с большими данными информации. Взаимосвязь между использованием человеческого и машинного труда (обесценивание опыта, индивидуальная поддержка). Возможность гибких условий работы в отношении времени и местоположения. Глубокие изменения в структурах организаций.

Коммуникативные задачи: осуществлять коммуникацию в устной и письменной формах:

дискутировать о гибкости в организации работы в условиях концепции Работа 4.0; рассуждать о трансформации секторов экономики и её влияние на занятость и виды деятельности в мире труда; распознавать потребности и интересы собеседника и отталкиваться от них в процессе диалога; делать сообщения о создании новых рынков и новых форм работы через цифровые платформы; выражать свою точку зрения, конструктивно высказываться о взаимосвязи между использованием человеческого и машинного труда; делать сообщения о выборе стратегии гибких условий работы; уметь обосновывать выбранную стратегию; подготовка сообщения по предложенной теме.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Неравновесная диаграммная техника**

#### **Цель дисциплины:**

формирование знаний и умений, необходимых для проведения теоретических исследований с использованием таких методов, как неравновесная диаграммная техника, техника Келдыша, квантовое кинетическое уравнение и др. в различных областях современной физики.

#### **Задачи дисциплины:**

- Формирование у обучающихся знаний о современных задачах, связанных с описанием поведения квантовых систем вдали от состояния равновесия
- Обучение студентов методам, используемым при описании различных квантовых неравновесных явлений
- Формирование умений и навыков применять полученные знания для решения задач при помощи неравновесной диаграммной техники, техники Келдыша и других подходов, рассматриваемых в данном курсе

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Основные подходы и проблемы возникающие при описания квантовых систем вдали от состояния равновесия;
- Основные понятия курса: матрица плотности, функции Грина, неравновесная диаграммная техника, квантовое кинетическое уравнение, функционал влияния, стохастическое дифференциальное уравнение, флуктуационно-диссипативная теорема, обобщенный Гиббсовский ансамбль;
- Смысл применяемых в курсе методов.

##### **уметь:**

- Применять обсуждаемые в рамках курса подходы к решению задач;
- Анализировать применимость описанных методов к описания тех или иных неравновесных явлений.

**владеть:**

- Теоретическим и понятийным аппаратом физики неравновесных систем.

**Темы и разделы курса:**

1. Эволюция в квантовой механике. Методы вычисления кинетических характеристик.

Квантовая кинетика и квантовая статистика. Оператор эволюции. Эволюция чистых и смешанных состояний. Слабо и сильно неравновесные состояния. Линейный и нелинейный отклик системы. Понятие о кинетических коэффициентах.

2. Основы построения диаграммной техники для неравновесных процессов в операторном подходе.

Понятие о контуре Келдыша. Удвоение числа полей. Построение теории возмущений.

3. Функции Грина-Келдыша.

Построение функций Грина-Келдыша. Их свойства симметрии и соотношения между ними. Случай теплового равновесия.

4. Правила вычисления диаграмм для разного типа взаимодействий.

Правила вычисления диаграмм для разного типа взаимодействий. Причинность и зануление ряда диаграмм.

5. Связь уравнений для функций Грина с кинетическим уравнением. Информация, которая содержится в функциях Грина-Келдыша.

Связь уравнений для функций Грина с кинетическим уравнением. Информация, которая содержится в функциях Грина-Келдыша. Преобразование Вигнера.

6. Уравнения на функции Грина-Келдыша.

Уравнения на функции Грина-Келдыша. Суммирование одночастично-неприводимых диаграмм.

7. Собственно-энергетическая часть и уравнение Дайсона.

Собственно-энергетическая часть. Уравнение Дайсона для разного типа взаимодействия. Вывод кинетического уравнения из уравнения Дайсона.

8. Примеры простых вычислений кинетических характеристик с помощью неравновесной диаграммной техники.

Примеры простых вычислений кинетических характеристик с помощью неравновесной диаграммной техники. Пример туннельных контактов. Использование неравновесной диаграммной техники для их описания.

9. Пространственно-неоднородные неравновесные состояния.

Пространственно-неоднородные неравновесные состояния. Квазиравновесные и стационарные неравновесные состояния.

10. Связь техники Келдыша с теорией линейного отклика и температурной диаграммной техникой.

Связь техники Келдыша с теорией линейного отклика и температурной диаграммной техникой. Вычисление функций линейного отклика в рамках техники Келдыша.

11. Некоторые нерешенные проблемы.

Некоторые нерешенные проблемы описания неравновесных состояний в реальных системах.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Новости компьютерного моделирования биосистем**

#### **Цель дисциплины:**

Ознакомление студентов с актуальными новостями, достижениями, методами "сухой" биологии.

#### **Задачи дисциплины:**

- изучение основ компьютерной биологии;
- изучение современных методов компьютерной биологии;
- изучение методов и результатов анализа генетических и белковых баз данных в поисках следов эволюции;
- изучение методов и результатов структурного моделирования биологических молекул, позволяющее предсказать строение неизвестного рецептора или фермента, изучить их взаимодействия, найти потенциальное будущее лекарство и даже сконструировать никогда не существовавший в природе белок.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные возможности и ограничения современных методов моделирования биомолекулярных систем.

##### **уметь:**

понимать, что возможно (реалистично) смоделировать *in silico*, а для чего безусловно требуется лабораторный эксперимент.

##### **владеть:**

навыками поиска научной литературы и извлечения из нее информации по моделированию биомолекул.

#### **Темы и разделы курса:**



## 1. Введение в компьютерное моделирование биомолекул

Понятие *in silico* — компьютерного эксперимента. Иерархия методов физического моделирования биологических систем. Обзор курса.

## 2. Разнообразие, строение и методы исследования белков

Предметная база курса — основные типы биомолекул. Строение и роль белковых молекул. Примеры, разнообразие. Основные методы структурного исследования белков. Роль экспериментальных и компьютерных подходов: где они смыкаются, где дополняют друг друга.

## 3. Биоинформатика: "текстовая" и "структурная". Работа с последовательностями, мотивами, базами данных

Работа с последовательностями, мотивами, базами данных. Понятие о «сухой» (*in silico*) биологии. Геномная биоинформатика. Структурная биоинформатика. Принципы работы с последовательностями: поиск, хранение, построение аминокислотных выравниваний. Принципы организации трехмерных данных для структуры белков. Форматы файлов, соответствующие базы данных.

## 4. Моделирование по гомологии. Шаблоны. Вариабельность, амфифильность. Фолдинг

Принципы белковой эволюции, сходство между последовательностями и структурами биополимеров. Понятие гомологии. Методика сопоставительного моделирования. Способы оценки качества получаемых 3D-моделей белков.

## 5. Молекулярный докинг

Роль межмолекулярных взаимодействий в молекулярной биологии. Принципы таких взаимодействий: «слабые» силы в молекулярной биологии. Почему для моделирования взаимодействий требуются отдельные подходы? Виртуальный скрининг, применения. Докинг. Разновидности и ограничения. Практическое применение.

## 6. Метод эмпирических силовых полей. Молекулярная динамика. Метод Монте-Карло

Какая физика лежит в основе структурного моделирования биомолекул? Отличия от квантовой механики и полуэмпирических методов. История разработки и развития силовых полей. Современное состояние. Методы МД и МК: их современные реализации и передний край моделирования.

## 7. Моделирование биомембран вообще, бактерий (+липид-2) и архей (болалипиды)

Роль биомембраны в живых системах. Строение, разнообразие, уникальные характеристики мембран разных доменов живого. Способы моделирования биомембран. Приложения.

## 8. Компьютерный дизайн белков + Белковая топография

Современные приложения компьютерного моделирования. Белковый дизайн — приоритетное направление биотехнологий будущего. Примеры использования программы Rosetta для белкового дизайна.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Новые квантовые материалы**

#### **Цель дисциплины:**

Цель курса – дать представление об актуальных задачах в области создания и исследования новых важных материалов, а также о возможных приложениях этих материалов. Студенты должны освоить фундаментальные знания в области теории и приложений таких материалов, как графен и другие двумерные структуры родственные графену, топологические диэлектрики и сверхпроводники.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики конденсированного состояния, как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков;
- формирование базовых знаний в области физического материаловедения;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области физики современных материалов в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные свойства графена и других двумерных материалов, топологических материалов, новых сверхпроводников, полуметаллов и представлять современное состояние проблем физического материаловедения.

##### **уметь:**

пользоваться базовым математическим аппаратом, ориентироваться в современной научной литературе по проблеме

##### **владеть:**

знаниями основ квантовой физики конденсированного состояния и знаниями о современном состоянии проблемы

## Темы и разделы курса:

### 1. Графен

Графен. Кристаллическая структура. Конуса Дирака. Киральность. Парадокс Клейна. Дираковский спектр. Причины, по которым возникает дираковский спектр в кристаллах: специфическая симметрия решетки, сильное спин-орбитальное взаимодействие. Spin-momentum locking. Квантование Ландау и квантовые осцилляции в дираковских системах: отличие от «обычных» электронных систем.

### 2. Графен, продолжение

Однослойный и двухслойный графен (структуры типа AB, AA, скрученный). Киральность и долинный индекс. Особенности квантования Ландау и квантового эффекта Холла в однослойном графене и двухслойном графене. Электрон-электронное взаимодействие, волны спиновой и зарядовой плотности, параметры порядка.

### 3. Обзор существующих двумерных систем

Обзор физических свойств существующих (ван-дер-ваальсовских) двумерных систем. Общие свойства. Электронные свойства. Перспективы и применения.

### 4. Топологические материалы

Топологические материалы. Основные понятия. Зачем нужна топология в физике. Топологические (квантовые) фазовые переходы. Основные математические понятия: фаза Берри, кривизна и связность Берри, числа Черна. Роль симметрии.

### 5. Топологические диэлектрики

Топологические диэлектрики двумерные и трехмерные. Роль киральной симметрии. Адиабатическая связность. Топологические дефекты. Топологически защищенные краевые состояния.

### 6. Топологические диэлектрики, продолжение

Примеры существующих топологических диэлектриков. Основные свойства. Роль спин-орбитального взаимодействия.

Транспортные свойства топологических диэлектриков. Аномальная скорость. Минимальная проводимость. Топологический магнитоэлектрический эффект. Магнитные монополи. Аномальное анизотропное магнитосопротивление. Квантовый аномальный эффект Холла. Спиновые токи.

### 7. Топологические сверхпроводники

Топологические сверхпроводники. Симметрии и многокомпонентность параметра порядка. Сверхпроводимость, возникающая из-за эффекта близости на поверхности топологического диэлектрика. Сверхпроводимость в материале с сильным спин-орбитальным взаимодействием, сверхпроводимость в объеме допированного топологического диэлектрика. Нематическая сверхпроводимость. Сверхпроводимость в графене, в том числе в скрученном двухслойном графене.

### 8. Топологические сверхпроводники, продолжение

Фермион Майораны в теории поля и физике конденсированного состояния. Возможные физические реализации фермиона Майораны в топологических сверхпроводниках. Экспериментальные наблюдения фермиона Майораны.

#### 9. Топологические полуметаллы

Вейлевские полуметаллы. Дираковские полуметаллы. Последние достижения (краткий обзор).

#### 10. Системы с фазовым расслоением

Системы с фазовым расслоением. Роль нестинга, многозонности и сильных электрон-электронных корреляций. Системы со спин-поляризованными электронами (half-metals).

#### 11. Обзор последних достижений в области создания новых материалов

Обзор последних достижений в области создания новых материалов, который будет дан по состоянию текущей литературы. В частности, будут освещены последние достижения в области физики и приложений графена и сверхпроводников.

#### 12. Материалы для квантовых компьютеров

Джозефсоновские кубиты. Перспективы применения кубитов с майорановскими модами (топологически защищенные квантовые вычисления). Возможное использования топологических материалов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Обзор материалов и устройств нано- и оптоэлектроники**

#### **Цель дисциплины:**

- ознакомление с современным состоянием исследований и разработок в области опто- и наноэлектроники.

#### **Задачи дисциплины:**

- познакомить студентов с основными идеями и техническими решениями в этой области, с постановкой задач и исследовательскими подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные понятия по теме дисциплины, ключевые количественные соотношения.

##### **уметь:**

пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### **владеть:**

математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Сверхпроводящая спинтроника.

- основные соотношения, заложенные в основу функционирования устройств спинтроники

- особенности сверхпроводящей спинтроники

- примеры реализации устройств
- важнейшие технологии устройств

## 2. Терагерцовые устройства.

- особенности терагерцового излучения
- генерация терагерцового излучения, основные типы источников
- детекторы терагерцового излучения
- терагерцовые сенсоры

## 3. Устройства электроники на основе сверхпроводящих материалов.

- гетероструктуры на основе нормальных и сверхпроводящих металлов
- гетероструктуры на основе ферромагнитных и сверхпроводящих металлов
- важнейшие технологии создания наноразмерных гетероструктур
- принципы и алгоритмы сверхпроводящей цифровой однокубитной электроники
- примеры реализации устройств

## 4. Сверхпроводящие кубиты.

- когерентные сверхпроводящие структуры на основе субмикронных джозефсоновских переходов
- типы сверхпроводящих кубитов
- методы микроволнового манипулирования квантовыми состояниями кубитов
- времена когерентности кубитов, основные источники декогерентности
- детектирование дефектных зарядовых двух-уровневых систем

## 5. Квантовая оптика сверхпроводящих кубитов.

- сверхпроводящий кубит как искусственный атом
- спектр сверхпроводящего кубита, ангармонизм
- реализация лазерного эффекта и других эффектов квантовой оптики с помощью сверхпроводящих кубитов (искусственных атомов)
- резонансная флюоресценция на искусственном атоме – сверхпроводящем кубите

## 6. Одноэлектронные устройства.

- явление кулоновской блокады

- одноэлектронный бокс и одноэлектронный транзистор
- явления в сверхпроводящих туннельных контактах с большой кулоновской энергией
- блоховские осцилляции и стандарт тока на сверхпроводящих туннельных переходах

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Общая геология**

#### **Цель дисциплины:**

Знакомство студентов с устройством земной коры и процессами, протекающими в ней.

#### **Задачи дисциплины:**

1. Обучение студентов основам общей геологии как науки о строении Земли и процессах в ней протекающих.
2. Обучение студентов основам структурной геологии, знакомство с основными типами геологическими структур земной коры.
3. Обучение студентов основам литологии, минералогии и петрографии.
4. Знакомство студентов с исторической геологией.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основы общей и структурной геологии, минералогии, литологии и петрографии, основные периоды развития земной коры, закономерности и свойства формирования горных пород и структур.

##### **уметь:**

- различать различные виды и подвиды структур земной коры, различать горные породы и их физические свойства, релевантные для поиска и разведки твердых полезных ископаемых.

##### **владеть:**

- методами структурной геологии и петрографии, основами исторической геологии.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Общая геология



В этой части курса студенты получают введение в основные принципы геологии. Лекции будут охватывать геологические процессы, формирование месторождений, основные типы руд и минералов, а также методы исследования земной коры.

## 2. Структурная геология

Этот раздел курса сосредотачивается на изучении основных типов структур земной коры, в первую очередь - приуроченных к месторождениям руд и металлов. Лекции представят студентам основные принципы структурной геологии, включая деформации горных пород, складки, разломы и другие структурные особенности, которые имеют отношение к месторождениям.

## 3. Основы минералогии, литологии и петрографии

В этой части курса студенты будут изучать минералы и горные породы, особенно те, которые связаны с рудами и металлами. Лекции покажут студентам разнообразие рудных минералов, их характеристики, особенности образования в условиях земной коры. Также будут рассмотрены процессы метаморфизма и магматической активности, которые могут быть связаны с образованием рудных месторождений.

## 4. Историческая геология

В этой части курса студенты узнают об истории Земли и её развитии. Лекции будут охватывать геологическую временную шкалу, исторические изменения в земной коре, а также особенности образования металлических руд и их распределения на протяжении геологической истории.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Организация мероприятий образовательной направленности**

#### **Цель дисциплины:**

Формирование у слушателей системного методического подхода к организации мероприятий образовательной направленности, в том числе выездных олимпиадных школ. Формирования базового понимания законодательства РФ в сфере договорного и финансового документа оборота. Разработка каждым участником курса полноценного проекта мероприятия образовательной направленности, который впоследствии может быть реализован.

#### **Задачи дисциплины:**

- привить слушателям понимание роли грамотной организации мероприятий образовательной направленности, в том числе олимпиадных школ, для эффективного решения образовательных задач различной сложности;
- познакомить слушателей с основами и методами планирования этапов олимпиадной школы и прочих мероприятий образовательной направленности;
- сформировать навыки формулирования задач для индивидуальной и совместной деятельности, направленной на организацию мероприятий образовательной направленности различного уровня;
- обучить применению инновационных образовательных технологий и методик для организации мероприятий образовательной направленности;
- привить навыки правильного оформления документации, необходимой для работы над различными образовательными проектами.
- сформировать базовое понимание навыков и компетенций необходимых потенциальным участникам орг. штаба образовательных мероприятий.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- принципы грамотной организации мероприятий образовательной направленности, в том числе выездных школ;
- методы планирования этапов общей структуры мероприятий образовательной направленности, в том числе выездных школ;

- законодательные нормативы по оформлению документооборота, связанного с проведением мероприятий образовательной направленности, в том числе выездных школ.

**уметь:**

- применять инновационные технологии и методики для организации мероприятий образовательной направленности;
- формулировать задачи для индивидуальной и совместной деятельности, направленной на организацию мероприятий образовательной направленности;
- понимать необходимые компетенции потенциальных членов орг. штаба мероприятий образовательной направленности.

**владеть:**

- навыками формирования проектно-сметной документации, для организации мероприятий образовательной направленности;
- навыками составления и оформления договор и контрактов, необходимых для проведения различных мероприятий образовательной направленности;
- актуальными сервисами, упрощающими организацию различных этапов мероприятий образовательной направленности.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение. Разновидности массовых мероприятий

Разновидности массовых образовательных мероприятий.

2. Модуль 1. Организация УТС

Учебно-тренировочные сборы (УТС). Типы и форматы.

Охрана здоровья и жизнедеятельности сотрудников и участников УТС

Организация УТС. Набор участников, взаимодействие с уполномоченными органами, закупка необходимых материалов, оформление сотрудников.

Составление учебной программы сборов и организация учебного процесса.

Организация развлекательных мероприятий на УТС (ежедневные мероприятия)

Виды юридических лиц в контексте налоговой системы РФ.

Проектно-сметная документация УТС. Финансовое планирование. Риски.

Изучение и анализ площадок Москвы и Подмосковья, пригодных для проведения УТС.

Разработка и сдача мини-проекта УТС (60 участников, письменно)

3. Модуль 2. Организация олимпиад

Олимпиады разных уровней (ВсОШ, IEPHO, турниры).

Различия в организации международных и не международных олимпиад

Организация развлекательных мероприятий во время олимпиады (отдых + открытие/закрытие)

Финансовое планирование Олимпиад. Риски.

Изучение и анализ площадок Москвы и Подмосковья, пригодных для организации Олимпиад.

Разработка и сдача мини-проекта Олимпиады (120 участников, письменно)

4. Модуль 3. Организация online-мероприятий

Online-образование

Финансовое планирование и логистика.

Разработка и презентация структуры образовательного online-ресурса (устно).

5. Модуль 4. Учебный тренинг и защита проекта

Составление договоров на проведение культурно массового мероприятия.

Презентация проекта Олимпиады+УТС с защитой и ответами на вопросы команды оппонентов. (Игровая форма на 2-3 команды)

Защита проекта, включающего элемент из каждого изученного блока.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Основы лазерной спектроскопии**

#### **Цель дисциплины:**

- изучение современных методов спектроскопии с использованием лазеров, с акцентом на те методы, которые до появления лазеров были невозможны. Важность данного курса продиктована необходимостью в подготовке для высшей школы, научных учреждений и промышленности высококвалифицированных специалистов в области современной оптики и спектроскопии, которая немыслима без использования продвинутых лазерных методов.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у студентов знаний по основам теории взаимодействия лазерного излучения с веществом, понимания места многочисленных современных экспериментальных методов, способности самостоятельно ставить и решать конкретные исследовательские задачи.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные концепции, лежащие в основе применения лазерного излучения в спектроскопии различных объектов, теорию фундаментальных процессов в спектроскопии, а также основные методы, демонстрирующие такие качества, как сверхвысокая чувствительность, сверхвысокая селективность, сверхвысокое спектральное разрешение, сверхвысокое временное разрешение.

##### **уметь:**

- выбирать адекватный метод для решения конкретной физической задачи.

##### **владеть:**

- математическим аппаратом в той мере, которая позволяет получать решение конкретной практической задачи исходя из первых принципов и основных уравнений фундаментальных дисциплин,

- в основном, квантовой механики и электродинамики.

## Темы и разделы курса:

### 1. Спонтанное излучение.

Скорость спонтанного распада. Метастабильные состояния. Спектр спонтанного излучения. Эффект Доплера и эффект отдачи. Особенности спектра при каскадных переходах с близкой частотой.

### 2. Индуцированное излучение и поглощение.

Коэффициенты Эйнштейна. Сечение индуцированных переходов. Форма линии поглощения. Кинетика индуцированных переходов. Населённости уровней в стационарном режиме.

### 3. Правила отбора для излучения и поглощения.

Электродипольное приближение. Правила отбора по четности и угловому моменту. Приближенные правила отбора для атомов и молекул. Примеры слабых переходов. Двухфотонный распад  $2s$ -состояния в атоме водорода.

### 4. Когерентное излучение атомного ансамбля.

Суперпозиционные состояния. Макроскопическая поляризация. Интенсивность и фаза когерентного излучения. Дифракционная расходимость. Сверхизлучение Дике.

### 5. Когерентное возбуждение.

Приближение вращающейся волны (резонансное приближение). Уравнения для амплитуд вероятности. Осцилляции Раби в случае точного резонанса.  $\pi/2$ - и  $\pi$ -импульс. Векторная модель. Адиабатическое следование при большой отстройке частоты поля от частоты перехода. Инвертирование населённости при свипировании частоты поля через резонанс.

### 6. Квазиэнергия.

Решения уравнения Шредингера с гамильтонианом, периодически зависящим от времени. Квазиэнергетические состояния. Неоднозначность квазиэнергии. Спектр и скорости спонтанных переходов между квазиэнергетическими состояниями. Реальное и виртуальное возбуждение.

### 7. Совместное описание возбуждения и релаксации.

Кинетические уравнения, описывающие релаксацию населённостей. Матрица плотности. Релаксация недиагональных элементов. Чисто фазовая релаксация. Уравнения Блоха для элементов матрицы плотности. Модель "атом-термостат". Модель "атом-буфер". Переход от когерентного возбуждения к некогерентному. Особенности описания при наличии переходов с близкими частотами.

### 8. Многофотонный резонанс.

Эффективная двухуровневая система. Штарковский сдвиг уровней. Оптимальная частота поля. Многофотонная частота Раби. Адиабатическое инветирование населённости. Бигармоническое возбуждение. Когерентное пленение населённости. Отличие многоступенчатого возбуждения от многофотонного.

### 9. Спонтанное и вынужденное рассеяние.

Упругое рассеяние. Комбинационное (рамановское) рассеяние (КР). Правила отбора. Альтернативный запрет. Стоксово и антистоксово КР. Сечение рассеяния. Резонансное КР. Гиперкомбинационное рассеяние. Вынужденное КР (ВКР). Усиленное ВКР.

#### 10. Когерентное рассеяние.

Суперпозиционные состояния на комбинационном (или двухфотонном) переходе. Макроскопическая комбинационная (или двухфотонная) поляризация. Стоксова и антистоксова компоненты когерентного рассеяния при наличии комбинационной поляризации. Условие согласования фаз. Когерентное антистоксово рассеяние света (КАРС). Задержанное КАРС. Четырехволновое смешение. Отражение бегущей волны от стоячей (обращение волнового фронта). Трехволновое смешение в нецентросимметричных средах. Генерация суммарной и разностной частот. Генерация гармоник.

#### 11. Фотонное эхо.

Необходимые условия возникновения фотонного эха. Двухимпульсное эхо. Векторная модель. Отсутствие эха для гармонического осциллятора. Двухимпульсное эхо в трёхуровневой системе. Варианты трёхимпульсного эха. Индуцированное (стимулированное) эхо. Использование фотонного эха для измерения релаксационных процессов.

#### 12. Сверхчувствительное детектирование.

Применения в задачах атомной, молекулярной и ядерной физики, аналитической химии, геохимии, контроля окружающей среды, биологии и медицины. Проблема детектирования единичных атомов и молекул. Спектроскопия возбужденных состояний. Дистанционное зондирование. Лидары.

#### 13. Флуоресцентная спектроскопия.

Квантовый выход флуоресценции. Измерение спектров одно- и двухфотонного возбуждения. Измерение спектров флуоресценции. Предельная чувствительность метода при циклическом взаимодействии. Детектирование одиночных атомов. Наблюдение квантовых скачков. Наблюдение одиночных молекул в матрицах. Особенности флуоресцентного метода в инфракрасном (ИК) диапазоне. Ап-конверсия.

#### 14. Фотоионизационная спектроскопия.

Основные схемы возбуждения. Эффективные способы фотоионизации из возбужденных состояний атомов. Использование автоионизационных состояний. Использование ридберговских состояний. Детектирование одиночных атомов. Спектроскопия редких радиоактивных изотопов. Десорбционно-фотоионизационная спектроскопия с использованием времяпролетной масс-спектрометрии. Увеличение квантового выхода фотоионизации молекул при использовании ультракоротких лазерных импульсов.

#### 15. Абсорбционная спектроскопия.

Стационарное поглощение. Измерение пропускания. Многопроходные кюветы. Внутррезонаторный метод. Квантовый шум и предельная чувствительность абсорбционной спектроскопии. Измерение слабого сигнала на сильном фоне как основная принципиальная трудность.

#### 16. Другие методы спектроскопии возбуждения.

Оптермический метод. Опторифракционные методы. Тепловая линза. Фазочувствительное детектирование. Оптоакустический метод. Оптогальванический метод. Фотоотклонение.

17. От некогерентных методов к когерентным.

Регистрация когерентного излучения на долгоживущих (в частности, ИК) переходах. Гетеродинамирование сигнала. Детектирование в плазмах, флуоресцирующих средах и плазме. Чувствительность метода КАРС по сравнению со спонтанным КР. Когерентное гипер-КР для измерения спектров "молчащих" колебательных мод в молекулах.

18. Спектроскопия высокой селективности.

Дифференцирование спектра как общий метод подавления широкого бесструктурного неселективного резонансного фона. Интерферометрия. Частотная модуляция. Штарковская спектроскопия. Магнитный резонанс. Поляризационная спектроскопия. Фарадеевская спектроскопия. Применение методов дифференцирования спектра в задачах абсорбционной спектроскопии и спектроскопии усиленного ВКР. Стробирование во времени как общий метод подавления нерезонансного неселективного фона. Задержанная флуоресценция. Задержанное КАРС.

19. Исключение спектральной неоднородности.

Измерение однородного уширения линии; измерение фундаментальной частоты перехода; обнаружение структуры, скрытой неоднородным уширением. Методы двойного резонанса. Эффект Ханле. Метод квантовых биений. Применения фотонного эха.

20. Селективность по элементам, соединениям, хромофорам и окружению.

Задача селективного детектирования малых концентраций в присутствии фона с близко расположенными линиями поглощения. Использование дополнительных селективных процессов: многоступенчатое возбуждение, масс-спектрометрия, хроматография. Создание искусственного изотопического сдвига при ускорении пучков. Применение резонансного КР для селективного детектирования хромофоров. Неоднородное уширение спектров молекул в конденсированной фазе. Фотохимическое выжигание провалов. Генерация 2-ой гармоники на поверхности.

21. Спектроскопия высокого спектрального разрешения.

Общие цели получения узких резонансов. Прецизионные измерения спектроскопических постоянных. Сверхтонкая и изотопическая структура. Исследование эффектов Штарка и Зеемана. Измерение Лэмбовского сдвига. Измерение физических постоянных. Лазерная метрология. Стандарты частоты. Применение атомных и молекулярных пучков, охлажденных молекулярных струй. Сужение распределения по скоростям при ускорении пучков. Лазерное охлаждение ионов в ловушках. Замедление и охлаждение атомных пучков резонансным световым давлением. Лазерные ловушки для атомов. Методы получения бесфонных линий в конденсированной фазе.

22. Субдоплеровская спектроскопия.

Приложение общих методов исключения спектральной неоднородности. Узкие резонансы в спектроскопии насыщения. Лэмбовский провал. Узкий резонанс в стоячей волне на двухфотонном переходе.

23. Метод разнесенных световых полей.



Пролетное уширение линий. Схема Рамзи для устранения пролетного уширения. Идея Рамзи в сочетании с методами когерентной спектроскопии. Узкий резонанс эхо-сигнала когерентного излучения в результате пролета через разнесенные световые лучи.

#### 24. Спектроскопия временного разрешения.

Наблюдение динамики в реальном времени и задачи атомной и молекулярной спектроскопии, химической физики, физики конденсированных сред, биофизики. Релаксация отдельных состояний. Измерение времен жизни. Применение когерентных эффектов. Индуцированное фотонное эхо. Вращательная и колебательная релаксация в молекулярных газах, передача возбуждения. Применение методов двойного резонанса. Релаксация поляризации. Задачи, требующие пикосекундного и субпикосекундного временного разрешения. Релаксация электронного возбуждения в молекулах и конденсированных средах. Молекулярная динамика. Мономолекулярный распад. Внутримолекулярная релаксация колебательной энергии. Спектроскопия и диагностика короткоживущих фрагментов и промежуточных состояний. Перенос энергии и диффузия в конденсированных средах. Стадии фотостимулированных превращений в биологических системах. Фотосинтез. Многообразие применяемых методов: флуоресцентная, фотоионизационная и абсорбционная спектроскопия, спектроскопия КР, когерентная спектроскопия. Ультракороткие лазерные импульсы.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Основы лазерной физики**

#### **Цель дисциплины:**

освоение студентами фундаментальных и прикладных знаний в области физики лазеров.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области квантовых генераторов электромагнитного излучения, процессов распространения и преобразования когерентного излучения в оптических системах и передающих средах;
- обучение студентов принципам работы, создания и использования новейших квантовых устройств, а также выявлению особенностей их функциональных характеристик;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области электрофизики, оптики когерентного излучения, в рамках выполнения работ в лабораториях базовых предприятий.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

принципы работы квантовых источников электромагнитного излучения;

свойства когерентных световых пучков;

основные теоретические и экспериментальные методы, используемые в области физики лазеров;

результаты открытий и исследований, определивших пути развития квантовой и нелинейной оптики, физики взаимодействия излучения с веществом.

##### **уметь:**

проводить самостоятельно и в коллективе экспериментальные или теоретические исследования по физике лазеров;

осуществлять процедуру измерения физических величин и правильно оценивать степень их достоверности;

анализировать и обобщать результаты экспериментальных исследований;  
видеть и оценивать основные проблемы и ставить новые задачи.

**владеть:**

методикой экспериментальной работы с современными источниками излучения и приборами регистрации их характеристик;

основными приемами проведения модельных расчетов;

навыками представления своих результатов на семинарах и конференциях;

навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;

правилами написания научных статей.

**Темы и разделы курса:**

1. Принцип работы и устройство лазера

Принципиальная схема лазера. Инверсия заселенностей. Трехуровневая и четырехуровневая схемы лазерной генерации.

Балансные уравнения генерации. Пороговые условия и оценка мощности излучения.

2. Открытые резонаторы

Устойчивые и неустойчивые резонаторы. Геометрооптические модели внутрирезонаторных полей. Волновое описание мод оптических резонаторов. Пространственно-спектральная структура лазерного излучения.

3. Свойства лазерных пучков

Эрмито-гауссовы и лагерро-гауссовы моды свободного пространства. Расходимость лазерных пучков и их фокусировка. Правило "ABCD". Способы улучшения качества лазерных пучков. Адаптивные системы.

4. Основные типы лазеров

Непрерывные и импульсные газовые лазеры. Электроразрядные и электроионизационные лазеры. Эксимерные лазеры. Лазеры на самоограниченных переходах. Системы сжатия импульсов. Твердотельные лазеры. Жидкостные лазеры. Лазеры на электронных пучках и на квантовых точках.

5. Применение лазеров

Лазерные системы связи. Доплеровские измерители скорости и локаторы. Использование лазеров в технологии, медицине и информационных системах. Лазерная спектроскопия. Лазерно-плазменные источники рентгеновского излучения. Лазерный термоядерный синтез.

6. Сверхсильные лазерные поля

Фемтосекундная оптика. Роль магнитной составляющей электромагнитного поля. Использование сверхсильного лазерного излучения для ускорения частиц и генерации высоких гармоник.

#### 7. Фундаментальные и прикладные проблемы лазерной физики

Анализ условий развития динамического хаоса в лазерных системах. Поиск возможностей улучшения характеристик автомодуляционных режимов генерации. Разработка способов получения вихревых лазерных пучков и пучков с фрактальной структурой.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Основы машинного и глубокого обучения**

#### **Цель дисциплины:**

- совершенствование компетенций студентов в области решения профессиональных задач по машинному и глубокому обучению.

#### **Задачи дисциплины:**

- сформировать умение использовать базовые типы и конструкции языка программирования Python;
- сформировать умение работать со стандартными структурами данных в Python, писать функции на Python, применять функциональные особенности языка, работать с файлами с помощью языка Python;
- сформировать умение применять механизмы наследования, создавать классы и работать с ними, обрабатывать исключения;
- сформировать умение искать и исправлять ошибки в программе на Python, тестировать программы на Python;
- сформировать умение писать многопоточный код на Python, писать асинхронный код на Python, работать с сетью, создать свое серверное сетевое приложение;
- сформировать умение пользоваться библиотеками Python для работы с данными;
- сформировать умение решать оптимизационные задачи с помощью Python;
- сформировать умение использовать математический аппарат для работы с данными;
- сформировать навыки построения предсказывающих моделей;
- сформировать умение оценивать качество построенных моделей;
- сформировать умение применять инструменты Python для решения задач машинного обучения.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- условия применения линейных моделей;
- основные подходы градиентной оптимизации;

- формальную постановку задачи машинного обучения с учителем;
- формальную постановку задачи линейной классификации;
- основные архитектуры;
- основные понятия линейной алгебры;
- основные понятия теории вероятностей;
- основные нелинейные функции активации;
- специфические свойства деревьев;
- формальную постановку задачи обработки естественного языка;
- интерфейс SK-learn;
- основные техники регуляризации в глубоком обучении;
- понятия Padding, Strides, Pooling;
- основные понятия машинного обучения;
- наивный Байесовский классификатор;
- линейные модели машинного обучения;
- какие функции потерь применимы для задачи классификации;
- теорему Байеса;
- теорему Гаусса-Маркова;
- теорему Экарта-Янга;
- принципы организации кода;
- понятия коллекций и функций в Python;
- назначение функций в языках программирования;
- сетевые термины (сокеты, клиент, сервер);
- базовые типы и конструкции Python;
- роль коллекций и функций в программировании на Python;
- принцип работы клиент-серверной архитектуры;
- понятия классов и объектов в Python, понимает их взаимосвязь;
- понятие наследования;
- механизмы наследования и его роль в программировании на Python;
- библиотеки Python для обработки данных;
- где находится каталог библиотек;
- понятия тестирования и отладки;
- способы синхронизации потоков;

- особенности работы с глобальным шлюзом GIL;
- несколько встроенных функций языка Python;
- понятие особых методов классов;
- роль особых классов в программировании на Python;
- принцип работы асинхронного взаимодействия;
- особенности объектно-ориентированной модели в Python;
- механизм формирования исключений;
- конструкции языка Python для создания потоков;
- примеры асинхронного программирования;
- принцип работы системы Git;
- понятия процессов и потоков,

**уметь:**

- выполнять практические задачи и проекты в команде;
- решать задачи классификации и регрессии методом ближайших соседей;
- находить производную функции, экстремумы и выпуклости функции, градиент;
- производить оптимизацию гладких функций и условную оптимизацию;
- улучшать качество предсказаний с помощью основных и продвинутых техник ансамблирования;
- находить вероятность и условную вероятность;
- оценивать качество модели для решения задачи классификации;
- выполнять базовые операции с векторами и матрицами;
- решать задачи линейной регрессии;
- производить матричное разложение SVD;
- решать задачи бинарной и мультиклассовой классификации;
- строить модель с регуляризацией в PyTorch;
- работать с векторами и матрицами с помощью NumPy;
- снижать размерность признакового пространства;
- оценивать подвыборку с помощью критерия мисклассификации, энтропийного критерия и критерия Джинни;
- предобрабатывать текстовые данные и извлекать из них признаки;
- загружать данные с помощью Pandas;

- реализовывать ML-pipeline;
- строить дерево решений;
- оценивать значимость признаков с помощью подходов Information gain, LIME, SHap;
- решать практические задачи с помощью наивного Байесовского классификатора;
- производить научные вычисления с помощью SciPy;
- строить графики с Matplotlib;
- реализовывать логистическую регрессию с помощью PyTorch;
- решать задачи классификации и регрессии с помощью решающих деревьев;
- реализовывать градиентный бустинг с помощью CatBoost;
- описывать линейные и нелинейные зависимости с помощью нейросетей;
- строить простейшую нейросеть на PyTorch;
- строить рекуррентную нейронную сеть;
- бороться с проблемой затухающих градиентов и проблемой взрывающихся градиентов;
- применять сверточные слои для обработки изображений;
- решать задачи классификации и регрессии с помощью градиентного бустинга;
- строить модели с помощью LSTM и GRU;
- бороться с переобучением нейросети с помощью регуляризации;
- строить информативные векторные представления слов;
- использовать базовые типы и конструкции Python для написания простых программ;
- сопоставить и выбрать необходимую структуру данных для конкретной практической задачи;
- составить иерархию классов и описать их методы для конкретной практической задачи;
- выделять в задаче на естественном языке необходимость применения многопоточности;
- выделять в задаче на естественном языке необходимость применения базовых конструкций языка;
- определить и спроектировать необходимые классы и методы классов для конкретной предметной области;
- создать программу, использующую несколько потоков, для конкретной практической задачи;
- написать простой код на Python;
- написать собственную функцию на языке Python;



- использовать магические методы в написании собственных программ на Python;
- писать многопоточных код на Python;
- создать программу по описанию задачи на естественном языке с использованием коллекций языка Python;
- использовать конструкции для генерации исключений на Python;
- установить интерпретатор Python себе на компьютер;
- установить среду разработки PyCharm;
- читать и записывать данные из файла;
- устанавливать внешние библиотеки в Python;
- использовать Git для отслеживания истории изменений версий кода;
- протестировать код на Python;
- вручную создавать или устанавливать библиотеки;
- проанализировать код на Python и исправить ошибки в программе;
- использовать возможности библиотеки asyncio для реализации асинхронности;
- использовать коллекции и функции для написания программ на Python;
- создавать классы и использовать методы классов;
- создавать программу для обработки исключений на Python в условиях конкретной практической задачи;
- писать код для асинхронных приложений на Python;
- вызывать и получать результат выполнения встроенных функций Python;
- создать программу по описанию задачи на естественном языке с использованием функций языка Python;
- написать программу на Python с применением библиотек для конкретной практической задачи;
- использовать основные функции и методы Python для написания собственных клиентских и серверных приложений;
- определять, требуется ли в приложении многопоточность.

**владеть:**

- стандартными структурами данных в Python, умением писать функции на Python, применять функциональные особенности языка, работать с файлами с помощью языка Python;
- механизмами наследования, создавать классы и работать с ними, обрабатывать исключения;
- навыками выбора подходящего метода оптимизации для конкретной задачи;

- навыками применения библиотеки Python для построения модели линейной регрессии, решающих деревьев и композиций алгоритмов, для обучения метрических алгоритмов, SVM, байесовских моделей.

### **Темы и разделы курса:**

#### 1. Основы программирования на Python

##### 1. Введение в программирование на Python:

Лекция

Вводное видео к курсу

Введение в программирование на Python

О языке Python

Установка интерпретатора Python на Windows

Установка интерпретатора Python на Linux

Работа в IDE PyCharm. Первая программа

Введение в Python

Ввод и вывод данных

Примеры простейших программ

Итоги занятия

Практическая работа

Выполнение заданий на программирование по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование

#### 2. Типы данных. Конструкции языка:

Лекция

Вводное видео

Числовые типы, операции

Строковый тип данных

Логический тип данных

Условный оператор

Инструкция if-elif-else

Цикл while

Цикл for

Оператор continue

Оператор break

Практическая работа

Выполнение заданий на программирование по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование

3. Коллекции:

Лекция

Понятие структуры данных

Множества

Индексация строки (прямая, обратная)

Строка, срезы строк

Списки

Срезы списков

Кортежи

Словари

Практическая работа

Выполнение заданий на программирование по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование

4. Функции. Работа с файлами:

Лекция

Именные функции, инструкция def

Функции, Аргументы функции

Лямбда-функция

Функция как аргумент. Декораторы

Исключения в python. Конструкция try – except

Работа с файлами: чтение из файла

Работа с файлами: запись в файл

Правила записи кода, PEP8

Практическая работа

Выполнение заданий на программирование по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование

5. Классы и объекты:

Лекция

Введение в объектно-ориентированное программирование

Классы и экземпляры классов

Методы

Пример на классы (инкапсуляция, полиморфизм)

Практическая работа

Выполнение заданий на программирование по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование

6. Наследование:

Лекция

Наследование в Python

Композиция классов, пример

Пример использования наследования

Практическая работа

Выполнение заданий на программирование по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование

7. Особые методы классов. Механизм работы классов:

Лекция

Особые методы классов. Механизм работы классов

Магические (специальные) методы

Перегрузка операторов

Итераторы

Контекстные менеджеры

Дескрипторы

Практическая работа

Выполнение заданий на программирование по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование

8. Работа с ошибками.

Лекция

Классы исключений и их обработка

Генерация исключений

Исключения в requests, пример

Практическая работа

Выполнение заданий на программирование по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование

9. Установка внешних библиотек. Работа с Git.

Лекция

Подключение модуля из стандартной библиотеки

Установка внешних библиотек Python

Использование псевдонимов. Инструкция from

Создание своего модуля на Python

Установка python-пакетов с помощью pip

Отладка

Тестирование

Git, работа с распределёнными системами управления версиями

Практическая работа

Выполнение заданий на программирование по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование

10. Процессы и потоки.

Лекция

Процессы и потоки

Процесс и его характеристики

Создание процессов

Создание потоков

Синхронизация потоков

Использование потоков threading

Многопроцессорная обработка multiprocessing

Практическая работа

Выполнение заданий на программирование по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование

11. Работа с сетью. Сокеты.

Лекция

Работа с сетью, сокеты

Сокеты, программа клиент-сервер

Таймауты и обработка сетевых ошибок

Одновременная обработка нескольких соединений

Практическая работа

Выполнение заданий на программирование по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование

12. Асинхронное программирование.

Лекция

Асинхронное программирование

Обработка запросов в один поток, модуль select

Итераторы и генераторы, в чем разница?

Генераторы и сопрограммы

Практическая работа

Выполнение заданий на программирование по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов, тестирование

### 13. Зачет

## 2. Основы машинного обучения

### 1. Модуль 1. Математические основы машинного обучения

#### 1.1. Линейная алгебра. Библиотека NumPy

Лекция

Цели и план занятия

Введение. Сферы применения машинного обучения

Векторы. Основные операции над векторами

Матрицы. Основные операции над матрицами

Инструкция по настройке локальной машины

Библиотека NumPy. Линейная алгебра в NumPy

Практическая работа

Выполнение задания на программирование

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов.

#### 1.2. Метод ближайших соседей

Лекция

Цели и план занятия

Основные понятия машинного обучения

Формальная задача

Метод  $k$  ближайших соседей

Реализация  $kNN$  в Python

Практическая работа

Выполнение задания на программирование

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов.

### 1.3. Случайность. Наивный Байесовский классификатор

Лекция

Цели и план занятия

Вероятность. Свойства вероятности

Условная вероятность. Теорема Байеса

Наивный Байесовский классификатор

Реализация наивного байесовского классификатора

Эмпирические функции распределения

Практическая работа

Выполнение задачи на программирование по теме урока, тестирование

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме урока, изучение дополнительных материалов

### 1.4. Оптимизация

Лекция

Цели и план занятия

Производная и ее применения

Градиентная оптимизация

Условная оптимизация

Решение задачи оптимизации градиентными методами

Практическая работа

Выполнение заданий по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов

### 1.5. Задача регрессии. Линейная регрессия

Лекция

Цели и план занятия

Линейные модели машинного обучения

Линейная регрессия



Теорема Гаусса-Маркова

L1 и L2 регуляризация

Решение линейной регрессии и анализ устойчивости решения

Практическая работа

Выполнение задачи на программирование по теме урока, тестирование

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме урока, изучение дополнительных материалов

## 1.6. Обработка и визуализация данных. Матричные разложения

Лекция

Цели и план занятия

Задача снижения размерности

Метод главных компонент

Визуализация в Python на примере векторных представлений слов

Практическая работа

Выполнение задачи на программирование по теме урока, тестирование

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме урока, изучение дополнительных материалов

## 1.7. Задача классификации. Логистическая регрессия

Лекция

Цели и план занятия

Задача линейной классификации

Правдоподобие

Логистическая регрессия

Мультиклассовая классификация

Метрики классификации

Базовое введение в PyTorch

Практическая работа

Выполнение задачи на программирование по теме урока

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме урока, изучение дополнительных материалов

2. Модуль 2. Машинное обучение

2.1. Метод опорных векторов. Оценка качества классификации. Методы кросс-валидации

Лекция

Цели и план занятия

Метод опорных векторов

Нелинейный метод опорных векторов

Оценка качества классификации

Методы кросс-валидации

Cross-validation riddle

Практическая работа

Выполнение задачи на программирование по теме урока, тестирование

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме урока, изучение дополнительных материалов

2.2. Решающие деревья и техники ансамблирования

Лекция

Цели и план занятия

Решающие деревья

Процедура построения дерева решений

Критерии информативности: Энтропия

Критерий Джини

Критерии в задаче регрессии. Усечение деревьев

Специфические свойства деревьев

Практическая работа

Выполнение заданий по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов

### 2.3. Seaborn и практика по деревьям

Лекция

Цели и план занятия

Seaborn и практика по деревьям

Практическая работа

Выполнение задачи на программирование по теме урока

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме урока, изучение дополнительных материалов

### 2.4. Случайный лес. Продвинутое ансамблирование. Дилемма смещения-дисперсии.

Лекция

Цели и план занятия

Техника ансамблирования

RSM

Дилемма смещения

Смешивание

Стекинг

Практическая работа

Выполнение задачи на программирование по теме урока, тестирование

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме урока, изучение дополнительных материалов

### 2.5. Градиентный бустинг.

Лекция

Цели и план занятия

Бустинг

Градиентный бустинг.

Визуализация градиентного бустинга

CatBoost

Практическая работа

Выполнение заданий по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов

## 2.6. Градиентный бустинг на практике

Лекция

Цели и план занятия

Градиентный бустинг. Примеры

Градиентный бустинг. Применение в Python

Практическая работа

Выполнение задачи на программирование по теме урока

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов

## 2.7. Оценка значимости признаков.

Лекция

Цели и план занятия

Information gain и прочие подходы для деревьев

LIME

Shap

Практическая работа

Выполнение задачи на программирование по теме урока, тестирование

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов

## 2.8. Введение в глубокое обучение.

Лекция

Цели и план занятия

История искусственных нейронных сетей

Нейронные сети

Механизм обратного распространения ошибки

Функции активации

Интерактивное демо

Нейронные сети. Итоги

Простейшая нейросеть на PyTorch

Практическая работа

Выполнение заданий по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов

3. Модуль 3. Глубокое обучение

3.1. SGD доработки

Лекция

Цели и план занятия

SGD доработки

Регуляризация в DL

Проблема переобучения

Аугментация и итоги

PyTorch: модель с регуляризацией

Практическая работа

Выполнение задачи на программирование по теме урока

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов

3.2. Векторные представления слов.

Лекция

Цели и план занятия

Введение в NLP

Предварительная обработка текста

Извлечение признаков

Векторное представление слов (Word Embeddings)

Векторные представления слов. Визуализация. (Word embeddings visualization)

Визуализация в Python

Практическая работа

Выполнение задачи на программирование по теме урока

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов

3.3. Рекуррентные нейронные сети. Проблема затухающего градиента.

Лекция

Цели и план занятия

Языковое моделирование

Рекуррентные нейронные сети

RNN

LSTM

Проблема затухающих градиентов

Проблема взрывающихся градиентов

Языковое моделирование: реализация в Python

Рекуррентные нейронные сети: реализация в Python

Практическая работа

Выполнение задачи на программирование по теме урока

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов

3.4. Обработка изображений. Сверточные нейронные сети. Часть 1.

Лекция

Цели и план занятия

Сверточные слои

Интерактивная демонстрация

Padding, Strides, Pooling

Практическая работа

Выполнение заданий по теме лекции

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов

### 3.5. Обработка изображений. Сверточные нейронные сети. Часть 2.

Лекция

Цели и план занятия

Обзор архитектур

Свертки для изображений. Базовый обзор, примеры

Практическая работа

Выполнение задачи на программирование по теме урока

Самостоятельная работа

Самостоятельное выполнение заданий по теме лекции, изучение дополнительных материалов

4. Зачет.

5. Итоговый проект

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Основы машинного обучения**

#### **Цель дисциплины:**

- сформировать теоретические и практические знания в области обучения машин, современных методов восстановления зависимостей по эмпирическим данным, включая дискриминантный, кластерный и регрессионный анализ.

#### **Задачи дисциплины:**

- правильно формулировать задачу в терминах машинного обучения;
- овладеть навыками практического решения задач интеллектуального анализа данных.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные принципы и проблематику теории обучения машин;
- основные современные методы обучения по прецедентам — классификации, кластеризации и регрессии.

##### **уметь:**

- формализовать постановки прикладных задач анализа данных;
- использовать методы обучения по прецедентам для решения практических задач;
- оценивать точность и эффективность полученных решений.

##### **владеть:**

- основными понятиями теории машинного обучения.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Введение в машинное обучение. Метрические алгоритмы, оценка качества моделей



Основные понятия в машинном обучении. Обзор приложений машинного обучения. Обучение с учителем и без учителя. Задачи: классификация, регрессия, кластеризация, снижение размерности.

Метрические алгоритмы. Метод ближайших соседей (kNN) в задаче классификации и регрессии. Кластеризация и алгоритм k средних (k means).

Байесовский подход. Понятие правдоподобия. Наивный байесовский классификатор.

Отложенная выборка. Кросс-валидация. Переобучение и недообучение. Гиперпараметры.

## 2. Линейные модели

Линейная регрессия. Метод наименьших квадратов. Градиентный спуск и стохастический градиентный спуск. Переобучение моделей. Регуляризация Тихонова. Теорема Гаусса-Маркова. Функции потерь в задаче регрессии.

Линейная классификация. Понятие отступа. Функции потерь в задаче классификации. Логистическая регрессия. Метод наибольшего правдоподобия. Логистическая функция потерь. Функции Softmax, Sigmoid. Многоклассовая классификация. Регуляризация линейных классификаторов.

Методы оценки качества классификации. Accuracy, Precision, Recall, ROC-AUC, PR-curve, Confusion matrix.

Метод опорных векторов (SVM). Теорема Каруша-Куна-Такера. Двойственная задача. Понятие опорных векторов. Kernel trick (подмена ядра). Регуляризация в SVM.

Метод главных компонент (PCA). Теорема Эккарта-Янга. SVD-разложение. Зависимость объясненной дисперсии от числа компонент.

## 3. Деревья и ансамбли моделей

Смещение и разброс. Bias-Variance decomposition. Неустойчивость моделей машинного обучения.

Решающее дерево. Рекурсивная процедура построения решающего дерева. Критерии информативности в задаче классификации: энтропийный, Джини; в задаче регрессии. Переобучение решающих деревьев. Прунинг. Регуляризация решающих деревьев. Алгоритмы построения: ID3, C4.5, C5, CART. Небинарные решающие деревья. Связь решающих деревьев и линейных моделей.

Бутстрап. Бэггинг. Out-of-bag error. Метод случайных подпространств (RSM). Случайный лес (Random Forest). Развитие идеи: Extremely Randomized Trees. Сравнение Random Forest и метрических алгоритмов (kNN). Isolation Forest.

Стекинг и блендинг моделей машинного обучения.

Бустинг. Историческая справка, алгоритм AdaBoost. Градиентный бустинг (GBM).

#### 4. Работа с признаками. Ограничения машинного обучения

Проклятие размерности. No Free Lunch Theorem, Wolpert (Теорема о бесплатных обедах). Принцип “Garbage in – garbage out”.

Типы признаков: континуальные, бинарные, категориальные. Работа с разреженными признаками. Работа с пропусками.

Работа с текстовыми данными. Мешок слов (bag of words), TF-IDF.

Оценка значимости признаков. Permutation importance, Partial-dependence plots, shap. Recursive Feature Elimination. LARS.

#### 5. Введение в глубокое обучение

Исторический экскурс. Искусственные нейронные сети. Математическая модель нейрона Маккалока-Питтса. Персептрон Розенблатта. Проблема исключающего или (XOR problem).

Основные понятия в глубоком обучении (Deep Learning). Метод обратного распространения ошибки (backpropagation). Функции активации: Sigmoid, Tanh, ReLU, Leaky ReLU, ELU, Softmax. Полносвязный слой.

Градиентная оптимизация в глубоком обучении. Методы, основанные на градиентном спуске: Momentum, Nesterov Momentum, Adagrad, Adadelta, RMSprop, Adam, AdamW. Learning rate decay. Начальная инициализация параметров нейронной сети.

Регуляризация в нейронных сетях. Batch normalization. Instance and layer normalization. Dropout. Weight decay. Аугментация данных.

Рекуррентные нейронные сети. RNN. Проблема затухающего градиента (Vanishing gradient). Механизм памяти в LSTM и GRU. Рекуррентные нейронные сети в анализе текстов и последовательностей.

Сверточные нейронные сети. Операция свертки. Сверточный слой (convolutional layer). Нормализация данных. Pooling layer. Пропуск градиента с помощью skip connections. Исторический обзор архитектур и их основных свойств: LeNet, AlexNet, VGGNet, GoogLeNet, ResNet.

Классические подходы к векторизации текстов. Векторное представление слов с помощью нейронных сетей. Word2Vec, GloVe.

Снижение размерности с помощью нейронных сетей. Автоэнкодеры в различных задачах (снижение размерности, фильтрация шумов, поиск аномалий).

## 6. Обучение без учителя

Кластеризация. Метрический подход, алгоритм k-means. Иерархическая кластеризация. Алгоритм DBSCAN.

Методы снижения размерности. Многомерное шкалирование. Isomap. Locally Linear Embedding. SNE, t-SNE.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Основы общей теории относительности**

#### **Цель дисциплины:**

Дать студентам знания необходимые для описания различных физических явлений в области приложений (введение в дифференциальную геометрию на основе современного математического аппарата, применение аппарата дифференциальной геометрии при построении релятивистской теории гравитации, т.е. ОТО. В результате определяются все необходимые понятия и величины, при помощи которых формулируются как основное уравнение теории --- уравнение Эйнштейна, так и уравнения движения материи. При помощи установленных уравнений решается ряд фундаментальных задач естествознания.

#### **Задачи дисциплины:**

- Изучение краткого курса дифференциальной геометрии при помощи аппарата дифференциальных форм;
- определение основных понятий и величин, формулировка уравнений, используемых в ОТО, важнейшее из которых --- уравнение Эйнштейна;
- нахождение ряда решений уравнения Эйнштейна (линеаризованный случай, включая гравитационное излучение; центрально-симметричное решение, включающее черноты; глобальные модели Вселенной по Фридману);
- овладение студентами методами дифференциальной геометрии и их приложения к решению задач ОТО.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Основы дифференциальной геометрии (тензорный анализ на многообразиях, аппарат дифференциальных форм, теорию связности на метрических многообразиях, тензоры кривизны и кручения), постулаты и принципы Общей теории относительности, релятивистской механики в искривленном пространстве-времени;
- основные уравнения ОТО, главным из которых является уравнение Эйнштейна;
- свойства и основные методы решения уравнения Эйнштейна, включая случай слабых гравитационных полей, сильных полей в центрально-симметричном случае, а также модели Вселенной по Фридману, лежащие в основе всей современной космологии.

**уметь:**

- Пользоваться аппаратом тензорного анализа на многообразиях;
- пользоваться аппаратом дифференциальных форм;
- уметь представлять тензоры кривизны и кручения при помощи аппарата дифференциальных форм (уравнения Картана);
- свободно владеть основными уравнениями ОТО;
- решать задачи про излучение гравитационных волн в квадрупольном приближении, т.е. в нерелятивистском случае;
- решать уравнения ОТО в центрально-симметричном случае (черная дыра), а также в случае однородного и изотропного пространства (модели Вселенной по Фридману).

**владеть:**

- Основными методами математического аппарата Общей теории относительности, релятивистской механики в кривом пространстве-времени;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных как со свойствами искривленного пространства-времени и материи, включая системы заряженных частиц, взаимодействующих с электромагнитным полем, так и со свойствами самого гравитационного поля, связанного или несвязанного с материей.

**Темы и разделы курса:**

1. Определение многообразий, векторных и тензорных полей на многообразиях и операций с ними

Определение многообразий. Многообразие с краем. Касательное пространство к многообразию. Отображение касательных пространств при отображении многообразий. Кокасательное пространство. Тензоры общего вида и тензорные поля на многообразии и операции с ними (сложение, тензорное умножение, свертка).

2. Определение дифференциальных форм на многообразиях, дифференцирование и интегрирование форм

Определение дифференциальных форм на многообразии как полилинейных кососимметричных форм на векторных полях. Внешнее дифференцирование дифференциальных форм и его свойства. Интегрирование дифференциальных форм. Формула Стокса. Сравнение с известными формулами из математического анализа: Гаусса-Остроградского и т.д.

3. Связность и метрика на многообразии; связность, согласованная с метрикой

Определение связности на многообразии, действующей на векторные поля. Распространение действия связности на произвольные тензорные поля. Введение метрики

на многообразии. Определение связности, согласованной с метрикой. Символы Кристоффеля.

4. Уравнение геодезической. Тензоры кривизны и кручения. Уравнения Картана. Нормальные координаты Римана

Постулирование уравнения геодезической. Вывод уравнения геодезической из вариационного принципа. Определение и геометрический смысл тензоров кривизны и кручения при помощи уравнений Картана. Использование уравнений Картана для явного вычисления тензора Римана в простых примерах (двумерная сфера). Определение нормальных координат Римана и (локально) метрического тензора в этих координатах.

5. Постулаты ОТО. Действие системы массивных заряженных частиц в ОТО, тензор энергии-импульса материи и закон его «сохранения»

Формулировка трех основных постулатов ОТО. Вывод при помощи постулатов с использованием нормальных координат Римана уравнения движения свободной частицы. Этим уравнением является уравнение геодезической. Обобщение действия системы заряженных частиц и электромагнитного поля в ОТО. Вывод уравнений движения для этой системы. Тензор энергии-импульса материи на примере системы заряженных частиц и электромагнитного поля в ОТО. Определение тензора энергии-импульса материи для любой материальной системы, описываемой действием. Закон «сохранения» тензора энергии-импульса материи.

6. Уравнение Эйнштейна, псевдотензор энергии-импульса и закон сохранения энергии в ОТО

Логический вывод уравнения Эйнштейна, исходя из постулатов и нерелятивистского предела. Формальный вывод уравнения Эйнштейна из принципа наименьшего действия. Псевдотензор энергии-импульса гравитационного поля и закон сохранения энергии-импульса в ОТО.

7. Гравитационные волны. Излучение гравитационных волн в нерелятивистском случае (квадрупольное излучение)

Фиксация координат при помощи гармонического условия. Линеаризация уравнения Эйнштейна. Изучение свойств плоских гравитационных волн: распространение со скоростью света, спиральность плюс/минус два. Изучение запаздывающего решения линеаризованного уравнения Эйнштейна и выделение из него гравитационного излучения. Разложение по обратной скорости света (нерелятивистский случай) и формула для интенсивности квадрупольного излучения.

8. Центральное-симметричное решение. Метрика Шварцшильда. Физика черных дыр

Нахождение центрально-симметричного решения в пустоте и при наличии статического центрального электрического заряда. Метрика Шварцшильда и её свойства. Наиболее общие координаты в центрально-симметричном случае: координаты Крускала. Доказательство при помощи координат Крускала того факта, что пробная частица за конечное собственное время достигает особенности черной дыры, а также того что за гравитационным радиусом движение возможно лишь к центру. Доказательство при помощи оценок Чандрасекара того что нейтронная звезда с массой большей критической начинает коллапсировать под действием гравитационных сил, превращаясь в черную дыру.

9. Однородные и изотропные модели Вселенной. Физика моделей Фридмана

Изотропное пространство. Закрытая изотропная модель. Открытая изотропная модель.  
Красное смещение.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Основы оптики наноразмерных систем**

#### **Цель дисциплины:**

Целью курса является изложение основ оптики наноразмерных систем и ознакомление студентов с последними достижениями в этой области науки, а также с перспективными применениями ее результатов.

#### **Задачи дисциплины:**

Усвоение студентами основ оптики наночастиц и наноструктурированных объектов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

физические основы и особенности оптических свойств наночастиц;

физические основы, преимущества и недостатки современных методов экспериментального исследования нанообъектов различной природы;

основные подходы и модели теоретического описания оптических свойств нанообъектов.

##### **уметь:**

применять полученные знания для постановки и проведения экспериментов для изучения оптических и спектральных свойств наночастиц и наноструктур различной природы;

интерпретировать и анализировать результаты проведенных экспериментов;

пользоваться современными компьютерными программами для обработки экспериментальных результатов.

##### **владеть:**

экспериментальными методами исследования оптических свойств нанообъектов различной природы;

навыками работы с современной научной литературой по актуальным вопросам нанооптики и нанофотоники;



методами теоретического моделирования оптических свойств наночастиц и их анализа с целью определения основных оптических констант и параметров изучаемых нанообъектов; основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях и написания научных статей.

### **Темы и разделы курса:**

#### **1. Введение в нанооптику**

Что такое нанофизика и нанооптика, какие объекты и явления она изучает.

Что понимается под терминами нано- и мезообъекты, нано- и мезоструктуры.

Основные отличия физических и оптических свойств нанообъектов от свойств макроскопических тел и основные физические причины этого отличия.

#### **2. Основные понятия классической электродинамики**

Макроскопическая электродинамика. Усреднение локальных полей в среде. Уравнения Максвелла. Материальные уравнения и граничные условия. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Комплексный показатель преломления. Пространственная и временная дисперсии.

Излучение колеблющегося дипольного излучателя. Понятие ближнего и дальнего поля, основные свойства и отличия.

Монохроматические поля. Разложение электромагнитного поля в угловой спектр, пространственные частоты. Фурье оптика.

Полное внутреннее отражение. Нарушенное полное внутреннее отражение. Эванесцентные поля. Сдвиг Гуса-Хенхена. Запрещенный свет. Электродинамика с учетом векторного характера полей. Параксиальное приближение. Формализм функции Грина.

Гауссовы лазерные пучки, эрмитово-гауссовские и лагеррово-гауссовские моды. Продольные поля в фокальной плоскости.

#### **3. Плазмоны в металлах. Плазмонный резонанс. Поверхностные плазмоны.**

Взаимодействие электронных возбуждений в металлах с электромагнитным излучением. Понятие объемного плазмона. Теория Друдэ-Зоммерфельда. Закон дисперсии плазмонных возбуждений на поверхности металла. Вклад межзонных переходов.

Поверхностный плазмонный резонанс. Возбуждение поверхностных плазмонов методом полного внутреннего отражения. Применения поверхностного плазмонного резонанса для аналитических целей. Микроскоп поверхностного плазмонного резонанса.

#### **4. Плазмоны в наночастицах. Локализованные плазмонные возбуждения**

Локализованный плазмонный резонанс. Возбуждение плазмонов в металлических наносферах и наночастицах.

Применения локализованного плазмонного резонанса. Использование наночастиц из благородных металлов в качестве нанозондов. Наноантенны. Спазер. Безлинзовая микроскопия.

Поверхностные плазмоны и гигантское комбинационное рассеяние на шероховатостях поверхности и вблизи наночастиц благородных металлов (SERS- и TERS-спектроскопия).

## 5. Спонтанное излучение в микрорезонаторе Эффект Парселла

Скорость спонтанной релаксации и время жизни в рамках классической электродинамики. Реакция излучения, радиационное затухание излучения электрического заряда или диполя. Ширина линии спонтанного излучения.

Скорость спонтанной релаксации и время жизни в рамках квантовой электродинамики. Взаимодействие с континуумом электромагнитных мод. Локальная плотность состояний. Золотое правило Ферми.

Случай однородного и неоднородного окружения. Сила осциллятора и квантовый выход. Спонтанное излучение элементарных излучателей. Микрорезонаторы Эффект Пёрселла.

Понятие локального поля. Модель Лоренца. Уравнение Клаузиса-Моссотти. Уравнение Лоренц-Лорентца.

## 6. Точечные квантовые излучатели

Полупроводниковые квантовые точки. Зависимость спектров излучения и поглощения от размеров нанокристаллов. Применения квантовых точек в качестве оптического нанозонда.

Флуоресцентные молекулы. Спектр поглощения и излучения флуоресцентных молекул. Релаксация, ширины линий, взаимодействие с матрицей. Использование одиночных хромофорных молекул в качестве спектрального нанозонда. Спектроскопия одиночных молекул.

Однофотонные излучатели на флуоресцентных молекулах и квантовых точках.

## 7. Фотонные кристаллы и оптические микрорезонаторы

Классификация фотонных кристаллов. Плотность фотонных состояний и зонная структура одномерного и многомерных фотонных кристаллов. Дифракция Брэгга и Лауэ.

Методы изготовления фотонных кристаллов. Применение фотонных кристаллов. Просветляющие покрытия, диэлектрические зеркала.

Оптические микрорезонаторы. Моды сферического микрорезонатора, моды “шепчущей” галереи. Теория Ми.

## 8. Оптическая микроскопия в ближнем и дальнем поле

Функция рассеяния точечного излучателя. Диск Эйри. Дифракционный предел пространственного разрешения. Критерий Аббе.

Возникновение высокочастотных пространственных гармоник при освещении образца со сложной пространственной наноструктурой. Дифракционное разрешение и Фурье оптика.

## 9. Силы, вызываемые действием света

Давление света в рамках электромагнитной теории света. Опыты Лебедева по измерению светового давления. Плотность потока электромагнитной энергии. Тензор напряжений Максвелла. Градиентная сила и сила рассеяния.

Механическое действие света на наночастицы. Лазерный пинцет. Оптическая ловушка.

Момент количества движения переносимый плоской световой волной. Спин и орбитальный момент количества движения фотона. Круговая поляризация света и “закрученный” свет. Получение и использование “закрученного” света.

## 10. Флуктуационно-диссипативная теорема

Механизмы возникновения диссипации вызываемой флуктуациями. Функция отклика системы. Белый шум. Формула Найквиста. Излучение абсолютно черного тела.

Флуктуационно-индуцированные силы. Дисперсионное взаимодействие. Сила Казимира. Электромагнитное трение.

## 11. Зондовая микроскопия. Атомно-силовая и туннельная микроскопия.

Основные характеристики и типы нанозондов. Технология изготовления и контроля параметров нанозондов.

Физические основы и принцип действия атомно-силового микроскопа. Применения и параметры атомно-силовой микроскопии. Основные преимущества и недостатки атомно-силовой микроскопии.

Принцип действия туннельного микроскопа и его основные характеристики. Область применения туннельного микроскопа.

## 12. Электронная и ионная микроскопия

Электромагнитная электронная оптика. Физические основы и принцип действия электронного микроскопа. Преимущества и недостатки электронного микроскопа. Основные характеристики электронных микроскопов. Основные применения электронной микроскопии. Основы криомикроскопии.

Принцип действия и основные характеристики ионного микроскопа. Применения ионного микроскопа.

### 13. Микроскопия высокого и сверхвысокого пространственного разрешения.

Критерии предела пространственного разрешения оптического микроскопа на основе эффекта дифракции. Формулировка пространственного разрешения оптического микроскопа на основе информационного подхода. Возможность получения информации о положении точечных источников света, наблюдаемых с помощью флуоресцентного оптического микроскопа в методе локализационной микроскопии. Пространственное разрешение в методе локализационной микроскопии. Методы STORM и PALM.

Повышение пространственного разрешения детектирования изображений флуоресцентных источников в методе STED.

### 14. Пространственная дисперсия и отрицательное преломление света

Пространственная дисперсия, групповая скорость. Природа отрицательной групповой скорости и отрицательного преломления. Эффект Доплера и излучение Вавилова-Черенкова в средах с отрицательной групповой скоростью. Метаматериалы. Суперлинза Пендри.

### 15. Нанооптика и наноструктуры биологической природы

Основные понятия молекулярной биологии. Структура биологических сред на наноуровне. Первичная, вторичная, третичная и четвертичная структура белковых молекул, молекулярная структура углеводов и жиров. Сложные молекулярные структуры на основе белков, углеводов, липидов и др. молекул и атомов.

Структура ДНК и РНК. Генетический код. Виды РНК. Репликация ДНК. Синтез белка.

Состав клетки. Микровезикулы и внеклеточные экзосомы и их роль в процессах внутри- и межклеточной передачи информации и биоматериалов.

Вирусы. Строение и функции. Методы диагностики.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Основы радиационной биологии**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний в области взаимодействия ионизирующего излучения с живыми организмами, в том числе изучение детерминированных, стохастических, генетических эффектов, отдаленных последствий облучения и особенности действия малых доз, а также научных принципов регламентации воздействия ионизирующего излучения и обоснования радиационной безопасности.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование представления о фундаментальном единстве современных научных знаний об окружающей среде;
- формирование базовых представлений в области биологии и экологии;
- приобретение теоретических знаний в области взаимодействия ионизирующего излучения с живыми организмами;
- приобретение студентами знаний о научных принципах регламентации воздействия ионизирующего излучения;
- оказание консультаций и помощи студентам в проведении собственных исследований в области математического моделирования биологических процессов и оценки риска для обоснования радиационной безопасности.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- о фундаментальном единстве современных научных представлений об окружающей среде;
- фундаментальные понятия, законы, теории современной биологии и экологии;
- положение и роль радиационной биологии и радиоэкологии среди других естественных наук;
- историю развития и современные проблемы радиационной биологии и радиоэкологии;
- особенности взаимодействия ионизирующего излучения с живыми организмами;

- подходы к математическому моделированию биологических процессов, в том числе при оценке радиационного воздействия на биоту;
- научные принципы регламентации воздействия ионизирующего излучения и оценки радиационного риска для обоснования радиационной безопасности.

**уметь:**

- эффективно применять теоретические компоненты естественных наук об окружающей среде: понятия, теории, законы;
- пользоваться полученными знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач в области обеспечения радиационной безопасности;
- использовать теоретические представления о механизме биологического действия ионизирующих излучений при оценке радиационного риска;
- применять математические подходы к оценке радиационного воздействия на биологические объекты;
- эффективно использовать полученные знания о научных принципах регламентации воздействия ионизирующего излучения на человека и окружающую среду.

**владеть:**

- современными представлениями об окружающей среде в рамках научной картины мира;
- навыками самостоятельного поиска и анализа больших объемов информации;
- фундаментальными понятиями и законами современной биологии и экологии;
- знаниями в области взаимодействия ионизирующего излучения с живыми организмами;
- практикой решения теоретических и прикладных задач, связанных с оценкой риска для обеспечения радиационной безопасности;
- основными подходами к математическому моделированию биологических систем;
- научными принципами регламентации воздействия ионизирующего излучений.

**Темы и разделы курса:**

1. Взаимодействие излучения с живыми организмами.

Взаимодействие излучения с живыми организмами. Основные мишени.

Молекулярный, клеточный, тканевый, организменный, популяционный уровни. Модификация последствий облучения.

Характер облучения: внутреннее и внешнее; острое и пролонгированное; равномерное и неравномерное. Детерминированные и стохастические эффекты. Соматические и генетические эффекты.

Отдаленные последствия облучения. Особенности действия малых доз ионизирующих излучений. Гормезис.

Теоретические представления о механизме биологического действия излучений. Относительная биологическая эффективность (ОБЭ).

Стохастический подход к оценке биологических эффектов облучения.

2. Воздействие ионизирующих излучений на окружающую среду.

Теоретические представления о воздействии ионизирующих излучений на окружающую среду.

Нерадиационные факторы воздействия.

3. Основы биологии и экологии. Введение в генетику.

Основы учения о биосфере. Экосистема, биогеоценоз, взаимодействие живых организмов с окружающей средой.

Основные биологические процессы в клетках. Носители наследственной информации. Вопросы генетики. Мутации и мутагенные факторы. Репарация. Наследственные болезни человека.

Наследственность и изменчивость. Наследственность и среда. Отбор. Адаптация и эволюция. Наследственные болезни человека

4. Предмет и история.

Предмет радиобиологии и радиоэкологии.

История радиобиологии и радиоэкологии.

5. Радиационное воздействия на биоту.

Оценка радиационного воздействия на биоту.

Математические подходы к оценке радиационного воздействия на биоту.

6. Радиационный риск.

Радиационный риск и его оценка.

Научные основы регламентации облучения.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Основы теории сверхпроводимости**

#### **Цель дисциплины:**

Цель курса – дать целостное представление о физике сверхпроводников, начиная с базовых понятий до проблем, которые стоят перед современной физикой этого явления, Студенты должны освоить фундаментальные знания в области теории и приложений сверхпроводимости, основ теории квантовых многочастичных систем, а также основ электродинамики сверхпроводимости.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики конденсированного состояния, как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков;
- формирование базовых знаний в области электродинамики нелинейных систем;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области физики современных материалов в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Основы физики сверхпроводимости и современное состояние проблемы.

##### **уметь:**

Пользоваться базовым математическим аппаратом, ориентироваться в современной научной литературе по проблеме.

##### **владеть:**

Знаниями основ теории сверхпроводимости и знаниями о современном состоянии проблемы.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Введение.



Что такое сверхпроводники. Основные явления – исчезновение сопротивления незатухающий ток, эффект Мейснера. Критическая температура, критическое магнитное поле, критический ток.

## 2. Теория Бардина-Купера-Шриффера (БКШ).

Феномен Купера, электрон-фононное взаимодействие и природа электрон-электронного притяжения. Метод эффективного поля, основное состояние модели БКШ, щель в спектре, спектр элементарных возбуждений.

## 3. Теория БКШ, продолжение.

Феномен Купера, электрон-фононное взаимодействие и природа электрон-электронного притяжения. Метод эффективного поля, основное состояние модели БКШ, щель в спектре, спектр элементарных возбуждений.

## 4. Теория Гинзбурга-Ландау (ГЛ).

Уравнения ГЛ, связь с моделью БКШ. Основные соотношения модели. Граничные условия. Энергия границы раздела сверхпроводник-нормальный металл. Параметр ГЛ, сверхпроводники первого и второго рода.

## 5. Сверхпроводники первого и второго рода.

Сверхпроводники первого рода. Термодинамическое критическое поле. Промежуточное состояние. Критический ток проволоки. Эффект Литла-Паркса. Сверхпроводники второго рода. Вихри Абрикосова. Критические магнитные поля  $H_{c1}$ ,  $H_c$ ,  $H_{c2}$ ,  $H_{c3}$ .

## 6. Электродинамика сверхпроводников второго рода.

Взаимодействие вихрей, решетка вихрей Абрикосова, намагниченность сверхпроводника второго рода. Ток в системе вихрей, сила Лоренца, движение вихрей и диссипация энергии. Явление пиннинга и концепция критического состояния. Крип магнитного потока

## 7. Эффект Джозефсона.

Слабая сверхпроводимость. Туннельный гамильтониан, стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона.

## 8. Электродинамика эффекта Джозефсона

Электродинамика эффекта Джозефсона, плазменные волны. Уравнение синуса Гордона, джозефсоновские вихри, критический ток. СКВИДы и измерения малых магнитных полей. Сверхпроводниковые кубиты.

## 9. Высокотемпературная сверхпроводимость (ВТСП).

Сверхпроводящие купраты и пниктиды. Особенности ВТСП, анизотропные сверхпроводники,  $s$ ,  $d$ ,  $p$ , типы спаривания, многозонные сверхпроводники. Псевдощель. Слоистые сверхпроводники, модель Лоренца-Дониаха, вихри-пенкейки.

## 10. Электродинамика слоистых ВТСП.

Плазменные волны в слоистых ВТСП. Фазовые переходы в вихревой системе ВТСП, гигантский крип потока и проблема критического тока в ВТСП.

## 11. Применения сверхпроводников.

Обзор последних достижений в области сверхпроводящих материалов. Где сегодня применяются сверхпроводники. Сверхпроводящие магнитные системы. Линии передач. Томография. Токоограничители. Магнитные экраны. СВИД-магнетометры. Сверхпроводящие болометры. Сверхпроводящие кубиты – элементы квантового компьютера.

12. Решение задач по электродинамике сверхпроводников второго рода.

Задачи о колебаниях решетки вихрей. Задачи о взаимодействии вихрей с дефектами.

13. Решение задач по распространению плазменных волн в слоистых сверхпроводниках.

Расчет коэффициентов прохождения и отражения плазменных волн в слоистых сверхпроводниках. Поверхностные волны.

14. Решение задач по эффекту Джозефсона.

Расчет электрических цепей, содержащих джозефсоновские контакты. Задачи о джозефсоновском контакте в магнитном поле.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Основы управления образовательной организацией**

#### **Цель дисциплины:**

Сформировать у слушателей целостное понимание особенностей функционирования образовательных организаций и познакомить с моделями эффективного управления ими, познакомить слушателей с функционированием образовательных организаций, в частности, школ; рассмотреть модели эффективного управления образовательными организациями с элементами управленческого анализа и технологиями реализации управленческих решений.

#### **Задачи дисциплины:**

- изучение особенностей работы средней школы;
- изучение образовательных систем и методов управления ими;
- изучение управленческих кейсов в образовании;
- приобретение навыков управленческого анализа;
- знакомство с современными приоритетами и направлениями государственной политики в сфере образования.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- принципы формирования структуры образовательной организации;
- основы функционирования средней школы;
- модели эффективного управления образовательными системами;
- эффективные методы управления образовательными организациями;
- основные управленческие кейсы в сфере образования;
- современные приоритеты и направления государственной политики в сфере образования.

##### **уметь:**

- определять критерии успешности стратегии и тактики развития образовательного учреждения;
- анализировать управленческие кейсы в сфере образования;
- применять технологии реализации успешных управленческих кейсов в сфере образования;
- оценивать успешность стратегии и тактики развития образовательной организации.

**владеть:**

- элементами управленческого анализа и технологиями его реализации;
- основами федерального законодательства в образовании;
- основами «управления формулами» для достижения целей развития образовательной организации.

**Темы и разделы курса:**

1. Структура образовательной организации

Возможные варианты структуры образовательной организации. Правовое регулирование структуры образовательной организации с точки зрения федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» №273-ФЗ.

2. Общие принципы управления образовательной организацией

Основополагающие, фундаментальные правила управления образовательных организаций, обеспечивающие достижение заданных целей. Пример: теория и практика внутришкольного управления.

3. «Что мне нравится и что не нравится в школе»

Обсуждение представлений об образовательной организации глазами студента на своем личном опыте.

4. Региональная образовательная система

Школа как ячейка региональной образовательной системы. «Заказчики» образовательной организации, цели, приоритеты, динамика (родители, регион, государство).

5. Кадровая политика образовательной организации

Государственные приоритеты кадровой политики в образовании. Профессиональный стандарт. Трудовой кодекс РФ. Устав ОО. Типовое положение «Об общеобразовательном учреждении». Теория и практика реализации кадровой политики в ОО.

6. Мастер-класс директора школы

Мастер-класс директора школы по основам управления образовательной организацией. Рассмотрение конкретного кейса.

7. Основы федерального законодательства в образовании

Основы федерального законодательства в образовании. Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» №273-ФЗ. Локальные нормативные акты.

#### 8. Система образования Москвы. Управление формулами

Система образования Москвы. Принцип «справедливой оплаты» труда педагога.

#### 9. Управление формулами

Финансирование, оценка вклада школы в решение задач города. Оплата труда руководителей образовательных организаций. Формирование управленческого корпуса в системе образования.

#### 10. Мастер-класс директора школы

Мастер-класс директора школы по основам управления образовательной организацией. Рассмотрение конкретного кейса.

#### 11. Управление формулами. Решение управленческих задач.

Задача увеличения оплаты труда педагогических работников. Задача увеличения доли выпускников, демонстрирующих очень высокие (250 и выше баллов), высокие (220-249 баллов) и близкие к высоким (190-219 баллов) результаты сдачи ЕГЭ.

#### 12. Мастер-класс директора школы

Мастер-класс директора школы по основам управления образовательной организацией. Рассмотрение конкретного кейса.

#### 13. Итоговое занятие

Подведение итогов семестра.

#### 14. Основы менеджмента

Целеполагание. Управление проектами.

#### 15. Электронные системы в управлении образовательной организацией

Основы электронного документооборота. Автоматизированные системы управления школой. МЭШ, АИС «Контингент», АИС «Школьный портал», «1С:Образование».

#### 16. Мастер-класс директора школы

Мастер-класс директора школы по работе с электронными системами.

#### 17. Формирование тактики и стратегии развития образовательной организации

Стратегия развития образовательного учреждения, как основная составляющая ее деятельности. Факторы, определяющие стратегию и тактику развития образовательного учреждения. Соответствие стратегии и тактики условиям функционирования образовательного учреждения.

#### 18. Мастер-класс директора школы

Мастер-класс директора школы по формированию стратегии и тактики развития образовательного учреждения.

#### 19. Формирование тактики и стратегии развития образовательной организации. Кейсы.

Разбор реальных кейсов по формированию тактики и стратегии образовательной организации, формирование новых кейсов.

20. Итоговое занятие

Подведение итогов семестра.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Основы физики пылевой плазмы**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины «Основы физики пылевой плазмы» является освоение студентами фундаментальных знаний в области физики идеальной и неидеальной плазмы, изучение экспериментальных и теоретических методов исследования плазмы, содержащей частицы конденсированной дисперсной фазы.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики идеальной и неидеальной плазмы как дисциплины, базирующейся на общефизических и общетеоретических знаниях физиков и обеспечивающей развитие современных технологий;
- обучение студентов методам описания неидеальной плазмы, фазовых переходов, экспериментальным и теоретическим методам определения основных свойств неидеальной пылевой плазмы.
- формирование подходов к выполнению теоретических исследований студентами в области физики пылевой плазмы в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные свойства неидеальных систем;
- основные процессы, протекающие в различных газовых средах при генерации плазмы разрядом постоянного тока, ВЧ-разрядом, внешним источником ионизации (в пучковой и фоторезонансной плазме) и при термическом нагреве.

##### **уметь:**

- получать решения для точно решаемых задач;
- выполнять оценки параметров пылевой плазмы – заряда пылевых частиц, радиуса экранирования, параметра неидеальности для обоснования возможности применения приближенных решений.

## **владеть:**

Классическими решениями как задач из области термодинамики и статической физики, физической кинетики и теории зондов, так и задач из курсов теоретической физики, физики плазмы и др.

Среди точно решаемых задач в первую очередь необходимо сделать упор на изучение одномерных задач, стационарных и простейших нестационарных задач.

## **Темы и разделы курса:**

### 1. Определение и свойства пылевой плазмы.

Определение пылевой плазмы. Обзор общих свойств низкотемпературной плазмы, содержащей частицы конденсированной дисперсной фазы микронных размеров.

### 2. Зарядка пылевых частиц в бесстолкновительной плазме.

Приближение ограниченных орбит. Неэкранированный потенциал пылевой частицы в рамках уравнений Власова.

### 3. Зарядка пылевых частиц в плазме при повышенных давлениях.

Гидродинамическое приближение. Область применимости, основные уравнения, граничные условия. Приближенные методы решения. Численные методы решения – метод релаксации и метод конечных разностей. Аппроксимация расчетного потенциала пылевой частицы потенциалом Дебая. Условие кристаллизации пылевых частиц. Численное моделирование процессов в пылевой плазме на основе нелокальной модели зарядки пылевых частиц. Связь потенциала с зарядом. Условие формирования слоя амбиполярной диффузии.

### 4. Формирование ловушки для заряженных пылевых частиц в плазме и в газовых разрядах различных типов.

Формирование ловушки для заряженных пылевых частиц в плазме. Пылевая плазма в несамостоятельном газовом разряде. Описание и результаты экспериментов. Численное моделирование структуры несамостоятельного разряда. Расчет скорости ионизации газа. Локальная и нелокальная модели несамостоятельного разряда. Результаты расчетов и их сравнение с экспериментом.

### 5. Теория экранирования заряда пылевых частиц.

Экранирование заряда пылевых частиц. Теория Дебая-Хюккеля. Экранирование в неравновесной плазме в рамках диффузионно-дрейфового приближения. Линеаризация и Фурье-преобразование. Постоянные экранирования в изотермической и неизотермической плазме, в плазме с самостоятельной ионизацией и в плазме с внешним источником ионизации газа. Когда экранирование описывается теорией Дебая-Хюккеля.

### 6. Динамические явления в пылевой плазме.

Пылеакустические волны. Вязкость пылевой плазмы. Ионная фокусировка. Динамическое экранирование.

### 7. Приложения пылевой плазмы.



Плазменно-пучковые технологии получения наноструктурированных композиционных материалов. Атомная батарея на основе упорядоченных плазменно-пылевых структур.

#### 8. Взаимодействие пылевых частиц и формирование упорядоченных структур.

Взаимодействие пылевых частиц и формирование упорядоченных структур. Энергия электрического поля системы двух заряженных микрочастиц в плазме. Электростатическая сила через максвелловы натяжения. Взаимодействие в равновесной плазме. Термодинамические потенциалы системы зарядов в равновесной плазме. Электростатическая энергия двух макрочастиц в неравновесной плазме. Потенциал взаимодействия двух макрочастиц в неравновесной плазме. Условие кристаллизации в неравновесной плазме.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Параллельное программирование в геофизике**

#### **Цель дисциплины:**

Усвоение методологии, основных методов и подходов использования параллельных вычислений при численном моделировании геофизических процессов.

#### **Задачи дисциплины:**

1. Закрепление знаний, связанных с численными методами решения физических задач, в том числе, задач геофизики.
2. Получение опыта численной программной реализации численного моделирования геофизических процессов с использованием параллельных вычислений.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные методы параллельных вычислений при численном моделировании геофизических процессов.

##### **уметь:**

использовать параллельное программирование для моделирования распространения сейсмических волн в геосредах, фильтрации флюидов в пористых средах, температурных поля в массивах горных пород, перераспределения напряжений и деформаций в массиве горных пород при внешних механических воздействиях.

##### **владеть:**

навыками распараллеливания сложных вычислительных процессов в применении к задачам прикладной геофизики.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Введение

Цель, задачи курса и его место в образовательном процессе.

## 2. Основы параллельного программирования

Распараллеливание вычисления. Последовательная и параллельная парадигмы в программировании. Вложенные циклы и их разделение по вычислительным потокам. Распараллеливание простых и вложенных циклов. Методы организации вычислений. Разделение модели по процессам и областям. Организация передачи данных. Суперкомпьютерные технологии. Программная реализация параллельных вычислений.

## 3. Моделирование задач сейсморазведки

Постановка задачи сейсморазведки. Основные уравнения, предположения и модели. Задача распространения упругой волны в теле с неоднородностью, упорядоченной системой неоднородностей. Разделение области. Численное моделирование распространения продольной и поперечной упругой волны в микронеоднородной среде: программная реализация.

## 4. Моделирование задач геомеханики

Задача о формировании напряженно-деформированного состояния микронеоднородной среды, помещенной в обстановку неравномерного сжатия. Переход в пластический режим. Численное моделирование пластического течения микронеоднородной среды. Моделирование микроразрушения, создания, развития и взаимодействия трещин. Численное моделирование разрушения цилиндрического образца в обстановке псевдотрехосного сжатия: программная реализация.

## 5. Моделирование задач фильтрации

Задача о течении многофазной жидкости в пористой среде. Методы моделирования фильтрации. Задание системы каналов фильтрации. Проблемы течения в зонах пересечения каналов фильтрации. Численное моделирование фильтрации флюида в среде с известной внутренней структурой: программная реализация.

## 6. Моделирование температурных полей

Задача о формировании равновесного температурного поля при нестационарных граничных условиях. Аналогия между температурными и фильтрационными задачами. Особенности формирования температуры. Численное моделирование нагрева цилиндрического образца горной породы с известной внутренней структурой: программная реализация.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Параллельные вычисления и алгоритмы решения дифференциальных уравнений**

#### **Цель дисциплины:**

освоение студентами знаний в области применения современных высокопроизводительных комплексов различной архитектуры в научных исследованиях и прикладных областях, в частности — в математическом моделировании и обработке больших массивов данных.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование основных знаний в области применения высокопроизводительных вычислительных комплексов различной архитектуры на основе курсов информатики, знания операционных систем, языков программирования и курсов вычислительной математики для обеспечения технологических основ математического моделирования в современных инновационных сферах деятельности;
- обучение студентов принципам создания эффективных параллельных алгоритмов и программ, анализа существующих программ и алгоритмов на параллельность; знакомство с основными методами и принципами параллельного программирования, основными технологиями параллельного программирования;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области параллельных вычислений и математического моделирования с использованием современных технологий и программных средств параллельного программирования в рамках магистерских диссертационных работ.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- историю эволюции вычислительных систем и историческую необходимость использования параллельных вычислений;
- основы архитектуры параллельных вычислительных комплексов;
- основные технологические этапы разработки параллельных программ;
- принципы асимптотического анализа алгоритмов;
- методы декомпозиции последовательных алгоритмов;

- способы эквивалентных и неэквивалентных преобразований последовательных программ, позволяющие использовать их на параллельных вычислительных комплексах;
- основные идеи при реализации численных алгоритмов, позволяющие избежать случая низкой эффективности распараллеливания;
- основные идеи разработки эффективных параллельных алгоритмов для решения задач математической физики.

**уметь:**

- оценивать асимптотическую сложность используемых алгоритмов и выбирать оптимальные алгоритмы для современных программ;
- анализировать последовательные программы для выявления возможности их распараллеливания;
- оценивать эффективность работы распараллеленных программ;
- выбирать эффективные численные методы для поставленных задач математического моделирования.

**владеть:**

- приемами распараллеливания алгоритмов и программ;
- средствами и технологиями разработки приложений, обеспечивающих проведение параллельного вычислительного эксперимента.

**Темы и разделы курса:**

1. Проблемы эволюции вычислительных систем. Парадигмы последовательного и параллельного программирования

Три кризиса в развитии математического обеспечения. Архитектурный и программный параллелизм. Проблемы использования параллельных систем. Парадигма последовательного программирования. Модели последовательного программирования. Парадигма параллельного программирования. Этапы декомпозиции, назначения, оркестрирования, отображения. Задачи, решаемые на каждом этапе. Модели параллельного программирования.

2. Процессы в операционных системах. Знакомство с операционной системой UNIX

Понятие процесса. Процесс и программа. Состояния процесса. Управляющий блок процесса и его

контекст. Операции над процессами. Переключение контекста.

Системные вызовы и библиотека libc. Понятия login и password. Упрощенное устройство файловой системы в UNIX. Полные имена файлов Текущая директория. Относительные имена файлов.

Домашняя директория пользователя. Команда `man` – универсальный справочник. Команды `cd` и `ls`.

Перенаправление стандартного ввода и стандартного вывода. Простейшие команды работы с файлами – `cat`, `cp`, `mkdir`, `mv`, `rm` Шаблоны имен файлов. Пользователь и группа. Команды `chown` и

`chgrp`. Права доступа к регулярному файлу и к директории. Команда `chmod`. Доступ к виртуальному

кластеру МФТИ. Редактирование файлов, компиляция и запуск программ. Написание и прогон

последовательной программы численного вычисления значения определенного интеграла.

### 3. Элементы асимптотического анализа алгоритмов

Основные предположения. Вычислительная модель RAM. Терминология и обозначения.

Асимптотические отношения. Оптимальный по поведению последовательный алгоритм. Примеры

асимптотического анализа сложности последовательного алгоритмов. Рекуррентные соотношения.

Основная теорема асимптотического анализа. Расширенная квалификация Флинна. Примеры SISD,

SIMD, MISD, MIMD машин. Вычислительные модели PRAM. Ускорение при распараллеливании.

Закон Амдала. Стоимость параллельного алгоритма. Оптимальность алгоритма по стоимости.

Ограниченность асимптотического анализа.

### 4. Введение в технологию программирования MPI

Модель программирования MPI. MPI-процессы, группы процессов, коммуникаторы. Функции

`MPI_Init()`, `MPI_Finalize()`, `MPI_Abort()`. Функции определения ранка процесса и количества

процессов в группе `MPI_Comm_rank()` и `MPI_Comm_size()`. Использование системы очередей

TORQUE/PBS. Компиляция и запуск MPI-программ. Написание и прогон параллельной программы

«Hello!».

### 5. Декомпозиция алгоритмов на уровне операций

Понятие о графе алгоритма. Строго параллельные формы графа, каноническая параллельная форма.

Соотнесение строго параллельных форм с выполнением алгоритма на конкретных архитектурных

решениях. Ярусы параллельной формы, их ширина и высота. Концепция неограниченного

параллелизма. Определение максимально возможного ускорения по ярусно-параллельной форме

алгоритма.

#### 6. Укрупнение параллельных ярусов

Декомпозиция алгоритмов и программ на уровне действий и операторов. Условия Бернштейна и их

нарушение. Истинная или потоковая зависимость, антивисимость, зависимость по выходным

данным. Графы зависимостей. Связь зависимостей операторов с возможностью их одновременного

выполнения.

#### 7. Взаимодействие MPI-процессов

Понятие point-to-point взаимодействия. Что такое MPI-сообщение. Типы данных в MPI-сообщениях. Функции `MPI_Send()` и `MPI_Recv()`. Задача на передачу информации между MPI-

процессами. Параллельное численное вычисление значения определенного интеграла.

#### 8. Параллельность циклов

Простые циклы: расстояние зависимости; зависимости, связанные и несвязанные с циклом.

Вложенные циклы. Вектора зависимости и направлений. Их использование для определения

возможности распараллеливания циклов.

#### 9. Групповые операции в MPI

Понятие групповых операций. Барьерная синхронизация – функция `MPI_Barrier()`.

Широковещательная рассылка и редуцирующие операции. Функции `MPI_Bcast()` и `MPI_Reduce()`.

Модификация параллельного численного вычисления значения определенного интеграла с

использованием групповых операций. Сбор данных. Функции `MPI_Gather()` и `MPI_Gatherv()`.

Задача на сбор рассчитанных данных.

#### 10. Эквивалентные преобразования программ и алгоритмов

Способы устранения зависимостей, связанных с циклом: loop distribution, code replication, loop

alignment, приватизация переменных, индукция и редукция.

#### 11. Основные подходы к организации размещения задач на процессорах

Динамическое, потоковое, статическое планирование, work pool, pipeline, competition, divide &

conquer. Их недостатки и достоинства. Проблемы балансировки загрузки процессоров.

Гомогенные и гетерогенные вычислительные системы.

#### 12. Оркестрирование исполнения параллельных программ

Где и как синхронизировать вычисления и обмениваться данными. Перекрытия. Ухудшение

последовательного алгоритма для улучшения параллельного. Масштабирование параллельных

программ.

#### 13. Назначение и оркестровка в MPI

Параллельное решение одномерного дифференциального уравнения в частных производных с

использованием явной четырехточечной схемы.

#### 14. Нити исполнения (threads) в операционных системах. Введение в технологию программирования OpenMP

Понятие нитей исполнения. Отличия нитей исполнения от процессов. Состояния нитей исполнения и их связь с состояниями процессов. Рождение и завершение нитей исполнения.

Модель программирования OpenMP. Директивы и вспомогательные процедуры,

последовательные и параллельные области программы. Директива parallel. Компиляция и запуск

OMP программы на отдельном компьютере. Написание и прогон OMP-программы с одной

параллельной и двумя последовательными частями. Использование системы очередей

TORQUE/PBS для запуска OMP-программ. Определение количества нитей и номера нити с

помощью вспомогательных процедур `omp_get_num_threads()` и `omp_get_thread_num()`. Написание

и прогон параллельной OMP-программы «Hello!».

#### 15. Общие и приватизированные переменные в OpenMP



Распределение переменных на общие и приватизированные по умолчанию. Опции директив

private, shared, firstprivate. Редукционные переменные и операции. Опция reduction.

Низкоуровневое распараллеливание. Параллельное численное вычисление значения определенного интеграла на низком уровне в OpenMP.

16. Директивы OpenMP для распределения работы нитей исполнения

Выполнения работы в параллельной части только одной нитью. Директивы single и master.

Функциональная декомпозиция. Директивы sections и section. Декомпозиция по данным.

Распараллеливание циклов. Директива for. Параллельное решение одномерного

дифференциального уравнения в частных производных с использованием явной четырехточечной

схемы в среде OpenMP.

17. Гибридное распараллеливание

Совместное использование технологий MPI и OpenMP. Использование системы очередей

TORQUE/PBS для гибридного распараллеливания. Гибридное распараллеливание решения

одномерного дифференциального уравнения в частных производных с использованием явной

четырёхточечной схемы.

18. Исследование систем ОДУ. Ляпуновские показатели

Математические модели динамических систем. Явные методы решения ОДУ. Явные методы Рунге-Кутты. Невозможность распараллеливания явных методов Рунге-Кутты.

Проблемы качественного анализа систем ОДУ. Показатели Ляпунова, функции

чувствительности к параметрам. Фундаментальная система решений (ФСР) уравнения в вариациях. Вычисление матрицы ФСР. Способы оценки показателей Ляпунова.

Алгоритмы с нормировкой векторов при подсчете показателей Ляпунова.

19. Основные идеи параллельной реализации методов решения ЖС ОДУ

Численные методы решения ЖС ОДУ. Неявные методы Рунге-Кутты. Анализ графа алгоритма. «Ослабление» неявных численных методов – методы Розенброка и W-методы. Способы распараллеливания матричных операций.

Лабораторная работа. Ускорение решения систем ОДУ с использованием систем с общей памятью. Пример – численное решение систем «умеренной» размерности (биология, химическая кинетика) с использованием технологии OpenMP.

## 20. Векторные и матричные операции

Векторные и матричные операции. Различные алгоритмы матричного умножения.

## 21. Линейные краевые задачи. «Параллельная прогонка» и редукционные алгоритмы

Алгоритм прогонки. Невозможность распараллеливания прогонки. Алгоритм Яненко–Коновалова («параллельная прогонка»). Метод редукции (четно-нечетного исключения) для решения линейной краевой задачи. Матричный вариант метода редукции. Лабораторная работа. Реализация алгоритмов Яненко–Коновалова и редукционного алгоритма на MPI.

## 22. Нелинейные краевые задачи

Метод стрельбы и «метод параллельной стрельбы». Квазилинеаризация и редукционные алгоритмы.

## 23. Явные разностные схемы решения уравнения теплопроводности

Явные методы решения задачи теплопроводности. Графы зависимостей. Характеристики уравнений. Способы распараллеливания явных методов решения. Геометрическое распараллеливание без перекрытия областей и с перекрытием областей. Динамическая схема распараллеливания. Сравнение эффективности различных вариантов распараллеливания.

Понятия о методах для решения задач с несколькими пространственными переменными.

## 24. Реализация неявных разностных схем для решения уравнения теплопроводности

Неявные методы решения линейного уравнения теплопроводности. Сведение к ЖС ОДУ – методы прямых. Неявные разностные схемы, метод редукции, использование алгоритма Яненко–Коновалова.

Лабораторная работа. Решение нелинейной задачи для уравнения параболического типа на примерах задачи о бегущей волне для квазилинейного уравнения (волна Самарского–Соболя–Зельдовича) или волновых взаимодействий в биологических активных средах (полулинейная система уравнений) с использованием различных подходов к распараллеливанию.

## 25. Реализация разностных схем для решения уравнений и систем гиперболического типа

Численные методы решения уравнений параболического типа (модельная задача). Явные схемы. Схема на шаблоне «кабаре». Сеточно-характеристические численные методы. Задача оптимизации схем в пространстве неопределенных коэффициентов. Понятия о методах для решения задач с несколькими пространственными переменными. Компактные разностные схемы. Бикомпактные разностные схемы. Способы их параллельной реализации.

Лабораторная работа. Численное решение квазилинейных уравнений гиперболического типа (примеры – уравнение Хопфа, уравнение КдФ, одномерная система уравнений газовой динамики, уравнения мелкой воды)

## 26. Контрольные работы

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Перформативность кино/театра. Мейнстрим и артхаус**

#### **Цель дисциплины:**

В центре курса – изучение эволюции кино и театра в контексте формирования перформативности второй половины XX – начала XXI веков, которая структурирует многоуровневую символизацию проявлений всех сторон человеческой жизни. Эти знания необходимы для специалиста, по существу, в любой гуманитарной области: современная перформативная эстетика, взаимодействующая с различными областями художественного акционизма, театральной антропологией и поэтикой киномонтажа, в XXI веке стала междисциплинарной областью, поскольку объект её изучения – язык визуальной выразительности – играет важнейшую роль в понимании актуальной трансформации цивилизационных процессов.

#### **Задачи дисциплины:**

- Знание законов и возможностей художественного монтажа как основы эстетического суждения и формы обработки культурной информации;
- представление о влиянии современных когнитивных процессов языкового сознания на эстетические системы современности;
- понимание социокультурных взаимосвязей эстетики с иными сторонами общественной жизни;
- представление о стратегиях эстетической коммуникации;
- понимание символических структур современного искусства;
- развитие мышления образами дифференцированных концептосфер;
- знание основного спектра авторских художественных стратегий современного искусства.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Взаимосвязь основных проблем религии, философии, естествознания и истории; место и значение христианского богословия в общей философской, научной и культурной традиции
- разнообразие парадигм развития искусства;
- современные стратегии эстетической коммуникации;

- предмет и основные понятия перформативной эстетики и постдраматического театра.

**уметь:**

- Самостоятельно мыслить; раскрывать внутреннюю взаимосвязь всех видов научного и философского знания и связь их с христианским богословием;
- определять степень влияния современной эстетики на различные сферы социальной действительности;
- уметь распознавать коды различных направлений эстетики перформативности;
- распознавать направления поисков современного театрального и киноязыка;
- определять тип устройства символических связей и характер творческого диалога между различными эстетическими системами;

**владеть:**

- Навыками работы с философскими, религиозными и научными текстами;
- навыками описания сходств и различий в категоризации окружающей действительности разными языками искусства;
- методами доказательства влияния «монтажа аттракционов» на художественные концепции современности и эстетическое мышление в целом;
- принципами анализа символических структур в современной эстетике;
- основными методами и приёмами анализа разноуровневых символических связей между эстетическими системами разных эпох, утвердившиеся в перформативной эстетике.

**Темы и разделы курса:**

1. Эстетика экрана и опыты сценических искусств

Предмет и задачи курса. Общее представление о киноведческом и театроведческом анализе. История теории кино и театроведения. Формирование целостной картины места кино как культурного феномена. Специфические особенности кино и театра как искусства, средства массовой коммуникации, сферы воспитания и формирования ценностей. Театр и кино как бизнес-сфера. Различия восприятия театра и кино. Возможности взаимного воздействия и взаимодополнения. Взаимосвязи между театральной антропологией, художественным и экранным акционизмом в перформативной эстетике. Концепция Э. Фишер-Лихте. Х.Т. Леман о перформативных основах искусства сцены XX века.

2. Истоки символического жеста на сцене. И его история – от античности до начала XX века

Истоки символического жеста на сцене. И его история – от античности до начала XX века. Основы художественных принципов античного театра как театра символических структур. Ритуализация жеста. Структура пространства античной сцены. Типология масок древнегреческого театра – гендерная и социальная дифференциация, «божественное» в маске. Уровни взаимодействия сакрального и человеческого в античном театре.

Антропогенез античной драмы. Современные опыты возрождения принципов античной трагедии. Пластическая и голосовая выразительность в театральных системах Индии и Японии. Символизация пространства, метафоризация жеста. Преобладание пластики и музыки над словом.

Символическая наполненность жеста в модернистской эстетике. Повышение роли символа и символических связей. Вагнеровский принцип синкретического искусства (Gesamtkunstwerk). Драматургии символизма на современной сцене. Вагнеровская музыкальная драма как пространство для перформативного эксперимента на экране и сцене рубежа XX-XXI вв.

Трансформация восточных театральных систем в искусстве рубежа XX-XXI вв. Метод Тадаши Судзуки – синтез актерского мастерства средневекового театра («Предание о цветке стиля» Д. Мотокиё) и сакрального диалога древнегреческой трагедии.

3. Истоки символического жеста на сцене. И его история – от античности до начала XX века

Первые эксперименты киноизображения. Прорыв братьев Люмьер и кинофантастика Ж. Мельеса. Становление монтажно-повествовательного языка (достижения Д.У. Гриффита). Синестезия и синтетическая природа киноискусства. «Творимая реальность» Кулешова. Формирование системы киножанров. Появление феномена кинозвезд.

4. Станиславский – Мейерхольд – Эйзенштейн

Режиссура в кино и театре. Классические принципы психологического существования на сцене и экране. В.Э. Мейерхольд в спорах с учением К.С. Станиславского. Биомеханика Мейерхольда. «Ревизор» Мейерхольда – отражение целостного художественного мира автора через трансформацию принципов реализма. Чарли Чаплин, Бастер Китон и ученики Мейерхольда в кино. ФЭКСы.

5. Монтаж как тотальный принцип в искусстве. «Монтаж аттракционов»

Основы эстетики киномонтажа. Ритм и смысл в монтажном произведении. Манифесты С. Эйзенштейна. «Монтаж аттракционов» как принцип воздействия на массового зрителя в театре и кино. Циркизация театра. Клиповый и фрагментарный монтаж в киноэстетике. Монтаж и деконструкция телесности. Метод сверхдолгого плана как «антимонтаж» и проявление принципов театра в кино. Немецкий киноэкспрессионизм vs советский монтаж позитивной реальности.

6. Эволюция отечественного кино на фоне истории театра

От дореволюционного кино к опыту 1960-х. Проблемы освоения звука в 1930-е гг. Кинематограф Второй мировой войны. Советское кино хрущевской «оттепели». Прорыв на экран молодых талантливых режиссеров. Содержательные и формальные находки. Сергей Бондарчук. Василий Шукшин. Фильмы Отара Иоселиани, Ларисы Шептыко и Киры Муратовой. Творчество Геннадия Шпаликова. Прорывные достижения отечественного театра 1960-х. Обновление Метода Станиславского Г. Товстоноговым и А. Васильевым, зарождение театра «Современник».

1980-е. Кино эпохи Перестройки и бум студийных театров в СССР. Авторское кино Андрона Кончаловского, Алексея Германа, Никиты Михалкова, Киры Муратовой.

## 7. «Перформативный поворот» и новая эстетика XX века

Рождение «неклассических» систем существования артиста на сцене и экране (М. Рейнхард, Г. Крэг, Б. Брехт, Е. Гротовский, Т. Кантор) в контексте поисков различных областей искусства XX века. Немое кино и новые возможности актера. Артист как сверхмарионетка. Минимализм на экране и сцене, гиперболизация центральных образов, принцип остранения. Современные варианты развития перформативных систем.

## 8. Киновселенные авторского кино и мейнстрима

Авторские художественные системы в кино и кино «морального беспокойства». Погружение в природу авторства. И. Бергман, Ф. Феллини, А. Тарковский, А. Балабанов, Ларс фон Триер, К. Тарантино. Диалогизм вестерна (американский вестерн / японский дзидайгеки-советский / революционно-приключенческий фильм / спагетти-вестерн). Вселенная кинокомикса.

## 9. Документальность на экране и сцене

Художественная выразительность документального монтажа в эстетике Д. Вертова. От «Киноглаза» к восприятию киномонтажа как репрезентации образа Вселенной (Ж. Делез). Поэтический монтаж в документалистике А. Пелешяна и Г. Реджио. Формы документального театра XXI века – театр «вербатим» и спектакль-расследование («Человек из Подольска» и «Свидетельские показания» Д. Данилова). Пределы документальности и манипулятивные практики. Документальный фильм и провокативность перформанса («Чешская мечта»).

## 10. Сценография, визуальная драматургия и эстетика молчания в перформативных искусствах и на экране

Самодостаточная выразительность визуального образа в пластических искусствах и экранной культуре. Минимализм и перформативность. Драматургия молчания. Эстетика сверхдолгого плана и slow cinema. Метод коллажа в сценическом и экранном пространствах. Экран и проекционная сценография в современном театре. Пластическая драма (Д. Надж), визуальный перформанс (Р. Уилсон, Р. Лепаж), артист как сверхмарионетка (Ф. Жанти).

## 11. Музыкализация кино и театра

Воздействие музыкальной эстетики на формирование языка театра и кино – от классической оперы до рэпа. Варианты воздействия музыки на структуру спектакля и фильма. Трансформация роли композитора в искусстве XXI века. Композитор и режиссерские киновселенные (М. Найман, Ф. Гласс, Э. Морриконе, А. Шнитке, Э. Артемьев).

## 12. Физическое сопresутствие актеров и зрителей

Опыт реконструкции эстетических систем прошлого как пограничная область в экспериментах перформативности. Реконструкция эстетических координат искусства прошлого как акт погружения в иную эпоху. От музыкального и оперного аутентизма к киноаутентизму. Воздействие физических параметров инструментария искусства на восприятие конкретной эпохи. От музейного образа к актуальной футурологии («Мир Дикого Запада»).

## 13. Аутентизм на экране и сцене

Взаимодействие между сценой/экраном и зрителем в перформативной эстетике. Эксперименты труппы Rimini Protokoll в открытом пространстве. Иммерсивный театр и театр за пределами театрального зала. VR-спектакль и 5D-фильм. Воздействие новых технологий на трансформацию форм диалога актера/автора со зрителем. Театр и вызовы пандемии-2020.

#### 14. «Общество спектакля» и социальный театр в киноэстетике

Театр, кино и политика. Язык визуальной манипуляции и его деконструкция. Концепция «общества спектакля» Ги Дебора. Формы социального театра – от советского авангарда 1920-х до акционизма начала XXI века. Элементы театра социального антагонизма на сцене и в общественной жизни. «Квадрат» Р. Эстлунда как отражение перформативного разворота в общественном сознании.

#### 15. Экранная эстетика и эстетика перформативности в творчестве крупнейших отечественных режиссеров театра и кино. Феномен «Все везде и сразу»

Уникальные черты проявления эстетики перформативности в творчестве крупнейших отечественных театральных режиссеров (В. Фокин, Ю. Бутусов, Клим и др.), а также киноэкспериментаторов 1990-х (А. Балабанов, А. Зельдович, П. Луцик, А. Саморядов и др.).

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Плазмодинамика**

#### **Цель дисциплины:**

Формирование базовых знаний о способах получения потоков плазмы и их применении в современной промышленности, науке и технологии.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами базовых знаний в области физики и техники ускорения плазмы;
- приобретение знаний о физических основах ускорения плазмы, отработанных методах эффективной транспортировки плазмы, взаимодействии потоков плазмы с магнитными полями, способах управления характеристиками плазмы, термализации плазменных потоков при их торможении;
- приобретение знаний об использовании ускоренных сгустков и потоков плазмы в современной промышленности, науке и технологии;
- приобретение сведений о современном состоянии и перспективах развития ускорителей плазмы;
- применение студентами полученных знаний в смежных и междисциплинарных научных областях.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- механизмы ускорения сгустков плазмы;
- основные физические процессы в канале ускорителя;
- характерные параметры потоков плазмы и способы их изменения;
- применения потоков плазмы в современной промышленности, науке и технологии.

##### **уметь:**

- проводить самостоятельно и в составе коллектива экспериментальные/теоретические исследования в области плазмодинамики;
- уметь выбирать и применять на практике адекватные методы диагностики;



- получать максимально точные значения измеряемых величин и правильно оценивать степень их достоверность;
- анализировать и обобщать результаты экспериментальных/теоретических исследований;
- выявлять и оценивать имеющиеся проблемы/противоречия и ставить новые задачи исследований.

**владеть:**

- экспериментальными методами исследования движущейся плазмы;
- навыками проведения модельных расчетов;
- культурой представления своих результатов на семинарах и конференциях;
- навыками написания научных статей.

**Темы и разделы курса:**

1. Предмет плазмодинамики. Потоки плазмы. Солнечный ветер.

Способы ускорения вещества. Механические и газокINETические устройства, ускорители заряженных частиц, плазмодинамические системы. Космическая и лабораторная плазмодинамика. Солнечный ветер. Выброс плазмы на стенку токамака.

Плазменные ускорители – устройства для генерации потоков плазмы. Достигнутые параметры. Примеры применения плазменных ускорителей в научных исследованиях и технологии.

2. Физические основы плазменных ускорителей. Механизмы разгона плазмы.

Физические основы плазменных ускорителей. МГД уравнения движения плазмы. Микро- и макроскопическая картина ускорения плазмы. Механизмы разгона плазмы: газокINETический механизм, ускорение «электронным» ветром, ускорение электрическим полем. Условия существования электрического поля в плазме (случай Лорентца, Больцмана и Векслера). Роль магнитного поля. Физические ограничения на скорость потоков плазмы.

3. О многообразии плазменных ускорителей. Классификация ускорителей.

О многообразии плазменных ускорителей. Классификация ускорителей. Импульсные, квазистационарные и стационарные плазменные ускорители. Ускорители низко и высоко энергетичных потоков плазмы. Тепловые и электромагнитные ускорители. Неизотермические ускорители плазмы. Ускорители с внешним и собственным магнитным полем. «Рельсотрон». Торцевой ускоритель. Ускоритель с замкнутым дрейфом электронов.

4. Плазмотроны. Принцип действия. Достигнутые параметры. Применение.

Стационарные источники плазменных потоков. Плазмотроны. (Принцип действия. Устойчивость разряда. Эрозия электродов. Достигнутые параметры. Технологические применения.)

## 5. Плазменные космические двигатели. Формула Циолковского.

Плазменные космические двигатели. Формула Циолковского. Электростатические и электромагнитные плазменные двигатели. Достигнутые параметры.

## 6. Импульсные ускорители плазмы. Пушка Маршалла. Плазменный фокус Филиппова и Мейзера.

Импульсные ускорители плазмы. Электродные и безэлектродные ускорители. Коаксиальный ускоритель. Пушка Маршалла. Фокусировка плазменного потока. Плазменный фокус Филиппова и Мейзера.

## 7. Основные физические процессы в канале ускорителя.

Основные физические процессы в канале ускорителя. Модель «снежного плуга». Подавление плазменных неустойчивостей.

## 8. Способы увеличения скорости и энергии плазменных потоков.

Особенности генерации мощных потоков плазмы. Согласование ускорителя с накопителем энергии. Геометрия ускорительного канала. Достигнутые параметры плазмы. Способы увеличения скорости и энергии плазменных потоков. Ускорители плазменных тороидов.

## 9. Взаимодействие движущейся плазмы с магнитными полями.

Взаимодействие движущейся плазмы с магнитным полем. Транспортировка плазменных потоков в магнитных полях различных конфигураций. Подавление крупномасштабных МГД неустойчивостей. Потери энергии при транспортировке плазмы в зависимости от величины и геометрии магнитного поля. Управление параметрами плазмы в процессе транспортировки. Сжатие потока, замагничивание плазмы, возбуждение ударных волн, изменение длительности потока.

## 10. Методы диагностики движущейся плазмы.

Методы диагностики движущейся плазмы. Способы измерения скорости, плотности, температуры и полной энергии плазмы. Зондовые методы измерений, скоростная фотосъемка, калориметрия, болометрия, интерферометрия, спектроскопия оптического и ВУФ диапазонов, томсоновское лазерное рассеяние, нейтронные и рентгеновские детекторы.

## 11. Термализация плазменных потоков. Получение ионно-горячей плазмы.

Термализация потоков плазмы - преобразование энергии направленного движения потока в тепловую энергию «стационарной» плазмы. Получение горячей плазмы. Термализация потоков плазмы на магнитном барьере. Условия торможения плазмы. Термализация потоков плазмы при их встречном взаимодействии. Границы кулоновского торможения плазменных потоков.

## 12. Турбулентные механизмы торможения потоков.

Взаимодействие бесстолкновительных потоков. Турбулентные механизмы торможения потоков. Бесстолкновительные ударные волны. Ионно-звуковая и шланговая неустойчивости. Достигнутые параметры термализованной плазмы (плотность, температура, энергосодержание).

## 13. Инжекция потоков плазмы в токамак.

Применение ускорителей в термоядерных исследованиях. Заполнение плазмой термоядерных ловушек. Ввод плазменных потоков в токамак и стелларатор. Поляризация плазменного потока. Дрейфовое движение плазмы поперек магнитного поля. Способы торможения плазмы на оси системы. Достигнутые параметры.

Инжекция мощных потоков сильно излучающей плазмы (Ne, Ar) в токамак для ослабления срывов тока.

14. Заполнение плазмой открытых магнитных ловушек. Газодинамическая ловушка (ГДЛ). Длинная антипробочная ловушка (ДАЛ).

Заполнение открытых ловушек. Инжекция плазмы в ловушку через торцевые магнитные пробки. Условия прохождения магнитных барьеров. Получение горячей плазмы с  $\beta \sim 1$  столкновением встречных потоков. Подавление крупномасштабных МГД-неустойчивостей. Поперечное удержание плазмы, достигнутые коэффициенты переноса. Результаты исследований газодинамической ловушки (ГДЛ) и длинной антипробочной ловушки (ДАЛ).

15. Генерация мощных потоков плазмы тяжелых газов (Ar, Kr, Xe). Создание источников рентгеновского излучения.

Создание мощных источников светового излучения на основе плазменных ускорителей. Особенности генерации потоков неводородной плазмы. Преобразование энергии движущейся плазмы в излучение при торможении. Характеристики излучения в зависимости от параметров плазменных потоков. Радиационный барьер и условия его преодоления. Разгон плазмы тяжелых газов (Ar, Kr, Xe) до энергии ионов выше 100 кэВ. Разработка источников рентгеновского излучения на базе современных плазменных ускорителей.

16. Создание источников нейтронного излучения на базе плазменных ускорителей.

Создание источников нейтронного излучения. Генерация нейтронов при столкновении потоков дейтериевой плазмы. Выход нейтронов при остановке потоков и при их пролете друг сквозь друга. Заполнение плазмой систем с дополнительным нагревом. Тета-пинч: сжатие и нагрев термализованной плазмы с  $\beta \ll 1$  внешним магнитным полем. Энергетическая эффективность системы, параметры плазмы, нейтронный выход. Тета-пинч с лайнером: сжатие плазмы с  $\beta \ll 1$  металлической оболочкой. Достигнутые степени сжатия.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Позиционно-чувствительные детекторы на основе полупроводниковых фотоприемников**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами теоретических и экспериментальных основ работы новых современных детекторов частиц на основе мультипиксельных лавинных фотодиодов и новейших сцинтилляционных кристаллов;
- ознакомление с возможностями их применения как в новейших исследовательских физических установках, так и в народном хозяйстве.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у студентов базовых знаний в области физики работы полупроводниковых фотодиодов, регистрации частиц в сцинтилляционных кристаллах, формирование понимания принципов выбора необходимых детекторов для поставленной исследовательской физической задачи;
- обучение студентов методам получения базовых характеристик детекторов, в частности временных и амплитудных разрешений, шумовых характеристик, формирование у студентов понимания механизмов процессов, из которых складываются величины этих параметров;
- обучение студентов методу быстрых расчетов (оценок) конечных параметров детекторов по известным величинам характеристик входящих в состав детектора компонентов (например, усилению фотодиода, плотностям, световыходам кристаллов и т.д.);
- обучение студентов (с использованием известных математических методов) получению параметров характеристических пиков в спектрах с разделением множественных пиков и выделения фона;
- изучение экспериментальных методов детектирования частиц с использованием фотодетекторов на современных установках с формированием понимания принципов выбора типа таких детекторов;
- информация о смежных задачах применения фотодетекторов в народном хозяйстве (медицина, микробиология и т.д.);
- информация студентов о проводимых инновационных разработках новых полупроводниковых лавинных фотодиодов и детекторов частиц на их основе в мире.

- формирование навыков использования современной электронной аппаратуры систем сбора информации, формирование понимания методов и причин выбора той или иной конфигурации систем сбора.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- место и роль детектирующих систем в научных исследованиях;
- современные проблемы экспериментальной физики в задачах ядерной физики и физики элементарных частиц ;
- принципы теории регистрации частиц в детектирующих системах;
- принципы работы фотодетекторов и, в частности, кремниевых фотодетекторов;
- новейшие разработки и области применения фотодетекторов в физике и народном хозяйстве.

#### **уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современной физики;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

#### **владеть:**

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы;
- математическим моделированием физических задач.

### **Темы и разделы курса:**

#### **1. Введение в принципы работы фотодетекторов**

Физические принципы работы. Внешний фотоэффект. Внутренний фотоэффект. Основные типы фотодетекторов, общие параметры. Фотоэлектронные умножители. Принцип работы, усиление, квантовая эффективность. Влияние магнитного поля на усиление. Энергетическое разрешение и шум

#### **2. Кремниевые фотоумножители**

Принцип работы. Эквивалентная схема. Вольт-амперная характеристика. Понятие напряжения пробоя. Механизм гашения лавины. Особенности и преимущества в сравнении

с другими типами фотодетекторов. Усиление SiPM. Методы определения усиления из амплитудных спектров. Темновой ток. Механизм возникновения. Зависимость от напряжения и температуры. Методы подавления импульсов, вызванных темновым током. Оптическая связь между ячейками фотодиода. Механизм и способы подавления. Зависимость величины оптической связи от напряжения. Метод определения оптической связи из амплитудных спектров. Послеимпульсы. Механизм возникновения и способы их подавления. Эффективность регистрации фотонов. Параметры, определяющие эффективность регистрации. Структура фотодиодов с максимальной чувствительностью в синей и зеленой областях спектра. Динамический диапазон фотодиодов. Способы увеличения динамического диапазона. Температурная зависимость напряжения пробоя и усиления фотодиодов.

### 3. Использование кремниевых фотодиодов в современных физических экспериментах

Основные свойства фотодиодов, определяющие их использование в экспериментах. Недостатки фотодиодов. Основные методы съема света с детекторов больших размеров. Принцип работы оптических волокон. Свойства основных видов используемых сцинтилляторов. Триггерные системы. Способы подавления фоновых импульсов. Калориметры с использованием кремниевых фотоумножителей. Методы съема света с сцинтилляторов. Современные трековые системы с использованием сцинтилляционных волокон и кремниевых фотоумножителей. Пространственное разрешение. Использование кремниевых фотоумножителей в черенковских счетчиках. RICH-детекторы – принцип работы и методы оптимизации светосбора. Основные установки, использующие кремниевые фотодиоды. Применение кремниевых фотодиодов в медицине, биологии, транспорте и т.д.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Поиск и верификация научной информации и экспертная оценка научных исследований**

#### **Цель дисциплины:**

Развитие у слушателей курса навыков поиска научной информации и формирование критериев ее отбора, понимания механизмов формирования научной репутации и развития навыков академического менеджмента.

Совершенствование у участников дисциплины основ экспертного мышления в контексте системного применения полученных знаний в последующей академической деятельности, совершенствование комплекса умений и навыков, необходимых для формирования профессиональных критериев экспертной оценки научных исследований.

#### **Задачи дисциплины:**

- изучение технологий, инструментов поиска научной информации;
- изучение способов проверки качества инструментов отбора информации и критериев ее отбора;
- изучение механизмов формирования научной репутации и правил научной этики;
- знакомство с международными инструментами формирования научной репутации и исключения нарушений исследовательской этики;
- изучение особенностей построения академической карьеры и исследовательской репутации в России и за рубежом;
- изучение технологий, инструментов поиска научной информации;
- изучение способов проверки качества инструментов отбора информации и критериев ее отбора;
- изучение механизмов формирования научной репутации и правил научной этики;
- знакомство с международными инструментами формирования научной репутации и исключения нарушений исследовательской этики;
- изучение особенностей построения академической карьеры и исследовательской репутации в России и за рубежом;
- знакомство с междисциплинарными и специализированными просветительскими проектами;

- изучение особенностей академического текста и его публичной презентации;
- знакомство с правилами оформления академического текста и справочно-ссылочными системами;
- формирование комплекса умений и навыков, необходимых для критериализации экспертной оценки научных исследований;
- изучение структуры экспертизы во взаимосвязи ее иерархически-соподчиненных составляющих;
- знакомство с экспертными позициями;
- анализ примеров поддержанных/отклоненных заявок различного профиля и качества экспертиз.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- инструменты поиска научных текстов и критерии проверки их качества;
- особенности принципов критериальности отбора научной информации с фокусом на анализ бэкграунда акторов академической деятельности;
- основы научно-исследовательской этики;
- основные международные инструменты проверки качества научных текстов и исследований;
- основные векторы поиска научной информации и способы его оптимизации;
- основы построения академического текста и его публичной презентации;
- особенности подготовки академического текста и основы представления его научной общественности;
- основы выстраивания публичной репрезентации образа исследователя в различных академических традициях в контексте условий формирования навыков управления наукой;
- основные подходы к методологии экспертизы и ее квалитативизации;
- структуру экспертизы во взаимосвязи ее иерархически-соподчиненных составляющих;
- основные экспертные позиции, такие как: автор публикации, рецензент, научный руководитель/консультант диссертационного/издательского проекта, официальный оппонент по диссертации, составитель отзыва ведущей организации на диссертацию, автор отзыва на автореферат диссертации, эксперт по грантовым проектам российского/инонационального/международного профилей и т.п.;
- методы критериализации оценок.
- методы оценки новизны и перспективности результатов исследований.

#### **уметь:**



- обосновывать оценку качества инструмента поиска научных текстов и критериев проверки их качества;
- опознавать основные признаки нарушения научно-исследовательской этики (плагиат, подлог данных, множественная публикация, загадочное авторство, неправомерное повышение цитирования, ложное/приписное авторство, влияние на авторские идеи вне научных факторов);
- использовать основные векторы поиска научной информации и способы его оптимизации;
- работать с современными инструментами формирования научно-исследовательской репутации;
- выстраивать публичную репрезентацию образа исследователя в различных академических традициях в контексте условий формирования навыков управления наукой;
- уметь использовать полученные знания для подготовки академического текста и представления его научной общественности;
- формулировать цель экспертизы;
- критериализовать оценку качества экспертизы;
- анализировать качество данных по теме объекта и предмета экспертной оценки;
- оценивать новизну и перспективность возможных результатов исследования;
- прояснять степень специализации проекта;
- формулировать методы критериализации откликов.

**Владеть:**

- навыками поиска научно-исследовательской информации и использования критериев ее отбора в контексте формирования репутационных механизмов и навыков академического менеджмента;
- основными навыками распознавания нарушения научно-исследовательской этики;
- основами академического текста и его публичной презентации;
- комплексом умений и навыков, необходимых для формирования профессиональных критериев экспертной оценки научных исследований;
- основными навыками экспертного мышления в контексте системного применения полученных знаний в последующей академической деятельности.

**Темы и разделы курса:**

1. Модуль 1. Построение академической карьеры и исследовательская репутация: российские реалии vs зарубежный опыт

1.1. Лекция: Построение академической карьеры и исследовательская репутация: российские реалии vs зарубежный опыт.

Современное состояние научного знания. Джокер-кейсы [определение Григория Консона] (Джеймс Линдси, Хелен Плакроуз, Питер Богосян, а также др.) в контексте перспектив развития независимой исследовательской мысли и влияния на нее текущей конъюнктуры (Приямвада Гопал, Кристин Стеварт, Сьюзен Зонтаг, Робин ДиАнджело, Эрик Дайсон и др.).

Академическая среда в России и за рубежом. Институт постдока. Публикационная активность, коллаборация, грантирование, рейтинги.

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия.

## 2. Модуль 2. Критерии отбора и проверки источников

### 2.1. Критерии отбора и проверки источников: начало. Хищники и охотники.

Лекция: Хищническая периодика и издательства, токсичные авторы. Нарушения академической этики: плагиат (по уровням – копипаст, плагиат идей, переводной плагиат и т.д.), научный подлог, множественные публикации, публикации с загадочным авторством.

Ложное (приписное) авторство + административный ресурс.

Некорректное цитирование. Само- и перекрестное цитирование. Искажение фактологии/авторства, битые ссылки и т.п.

Недостовверная отчетность по грантам/контрактам/гос. заданиям / договорам/соглашениям и др. = нецелевое расходование средств грантодателей.

Jeffrey Beall's list, <https://www.antiplagiat.ru>, [www.plagiarismcheck.org](http://www.plagiarismcheck.org), [www.duplichecker.com](http://www.duplichecker.com), <https://vroniplag.de/>, Диссернет и Диссеропедия (журналы, вузы).

Квартили и процентиль. Белые и черные списки библиотек (примеры: НЭБ, а также РГБ – в перспективе) и университетов (МФТИ, НИУ ВШЭ, МГУ им. М.В. Ломоносова и др.).

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия.

### 2.2. Критерии отбора и проверки источников: продолжение. Судьи и гибриды

Лекция: Редакционные практики в России и за рубежом. Ретракция статей. Добровольная (пример Фрэнсис Арнольд), принудительная (кейс Ильи Медведева). Внедрение в работу Clarivate и Elsevier элементов пакетной ретракции (термин Григория Консона).

РАН, ВАК Мин. науки и высш. обр. РФ, университеты.

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия.

### 2.3. Критерии отбора источников и их проверки: окончание. Инструменты.

Лекция: Сайты академической и quasi-академической периодики.

WoS vs Scopus (предметные рейтинги и рэнкинг), хедлайнеры академической периодики (периодичность публикаций и их вес).

Интеграция ссылок на фактологию и идеи, представленные на классических исследовательских ресурсах, порталах научно-просветительского профиля, а также неакадемических сайтах.

Качество и глубина ссылок в контексте проблематизации основного объекта исследования.

Выявление/формулирование исследовательских трендов.

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия.

3. Модуль 3. Поиск информации для академических исследований. Сайты (или/и плагины)

3.1. Поиск информации для академических исследований. Сайты (или/и плагины): начало.

Лекция: NathiTrust, Unpaywall, Open Access Button, Master Journal List, группы журналов университетов Расселовской группы (Oxford Journals Online, Cambridge Journals Online и др.) и Лиги Плюща (Harvard Journals / Harvard Library и т.п.).

Ведущая международная академическая периодика: Nature, Science и др.

PLOS One, SAGE, JSTOR, TEI.

Агрегаторы и сайты: Academia.edu, Google Scholar, Google Books, Frontiers, arXiv.org, ERIC, Psycjournals, диссертационные разделы сайтов университетов России и зарубежья.

Библиотеки, библиотечные системы и цифровые визитки исследователей: Библиотека Конгресса США, РГБ, eLibrary, КиберЛенинка, Истина (МГУ и др.), Gale, ResearcherID, ORCID.

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия.

3.2. Поиск информации для академических исследований. Сайты (или/и плагины): продолжение.

Лекция: Сайты издательских групп – Springer Link, Wiley Online Library, Taylor & Francis и др.

Издательства университетов – топ-20 QS, THE, ARWU.

Сайты государственных и частных архивов, специализированные зарубежные агрегаторы: Factiva и др., отечественные: EastView, Public.ru и др.

Поисковики со спорным правовым статусом (Sci-Hub); профильные порталы / группы (Arzamas, Постнаука, Всенаука, просветительские материалы РГБ и т.д.).

Блогеры/влогеры/ведущие тематических программ (Артем Оганов и др.) на телеканалах и в социальных сетях.

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия.

#### 4. Модуль 4. Академический текст и публичная его репрезентация

4.1. Лекция: Структура и стиль: Россия, Европа, США, Япония, Китай. Гибридные кейсы.

Справочно-ссылочные системы.

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия.

#### 5. Модуль 5. Экспертиза как инструмент: структура явления

5.1. Лекция: Понятие экспертизы и ее цель.

Отбор данных по теме объекта и предмета оценки. Их верификация.

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия.

5.2. Лекция: Анализ исследовательского потенциала кейса.

Научная новизна и перспективность возможных результатов. Специализационность проекта. Методы критериализации уже имеющихся откликов и т.п.

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия

#### 6. Модуль 6. Виды экспертов

6.1. Лекция: Классификация.

Автор публикации, рецензент, научный руководитель/консультант/редактор издательского/диссертационного проекта;

официальный оппонент по диссертации, составитель отзыва ведущей организации на диссертацию, автор отзыва на автореферат диссертации, председатель/член диссертационного совета;

эксперт по грантовым проектам российского/инонационального/международного профилей, эксперт по конкурсу ППС в российских и зарубежных университетах

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия

## 7. Модуль 7. Методология экспертизы и ее квалитативизация

7.1. Лекция: Типы подходов в оценке исследований: содержательные, формализованные, формальные, гибридные и системные подходы: теория и практика.

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия

7.2. Лекция: Россия и зарубежье. Общий уровень экспертизы в различных академических организациях: достоинства и недостатки.

Специализация и междисциплинарность

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия

## 8. Модуль 8. Личность эксперта vs работодатель: контроль качества экспертизы и контроль за деятельностью ее автора

8.1. Лекция: Компетентность эксперта и разносторонность его навыков (начало). Критериализация оценок. Независимость в академической работе. Персональная ответственность: правовые и моральные аспекты. Влияние на развертывание конкретных исследовательских трендов и формирование научного знания в целом.

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия

8.2. Лекция: Компетентность эксперта и разносторонность его навыков (окончание).

Статус эксперта при рассмотрении проекта: уровень влияния на принятие итогового решения; анонимность/деанонимизация: pro et contra.

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия

8.3. Лекция: Традиции проверки надлежащего уровня итогов рассмотрения проектов.

Традиции проверки надлежащего уровня итогов рассмотрения проектов. Условия возврата на доработку. Возможность автора заявки/текста оспорить/уточнить результаты его оценки. Основания для аннулирования результатов проведенной экспертизы. Ангажированность эксперта. Белые, серые и черные списки экспертов: основания для формирования.

Практика: Просмотр тематических видео и дискуссия по основным проблемным векторам, затронутым в рамках занятия

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **После классики: философия между наукой и литературой**

#### **Цель дисциплины:**

- приобщить студентов к историческому опыту мировой философской мысли, дать ясное представление об основных этапах, направлениях и проблемах истории философии, способствовать формированию навыков работы с предельными вопросами, связанными с границами и основаниями различных наук, а также эстетической и религиозной деятельности, овладению принципами рационального философского подхода к процессам и тенденциям развития современной общественной мысли.

#### **Задачи дисциплины:**

- систематизированное изучение проблем современной философии с учетом исторического контекста и многообразия современных дискурсивных практик;
- приобретение студентами теоретических представлений о многообразии форм человеческого опыта и знания, природе мышления, соотношении истины и заблуждения;
- знакомство с основными философскими и научными школами, направлениями, концепциями, с их ролью в современной культуре;
- понимание смысла соотношения биологического и социального в человеке, отношения человека к природе, дискуссий о характере изменений, происходящих с человеком и человечеством на рубеже третьего тысячелетия;
- знание и понимание диалектики формирования личности, ее свободы и ответственности, своеобразия интеллектуального, нравственного, эстетического и религиозного опыта разных исторических эпох.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- специфику методологического аппарата естественных и социогуманитарных наук;
- периодизацию истории философии;
- особенности классической и неклассической западной философии;
- основные направления неклассической философии;
- проблему сциентизма и антисциентизма в современной философии;

- проблему человека в современной философии;
- взаимосвязь мировоззрения, науки, искусства, религии и философии;
- проблему формирования мировоззрения;
- систему междисциплинарных отношений в науке и философии.

#### **уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические знания о человеке, его ценностных установках, свойствах характера, многообразии жизненного опыта, формах социализации, различных дискурсивных практиках;
- решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности;
- учитывать личностные особенности окружающих людей, правильно выстраивать коммуникацию с ними.

#### **владеть:**

- философской терминологией;
- приемами критического мышления и аргументированной дискуссии;
- навыками творческого подхода к формированию стратегии своей профессиональной деятельности и жизни в целом.

#### **Темы и разделы курса:**

##### 1. Введение. Классическая и неклассическая философия

Хронологические рамки классической и неклассической западной философии. Основные характеристики «классики», ее проблемы, методы и представители. «Предметный кризис» философии в первой трети 19 века и его внутренние и внешние причины. Формирование неклассической философии. Сциентистское и экзистенциально-антропологическое направления, их противостояние и точки соприкосновения. Расширение проблемного поля западной философии, размывание прежних дисциплинарных границ, изменение стиля и формы философствования.

##### 2. Предэкзистенциализм С. Кьеркегора

Личностный характер философии Кьеркегора, его религиозность. Радикальный разрыв с классической философией, антигегельянство. Учение о стадиях на жизненном пути человека. Понятия «экзистенции», «страха», «болезни к смерти» и др.

##### 3. «Философия жизни»

Новый образ античности в сочинениях Ф. Ницше. «Дионисийское» и «аполлоновское» начала. Понятие «жизни» и критика рационализма европейской культуры. Учение о разных типах морали, атеизм и нигилизм. Проект «переоценки всех ценностей». Учение о «воле к

власти», сверхчеловеке и вечном возвращении. Интерпретация философской поэмы «Так говорил Заратустра».

О. Шпенглер о кризисе западной цивилизации в книге «Закат Европы». Интерпретация исторического процесса. Критика европоцентризма. Исторический скептицизм. Трактовка культуры как организма. Типология культур. Основные антиномии концепции Шпенглера: природа и культура, морфология и физиогномика, причинность и судьба, культура и цивилизация и др. Теория общественного круговорота. Пессимистический активизм и «философия техники».

Особенности «философии жизни» А. Бергсона. Критика кантовских критериев научности. «Кинематографическая» природа интеллекта. Понятие «длительности». Интуитивизм. «Творческая эволюция» и «жизненный порыв». Учение о двух источниках морали и религии.

#### 4. Прагматизм

Теория «сомнения – веры» Ч. Пирса. Понятие «исследования» и метода науки. Прагматическое истолкование истины, «принцип Пирса» как ее критерий. Методы «закрепления верований».

«Радикальный эмпиризм» У. Джеймса. Принципы мировоззренческого плюрализма. Прагматистское понимание истины. Концепция «воли к вере». Учение о многообразии религиозного опыта.

Неопрагматизм Р. Рорти. Критика философии как «зеркала Природы», преодоление дуалистической онтологии. Поворот от «теории» к «нарративу». Ирония, метафора, редискрипция. Культурные эпохи и «словари» как исторические случайности.

#### 5. Психоанализ

3. Фрейд и формирование психоанализа. Учение о структуре личности (Я, Оно, Сверх-Я), биологические и социальные факторы неврозов. «Принцип реальности» и «принцип удовольствия», Эрос и Танатос. Подавление и сублимация либидо и механизм культуротворчества. Психоанализ как философско-антропологическая концепция и методология социального познания.

«Аналитическая психология» К. Г. Юнга. Понятие «коллективного бессознательного». Виды архетипов и факторы становления личности. Роль бессознательного в культуре.

Неофрейдизм Э. Фромма. Переосмысление «природы» человека. Учение об экзистенциальных дихотомиях. Индивидуальный и социальный характер человека. Проект «гуманистического управления» современным обществом.

#### 6. Герменевтика

Метод исторической интерпретации и искусство понимания «чужой индивидуальности» у Ф. Шлейермахера. Соотношение части и целого в процессе истолкования. «Герменевтический круг» понимания.



Герменевтика Х. Г. Гадамера. Понимание как способ существования человека в мире. «Истина» и/или «метод». «Предпонимание» и «предрассудок» как главные формы знакомства с миром. «Опыт жизни» и другие «опыты». Герменевтика и проблема традиции.

Герменевтический синтез П. Рикёра. Понимание как способ бытия человека. Символический характер культурного творчества. Репрезентация жизни в тексте. Социальные действия как конфликт интерпретаций.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Право интеллектуальной собственности**

#### **Цель дисциплины:**

- предоставить слушателям теоретический и фактический материал, освещающий различные области права интеллектуальной собственности (авторское, патентное право и т.д.) и актуальные тенденции развития, способствовать увеличению правовой грамотности в данной сфере.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области права интеллектуальной собственности как дисциплины, регулирующей правоотношения, связанные с созданием и использованием объектов интеллектуальной собственности;
- формирование навыков к выполнению студентами патентных исследований в области научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (патентный поиск, формирование и регистрация заявки на патентное свидетельство).

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- законы о защите интеллектуальной собственности;
- системы международной классификации объектов интеллектуальной собственности;
- виды договорных отношений в данной сфере.

##### **уметь:**

- проводить анализ отношений в сфере интеллектуальной собственности,
- определять статус их правового регулирования.

##### **владеть:**

- базовыми практическими навыками работы с объектами интеллектуальной собственности.

## **Темы и разделы курса:**

1. Интеллектуальная собственность и общественное достояние
  - 1.1. Интеллектуальная собственность: понятие, границы и проблемы
  - 1.2. Интеллектуальные права
  - 1.3. Объекты интеллектуальных прав
  - 1.4. История дискуссии о юридической природе интеллектуальных прав
  - 1.5. Теория права собственности
  - 1.6. Теория нематериальных ценностей
  - 1.7. Теория личных прав
  - 1.8. Общественное достояние
  
2. История авторского права
  - 2.1. Трансформация авторского права: связь с развитием способов передачи информации
  - 2.2. Развитие авторского права в Новое Время
  - 2.3. Copyright и droit d'auteur - две базовые концепции авторского права
  - 2.4. Авторское право в России
  - 2.5. Авторское право в современном мире
  
3. Объекты и субъекты авторского права
  - 3.1. Идеи и произведения
  - 3.2. Условия использования объекта АП
  - 3.3. Литературные произведения
  - 3.4. Музыкальные произведения
  - 3.5. Театральные произведения
  - 3.6. Произведения искусства
  - 3.7. Научные произведения
  - 3.8. Аудиовизуальные произведения
  - 3.9. Программное обеспечение
  - 3.10. Производные произведения
  - 3.11. Авторы
  - 3.12. Правообладатели
  - 3.13. Соавторство

- 3.13.1. Совместные произведения
- 3.13.2. Коллективные произведения
- 3.14. Произведения, выпущенные под псевдонимом или анонимно
- 3.15. Неизданные произведения

#### 4. Авторские права

- 4.1. Содержание авторского права
  - 4.1.1. Монистическая теория
  - 4.1.2. Дуалистическая теория
- 4.2. Личные неимущественные (моральные) права
  - 4.2.1. Право на обнародование
  - 4.2.2. Право авторства
  - 4.2.3. Право на неприкосновенность и целостность произведения
  - 4.2.4. Право на переработку произведения
  - 4.2.5. Право на отзыв или изъятие произведения из обращения
- 4.3. Имущественные (исключительные) права
  - 4.3.1. Право на воспроизведение
  - 4.3.2. Право на сообщение для всеобщего сведения
  - 4.3.3. Право следования

#### 5. Ограничения прав авторов

- 5.1. Понятие и виды ограничений
- 5.2. Свободное и бесплатное использование
  - 5.2.1. Личное использование
  - 5.2.2. Использование в учебных целях
  - 5.2.3. Библиотеки и архивные службы
  - 5.2.4. Право цитирования
  - 5.2.5. Использование в целях информации
  - 5.2.6. Право пользователя правомерно приобретенной компьютерной программы и базы данных
- 5.2. Недобровольные лицензии

## 6. Передача авторских прав. Сроки охраны произведений

### 6.1. Срок действия исключительного права на произведение

### 6.2. Предмет договоров

### 6.3. Соблюдение личных неимущественных прав

### 6.4. Авторское вознаграждение

### 6.5. Издательский договор

#### 6.5.1. Права автора

#### 6.5.2. Имущественные права

#### 6.5.3. Обязанности автора

#### 6.5.4. Права издателя

#### 6.5.5. Обязанности издателя

#### 6.5.6. Прекращение действия издательского договора

### 6.6. Свободные лицензии на программное обеспечение

#### 6.6.1. Вирусность и пермиссивность: две стратегии свободных лицензий

#### 6.6.2. Критерии свободных лицензий на программное обеспечение

#### 6.6.3. Лицензии свободного контента

#### 6.6.4. Лицензии Creative Commons

##### 6.6.4.1. Дизайн лицензий

##### 6.6.4.2. Базовые элементы лицензий

##### 6.6.4.3. Типы лицензий

## 7. Права, смежные с авторскими

### 7.1. История механического воспроизведения музыкальных произведений

### 7.2. Права артистов-исполнителей

#### 7.2.1. Юридическая природа прав исполнителей

#### 7.2.2. Объект прав исполнителей

#### 7.2.3. Личные неимущественные права исполнителей

#### 7.2.4. Имущественные права исполнителей

#### 7.2.5. Срок действия имущественных прав

### 7.3. Права производителей фонограмм

#### 7.3.1. Имущественные права производителей фонограмм

### 7.4. Права вещательных организаций

7.5. Исключительное право изготовителя базы данных

7.6. Права публикатора

8. Правонарушения в авторском праве

8.1. Гражданско-правовая защита

8.1.1. Доказывание права авторства

8.1.2. Доказывание нарушения права авторства

8.1.3. Ответственность за нарушение исключительного права на произведение

8.2. Административная ответственность

8.3. Условия возникновения уголовно-правовой защиты

8.3.1. Нарушение авторских и смежных прав

8.4. Технические средства защиты интеллектуальных прав

9. Авторское право в цифровую эпоху

9.1. Особенности использования произведений в Интернете

9.2. Трансформация отношений правообладателей и пользователей в России

9.3. Конфликт правообладателей и пользователей

9.4. Конфликт правообладателей и провайдеров

10. История патентного права

10.1. Предпосылки патентного права. Система привилегий и ее отмена.

10.2. «Статут о монополиях» 1623 года

10.3. Антипатентные движения в 19 веке

10.4. Развитие патентной системы. Парижская конвенция 1883 года

10.5. Патентное право в России

10.5.1. Дореволюционное патентное право

10.5.2. Советская патентная система

10.5.3. Постсоветский период

10.6. Международные договоры о патентной охране

10.7. Патентная охрана на региональном уровне

11. Объекты и субъекты патентования

- 11.1. Определение патента
- 11.2. Понятие приоритета
- 11.3. Объекты патентования
  - 11.3.1. Исключения из объектов
  - 11.3.2. Условия патентоспособности изобретения
  - 11.3.3. Условия патентоспособности полезной модели
  - 11.3.4. Условия патентоспособности промышленного образца
- 11.4. Субъекты патентования. Авторы и правообладатели. Патентные поверенные

## 12. Заявка на получение патента

- 12.1. Заявка на патент
- 12.2. Заявление о выдаче патента
- 12.3. Описание изобретения
  - 12.3.1. Структура описательной части заявки
  - 12.3.2. Международная патентная классификация: архитектура классификационных индексов
- 12.4. Формула изобретения
- 12.5. Экспертиза патентной заявки
  - 12.5.1. Формальная экспертиза
  - 12.5.2. Экспертиза заявки по существу
- 12.6. Информационный поиск в отношении заявленного изобретения

## 13. Патентные права. Защита патентных прав

- 13.1. Личные неимущественные права
- 13.2. Право на получение патента на изобретение, полезную модель или промышленный образец
- 13.3. Исключительное право на изобретение, полезную модель или промышленный образец
- 13.4. Зависимое изобретение, зависимая полезная модель, зависимый промышленный образец
- 13.5. Действия, не являющиеся нарушением исключительного права на изобретение, полезную модель или промышленный образец
  - 13.5.1. Использование изобретения, полезной модели или промышленного образца в интересах национальной безопасности

13.5.2. Право преждепользования на изобретение, полезную модель или промышленный образец

13.5.3. Принудительная лицензия на изобретение, полезную модель или промышленный образец

13.6. Сроки действия исключительных прав на изобретение, полезную модель, промышленный образец

13.7. Переход изобретения, полезной модели или промышленного образца в общественное достояние

13.8. Условия нарушения прав

13.9. Гражданско-правовая ответственность. Гражданский иск

13.10. Уголовно-правовая ответственность. Нарушение изобретательских и патентных прав

14. Права на средства индивидуализации. Товарные знаки, фирменные наименования, наименования мест происхождения товара, коммерческие обозначения

14.1. Товарные знаки и знаки обслуживания

14.2. Международная охрана товарных знаков

14.3. Признаки и виды товарных знаков

14.3.1. Отсутствие различительной способности знака

14.4. Регистрация товарных знаков

14.4.1. Международная классификация товаров и услуг

14.4.2. Экспертиза заявки

14.5. Срок действия исключительных прав на товарный знак

14.6. Исключительное право на товарный знак. Договорные отношения

14.7. Защита прав на товарный знак

14.8. Фирменное наименование

14.9. Право на наименование места происхождения товара

14.10. Право на коммерческое обозначение

15. Коммерческая тайна. Право на секрет производства

15.1. Международные стандарты

15.2. Российское законодательство

15.3. Коммерческая тайна и элементы ее охраны

15.3.1. Способы получения коммерческой тайны конкурентами



#### 15.4. Исключительное право на секрет производства

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Правовые вопросы в сфере образования**

#### **Цель дисциплины:**

Познакомить слушателей с основами правового регулирования основных институтов сферы образования, помочь студентам научиться ориентироваться в тенденциях и новациях в законодательстве об образовании.

#### **Задачи дисциплины:**

- изучение основ правового регулирования и государственной политики основных институтов сферы образования;
- знакомство с основными проблемами в толковании и (или) применении норм законодательства об образовании и возможными путями решения таких проблем;
- формирование навыков анализа юридических текстов и принятия по его результатам управленческих решений.
- осмысление тенденций и направления изменения в правовом регулировании основных институтов сферы образования.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основы правового регулирования основных институтов сферы образования;
- основные тенденции и направления изменения в правовом регулировании основных институтов сферы образования;
- основные проблемы в толковании и (или) применении норм законодательства об образовании;
- общие требования к реализации различных видов образовательных программ;
- правовые основы работы с одаренными детьми;
- особенности правового статуса различных участников образовательного процесса;
- особенности контроля в сфере образования;
- особенности правового режима предоставления платных образовательных услуг в государственных образовательных организациях.

**уметь:**

- ориентироваться в актуальной ситуации в сфере правового регулирования основных институтов сферы образования;
- решать основные проблемы в толковании и (или) применении норм законодательства об образовании;
- применять формальную логику в решении юридических вопросов в образовании.

**владеть:**

- нормативно-правовой базой в сфере основных институтов образования;
- навыками анализа юридических текстов, относящихся к сфере образования, и принятия по его результатам управленческих решений.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Система образования

1. Законодательное определение образования. Виды образования. Уровни образования
2. Формы получения образования. Образование и формы обучения. Дистанционное образование
3. Система образования
4. Содержание образования
5. Федеральные государственные образовательные стандарты
6. Федеральные государственные требования
7. Профессиональные и иные стандарты
8. Образовательная программа: понятие, виды, структура
9. Качество образования

## 2. Образовательная организация

1. Лица, осуществляющие образовательную деятельность
2. Организации, осуществляющие обучение. Образовательные организации. Типы образовательных организаций
3. Государственные, муниципальные и частные образовательные организации
4. Создание образовательных организаций. Название образовательной организации
5. Образовательная организация как учреждение. Казенные, бюджетные, автономные и частные образовательные учреждения

6. Реорганизация и ликвидация образовательной организации
7. Устав образовательной организации
8. Управление образовательной организацией. Руководитель образовательной организации
9. Общее собрание и конференция образовательной организации
10. Педагогический совет. Ученый совет
11. Частно-государственное партнерство и управление образовательной организацией
12. Попечительский совет. Управляющий совет. Наблюдательный совет
13. Структура образовательной организации
14. Обязанности образовательной организации. Юридическая ответственность образовательной организации

### 3. Обучающиеся

1. Категории обучающихся
2. Основные права обучающихся. Обязанности обучающихся. Юридическая ответственность обучающихся
3. Родители и иные законные представители несовершеннолетних обучающихся. Защита прав обучающихся. Особенности правового статуса отдельных категорий обучающихся

### 4. Педагогические работники

1. Номенклатура должностей педагогических работников
2. Правовой статус педагогического работника
3. Особенности регулирования труда педагогических работников

### 5. Реализация образовательных программ

1. Общие требования к реализации образовательных программ
2. Сетевая форма реализации образовательных программ
3. Реализация образовательных программ дошкольного образования. Реализация основных общеобразовательных программ. Реализация программ среднего профессионального образования. Реализация программ высшего образования:
4. Бакалавриат, специалитет, магистратура. Реализация образовательных программ подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре
5. Реализация образовательных программ профессионального обучения. Реализация образовательных программ дополнительного образования детей и взрослых. Реализация дополнительных профессиональных программ

6. Реализация образовательной программы и предоставление платных образовательных услуг. Правила оказания платных образовательных услуг

7. Проведение практики обучающихся. Контроль качества освоения образовательной программы. Итоговая аттестация по результатам реализации образовательной программы

6. Документы об образовании

1. Документ об образовании и образовательный ценз. Российские и иностранные документы об образовании. Документы об образовании установленного образца и документы об образовании государственного образца. Документы об образовании и (или) о квалификации.

2. Федеральный реестр документов об образовании

3. Документы об образовании и международное сотрудничество в сфере образования. Подтверждение документов об образовании. Признание образования, полученного в иностранном государстве

7. Управление и контроль в сфере образования

1. Лицензирование образовательной деятельности

2. Государственная аккредитация

3. Государственный контроль и надзор в сфере образования

8. Правовые основы работы с одаренными детьми

1. Законодательство РФ в области работы с одаренными детьми

2. Правовые аспекты подготовки школьников к Всероссийской олимпиаде школьников

9. Правовые основы электронной безопасности в образовании

1. Электронный документооборот в Гражданском кодексе РФ

2. Основные правовые понятия электронной подписи

3. Особенности правового статуса Удостоверяющих центров

4. Виды электронных подписей в соответствии с законодательством РФ

10. Формальная логика в юридических вопросах в образовании

1. Значение формального мышления для юридической науки, судопроизводства, юридической практики в образовании

2. Логическая аргументация и роли логики в полемике в образовательном процессе

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Практикум по параллельным алгоритмам на основе технологий MPI и OpenMP**

#### **Цель дисциплины:**

Целью курса является формирование у студентов практических знаний и навыков в области многопоточных вычислений на основе технологий MPI и OpenMP.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование основных знаний в области практического применения технологий MPI и OpenMP при распараллеливании алгоритмов и программ, работа с распределенными вычислительными системами;
- обучение студентов принципам создания эффективных параллельных алгоритмов, экспериментальное исследование разработанных алгоритмов, поиск узких мест, оптимизация;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области параллельных вычислений и математического моделирования с использованием современных технологий и программных средств параллельного программирования в рамках магистерских диссертационных работ.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основы архитектуры параллельных вычислительных систем;
- основные технологические этапы разработки параллельных программ;
- основные идеи при реализации численных алгоритмов, позволяющие избежать случая низкой эффективности распараллеливания;
- основные идеи разработки эффективных параллельных алгоритмов для решения задач математической физики;
- архитектуру стандартов MPI и OpenMP;
- архитектуру современных вычислительных кластеров.

##### **уметь:**

- экспериментально оценивать эффективность работы распараллеленных программ;
- выбирать эффективные численные методы для поставленных задач математического моделирования;
- работать на современных высокопроизводительных вычислительных системах;
- разрабатывать код программ, реализующий параллельные алгоритмы, выбирая адекватные средства синхронизации и атомарные операции платформы.

**владеть:**

- приемами распараллеливания алгоритмов и программ;
- навыками освоения большого объема информации;
- Техническими средствами разработки программ, исполняющихся в параллельном окружении;
- Библиотеками MPI и OpenMP, использующимися при разработке программ, и понимать их применимость к задачам;
- навыками самостоятельной работы при разработке и отладке параллельных программ.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение в курс. Основы MPI. Компиляция и запуск программ.

Архитектура вычислительных систем с разделяемой памятью. История суперкомпьютеров. Кластера типа Beowolf. Устройства кластера и основные его компоненты. Высокоскоростные сети. История и стандарты MPI. Существующие реализации MPI. Основные понятия о процессах в MPI. Адресация процессов.

2. Виды коммуникаций. Коммуникации типа точка-точка.

Типы коммуникаций в MPI. Коммуникации типа точка-точка. Блокирующие и неблокирующие коммуникации. Особенности использования буфера библиотекой MPI. Очередность получения и передачи сообщений процессорами.

3. Распараллеливание сеточных методов.

Основные алгоритмы распараллеливания сеточных методов решения PDE. Структурные и неструктурные сетки. Пакеты для деления неструктурных сеток. Распараллеливание на структурных сетках на примере уравнение теплопроводности в двумерном случае.

4. Групповые коммуникации.

Введение в групповые коммуникации в MPI. Особенности работы групповых коммуникаций. Типы групповых сообщений: синхронизация, сбор и передача данных, коллективные вычисления. Отличия и сходства в вызовах и работе с коммуникациями типа точка-точка. Взаимодействия процессов при групповых коммуникациях.

5. Распределенные операции с матрицами и векторами.

Алгоритмы распределенных операций над матрицами и векторами. Разбор примера решения СЛАУ методом сопряженных градиентов в MPI. Особенности работы с разреженными матрицами.

#### 6. Собственные типы MPI.

Понятие о типе данных. Виды типов данных в MPI. Создание своих типов. Разбор примеров. Оптимизация распараллеливания задачи теплопроводности используя собственные типы.

#### 7. Группы и коммутаторы. Виртуальные топологии.

Основные новшества в MPI-2. Динамическое порождение и уничтожение процессов. Параллельная работа с файлами.

#### 8. Введение в MPI-2.

Вычислительные системы с общей памятью. Стандарт OpenMP. Сравнение со стандартными реализациями потоков (POSIX Threads, WinAPI и другие реализации). Поддержка современными компиляторами. Особенности компиляции и запуска программ. Модель программирования OpenMP.

#### 9. Основы OpenMP.

Директивы PRAGMA и функции исполняющей среды OpenMP. Разбор простого примера «Hello World». Основные принципы программирования в OpenMP. Основные правила применения директив OpenMP, использующихся для описания данных и организации параллельных вычислений. Вопросы

видимости данных и корректности доступа к данным.

#### 10. Параллельное выполнение циклов, параллельные секции, синхронизация потоков. Гибридный параллелизм.

Методы распараллеливания циклов и контроля распределения работы между процессорами. Статическое и динамическое распределение итераций между потоками. Способы балансировки работы

процессоров с помощью директив OpenMP. Задание внешних переменных окружения с помощью

функций.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Практикум по прикладной статистике и машинному обучению**

#### **Цель дисциплины:**

Развитие у студентов навыков решения реальных задач прикладной статистики и машинного обучения с использованием языка программирования Python. Обучение на практике использования процедуры, функции языка программирования Python и современные библиотеки машинного обучения для решения реальных практических задач.

#### **Задачи дисциплины:**

- установление межпредметных связей между предметами «Прикладная статистика» и «Машинное обучение»;
- обучение практическому применению прикладной статистики и машинного обучения для решения реальных задач;
- обучение самостоятельной реализации методов прикладной статистики и машинного обучения в виде программ.
- приобретение навыков оформления результатов исследования и обоснования построенных моделей;
- приобретение практических навыков программирования на языке Python, включая работу с современными библиотеками машинного обучения.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- характеристики статистических рядов распределений,
- методы проверки статистических гипотез,
- статистические методы изучения связей,
- методы анализа данных, их свойства и способы использования,
- базовые модели машинного обучения,
- подходы к визуализации результатов анализа,
- основные объекты, процедуры и библиотеки языка Python, необходимые для решения задач прикладной статистики и машинного обучения.

**уметь:**

- проверять статистические гипотезы,
- выбирать и реализовывать подходящую для практической задачи модель машинного обучения;
- обосновывать оценку качества модели и метода выбора наилучшей модели;
- готовить данные для анализа,
- подбирать гиперпараметры модели,
- оформлять результаты исследования;
- работать с современными библиотеками машинного обучения;
- применять основные объекты и процедуры языка Python, необходимые для решения задач прикладной статистики и машинного обучения.

**владеть:**

- основными методами машинного обучения.
- навыками выбора наилучшей модели для машинного обучения;
- средствами разработки и тестирования программного кода на языке Python, объектами и средствами, предлагаемыми стандартными библиотеками, необходимыми для решения задач прикладной статистики и машинного обучения.

**Темы и разделы курса:****1. Статистические ряды распределений и их характеристики**

Атрибутивный и вариационный (дискретный, интервальный) ряды распределений. Варианта, частота, плотность распределения. Графическое изображение рядов распределения. Статистические таблицы.

**2. Выборочный метод. Проверка статистических гипотез.**

Статистические гипотезы. Основные понятия. Гипотезы о законе распределения. Гипотезы о числовом значении генерального среднего и дисперсии.

**3. Статистические методы изучения связей.**

Дисперсионный анализ. Корреляционно-регрессионный анализ.

**4. Модели машинного обучения**

Обучение с учителем. Обучение без учителя.

**5. Метод ближайших соседей**

Метрический классификатор и метод ближайших соседей. Вычисления оценок сходства между объектами.

## 6. Методы восстановления плотности и байесовские классификаторы

Оптимальный байесовский классификатор. Задача восстановления плотности распределения. Наивный байесовский классификатор. Непараметрическая оценка плотности. Нормальный дискриминантный анализ. Разделение смеси распределений.

## 7. Логистическая регрессия и метод опорных векторов

Аппроксимация эмпирического риска. Линейный классификатор и линейная регрессия. Метод стохастического градиентного спуска. Логистическая регрессия. Метод опорных векторов.

## 8. Бустинг над решающими деревьями

Решающие деревья. Случайный лес. Бустинг и бэггинг. Примеры решающих деревьев. Информативность. Алгоритмы построения решающих деревьев.

## 9. Визуализация и кластеризация

Качество кластеризации. Статистические, эвристические методы кластеризации. Иерархическая кластеризация. Сети Кохонена.

## 10. Нейронные сети

Модель нейрона, однослойная сеть. Метод обратного распространения ошибки для двухслойной нейросети. Методы оптимизации для нейронных сетей. Функции активации. Проблема затухания и взрыва градиента. Dropout. Batch Normalization. Автоэнкодеры. Сверточные нейронные сети.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Практикум по экспериментальной физике**

#### **Цель дисциплины:**

- ознакомление с техникой эксперимента, относящегося к изготовлению, характеристике и функционированию квантовых наноструктур.

#### **Задачи дисциплины:**

- познакомить студентов с экспериментальными приемами и техническими решениями, типичными для важнейших лабораторных методов исследования. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут осуществлять самостоятельную постановку и проведение экспериментов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные приемы работы в лабораториях по профилю специализации, основные положения теории для ключевых инструментальных методов.

##### **уметь:**

пользоваться освоенными в рамках дисциплины методами исследования, осуществлять эксперименты самостоятельно.

##### **владеть:**

приемами регистрации и обработки данных экспериментальных методов, освоенных в ходе изучения дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Низкотемпературные экспериментальные техники.

- сверхпроводящие интерферометры

- SQUID пиковольтметр

- измерения при температурах 4.2 – 1.2 К с откачкой He-4
- измерения при температурах ниже 1 К с откачкой He-3

## 2. Оптические экспериментальные техники.

- магнитооптические измерения
- спектроскопия комбинационного рассеяния
- оптическая спектроскопия отражения и поглощения

## 3. Методы характеристики наноструктур и наноматериалов.

- рентгеновская дифракция
- просвечивающая и растровая электронная микроскопия
- туннельная и атомно-силовая микроскопия
- рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия

## 4. Специальные микроскопические методы.

- магнитосиловая микроскопия для исследования доменной структуры
- рамановская микроскопия
- оптическая микроскопия наноразмерных объектов

## 5. Терагерцовые техники.

- терагерцовый детектор - макет
- терагерцовый детектор – реализация и отладка устройства

## 6. Технология наноструктур.

- оптическая литография
- электронная литография
- напыление тонких пленок
- изготовление контактов с помощью фокусированного ионного пучка
- гальванические технологии
- комбинированные технологии

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Преобразование лазерного излучения**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами фундаментальных знаний в области взаимодействия лазерного излучения с веществом, овладение методами и возможными подходами к проблеме, а также пониманием способов их практического применения.

#### **Задачи дисциплины:**

формирование базовых знаний в области основных нелинейно оптических явлений, которые протекают при больших интенсивностях воздействия на вещество, и использование этих явлений для создания новых приборов лазерной техники с уникальными возможностями и свойствами - как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;

обучение студентов основным принципам и подходам области физики взаимодействия излучения с веществом, освоение основных теоретических методов, применимых в этой области физики;

формирование правильных теоретических подходов к выполнению исследований студентами в области физики взаимодействия излучения с веществом в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;

современные проблемы физики и математики;

теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;

принципы симметрии и законы сохранения;

новейшие открытия естествознания;

постановку проблем моделирования физических процессов, протекающих в твердых телах;

о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

**уметь:**

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;

представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;

работать на современном экспериментальном оборудовании;

абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;

планировать оптимальное проведение эксперимента.

**владеть:**

планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;

научной картиной мира;

навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;

математическим моделированием физических задач.

**Темы и разделы курса:****1. Исторический очерк.**

Первый импульсный лазер Маймана. Метод Q-модуляции. Затворы: механические (вращающийся диск с отверстием, вращающаяся призма), электрооптические затворы Керра и Поккельса, акустооптический, просветляющийся поглотитель. Теоретическое рассмотрение на основе скоростных уравнений. Метод синхронизации мод (mode-locking). Активная синхронизация мод. Пассивная синхронизация мод с помощью просветляющегося поглотителя, одновременная Q-модуляция и синхронизация мод. Флуктуационная теория. Необходимость применения просветляющегося поглотителя с малым временем просветленного состояния (быстрый поглотитель). Красители в качестве активной среды, большая ширина спектра генерации с принципиальной возможностью генерации фемтосекундных импульсов. Особенности лазера с ламповой накачкой с пассивной синхронизацией мод с помощью красителей. Использование просветляющегося поглотителя со сравнительно большим временем просветленного состояния (медленный поглотитель).

**2. Лазер на красителе.**

Экспериментальные особенности: накачка сфокусированным пучком непрерывного лазера, резонатор Когельника, активная среда и поглотитель в виде свободно текущих струй. Оптимизация с целью сокращения длительности импульса: режим “сталкивающихся импульсов”, компенсация дисперсии групповых скоростей. Усиление импульсов. Схема задающий генератор-усилитель (MOPA = master oscillator + powerful amplifier). Проблема усиленного спонтанного излучения (ASE) . Метод усиления чирпированных импульсов. Переход к твердотельным активным средам на основе вибронных кристаллов (пример

Ti:сапфир). Пассивная синхронизация мод на основе эффекта керровской линзы. Прорыв в десятки и единицы фс. Волоконные лазеры и усилители.

### 3. Импульсный режим генерации.

Основные мотивации стремления сокращать длительность импульса: повышение разрешающей способности методик исследований сверхбыстрых явлений, повышение пиковой мощности и, следовательно, интенсивности и напряженности электрического поля световой волны. Новейшие достижения (рекорды) в области генерации ультракоротких импульсов (УКИ)

### 4. Основные характеристики импульсов лазерного излучения.

Фурье-ограниченные импульсы. Соотношения между длительностью шириной спектра. Эффекты распространения импульса в среде. Материальная дисперсия и дисперсия групповых скоростей (ДГС). Методы управления ДГС, оптическое волокно, призмный компенсатор, решетчатый растягиватель и компрессор импульсов, чирпирующие зеркала.

### 5. Нелинейные эффекты самовоздействия интенсивных импульсов в среде.

Самофокусировка (эффект керровской линзы), фазовая самомодуляция. Активные среды, источники и способы накачки, особенности резонатора для реализации эффекта керровской линзы, накачка оптического активного волокна через двойную оболочку.

### 6. Проблема измерения скорости света.

Методы и методики измерения. История: Галилей, Рёмер, Брэдли, Фуко, Физо. Стробоскоп. Развертка (Сегнер, Уитстон). Прямые электронные методы. Оптические корреляционные методы. Автокорреляторы интенсивности. Автокорреляция интенсивности в сочетании со спектральным разложением (FROG, SPIDER).

### 7. Принципы генерации УКИ.

Метод синхронизации мод (активной и пассивной). Механизмы действия быстрого и медленного насыщающегося поглотителя. Искусственный (безынерционный) поглотитель.

### 8. Когерентность.

Когерентность пространственная и временная, методы измерения и примеры использования лазерных источников с различной степенью когерентности. Особенности временной когерентности излучения лазеров фемтосекундных импульсов непрерывного действия.

### 9. Схемы фемтосекундных лазеров.

СРМ-лазер на красителях. Лазер с керровской линзой. Волоконный лазер.

Теоретическое рассмотрение генерации фемтосекундных импульсов в лазере с керровской линзой.

### 10. Усиление УКИ.

Особенности и ограничения. Многопроходные схемы. Регенеративное усиление. Схема усиления чирпированных импульсов. Принцип действия, радиолокационная аналогия.



Схемы растяжения и сжатия импульсов дифракционными решетками. Примеры мощных систем тера- и петаваттного уровня. Сжатие импульса до длительности менее 5фс.

#### 11. Терагерцовые пучки.

Терагерцовые пучки, УКИ в субмиллиметровом диапазоне. Оптоэлектроника, когерентная Фурье-спектроскопия дальнего ИК диапазона.

#### 12. Нелинейная релятивистская оптика.

Индукцированные ядерные реакции. Управляемый термоядерный синтез. Эксперименты по нелинейным эффектам квантовой электродинамики.

#### 13. Прецизионная метрология частоты и времени.

Системы волоконно-оптических генераторов суперконтинуума. Проблема измерения и контроля фазы несущей волны в фемтосекундных импульсах. Схемы измерения абсолютных оптических частот и передачи информации со скоростью свыше 1Тбит/с.

#### 14. Генерация высших гармоник.

Импульсы рентгеновского диапазона аттосекундной длительности.

#### 15. Современное состояние проблемы .

Существующие приборы и лазеры со сверхкороткой длительностью импульса. Современные мощные лазеры. Фундаментальные проблемы уменьшения длительности и увеличения мощности. Проблемы измерения сверхкоротких импульсов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Прецизионные измерения**

#### **Цель дисциплины:**

– представить на глубоком уровне основные теоретические и экспериментальные методы прецизионных измерений и методы описания флуктуаций, ограничивающих точность измерений.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области описания флуктуационных процессов и методов прецизионных измерений в астрофизических и лабораторных исследованиях;
- закрепление у студентов базовых знаний в области квантовой оптики (описание взаимодействия электромагнитного излучения с атомами);
- обучение студентов основным принципам и методам прецизионных измерений в современной физике, описание методов прецизионных измерений в астрофизике и космическом сегменте, тесты Общей теории относительности, представление современных методов синтеза точных сигналов времени и частоты, определение ряда фундаментальных констант, изучение методов захвата и лазерного охлаждения ионов и нейтральных атомов, фундаментальное ограничение точности из-за квантовой природы;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области прецизионных измерений в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- принципы описания флуктуационных процессов в осциллирующих системах;
- принципы передачи сигналов времени и частоты, принципы лазерного охлаждения и захвата атомов и ионов;
- основные методы возбуждения и считывания атомных систем;
- методы измерения оптических частот.

##### **уметь:**

- выполнять анализ шумовых характеристик;

- решать задачи из области прецизионных измерений в лабораторных и астрофизических измерениях;
- выполнять преобразование времени и частоты при передаче сигналов.

**владеть:**

- методами описания флуктуаций во временном и спектральном представлении и их взаимном преобразовании;
- методами преобразования частоты и времени в рамках ОТО;
- методами описания лазерного охлаждения и удержания атомов;
- методами расчета взаимодействия атомных систем с резонансным излучением.

**Темы и разделы курса:**

1. Статистические методы описания сигналов с флуктуирующей фазой.

Коррелированные флуктуации. Аллановская девиация. Типы шумовых процессов в стандартах частоты. Связь аллановской девиации и спектральной плотности мощности шума. Вычисление аллановской девиации для различных шумовых процессов.

Спектр мощности квазимонохроматического сигнала с флуктуирующей фазой. Построение корреляционной функции. Спектральная форма линии. Случай мелких высокочастотных и глубоких низкочастотных флуктуаций фазы, соответствующие формы линии. Преобразование спектра в нелинейных процессах.

2. Общая теория относительности в приложении к передаче сигналов времени и частоты.

Понятие о метрике пространства-времени. Метрика Минковского. Пространство-время в теории гравитации Эйнштейна. Основы геометрии ОТО. Преобразование времени во вращающейся системе координат, гравитационный сдвиг, эффект Саньяка. Методы передачи сигналов времени и частоты. Сличение часов. Методы односторонней и двусторонней передачи.

3. Прецизионные измерения в астрофизике.

Пульсары как астрофизические источники периодических импульсов. Физика пульсаров. Флуктуации частоты. Пульсары в двойных системах. Дрейф периастрия в двойных системах. Излучение гравитационных волн. Методы регистрации спектров квазаров. Калибровка астрофизических спектрометров. Поиск экзопланет. Поиск дрейфа и градиента постоянной тонкой структуры.

4. Глобальная система спутниковой навигации.

Орбиты спутников, сдвиги частоты, точность измерений. Кодировка и декодировка данных. Методы CDMA, TDMA, FDMA. Коррекция ошибок. Шкалы времени TAI, UTC. Синхронизация времени между удаленными объектами. Учет дисперсии атмосферы.

5. Двухуровневая система. Метод Рэмси. Микроволновые стандарты частоты.

Двухуровневая система. Оптические уравнения Блоха. Вектор псевдоспина. Осцилляции Раби. Возбуждение последовательностью когерентных взаимодействий. Метод Рэмси. Микроволновые стандарты частоты. Водородный мазер. Условия генерации. Шумовые характеристики водородного лазера. Пучковые цезиевые часы и их характеристики. Атомная интерферометрия. Дифракция атомов на лазерных волнах, интерферометр Борде.

6. Метод лазерного охлаждения и захвата нейтральных атомов. Прецизионные измерения в ультрахолодных атомах.

Лазерное охлаждение атомов. Оптическая патока. Доплеровский предел. Субдоплеровское охлаждение, сизифовский метод. Предел отдачи. Ловушки для нейтральных атомов. Магнитная дипольная, оптическая дипольная, магнито-оптическая ловушка. Атомный фонтан. Атомы в оптических решетках.

7. Захват и охлаждение ионов. Уравнения Матье. Прецизионные измерения в ионных ловушках.

Методы захвата заряженных частиц. Ловушка Пауля. Уравнения стабильности, параметры Матье. Псевдопотенциал. Частоты микро- и макродвижения.

Ловушка Пеннинга. Магнетронная, циклотронная и аксиальные частоты. Прецизионное измерение масс в ловушке Пеннинга. Методы охлаждения ионов в ловушках. Лазерное охлаждение. Доплеровский предел. Охлаждение на боковых колебательных частотах. Режим Лэмба-Дике. Спектроскопия сильнозапрещенных переходов.

8. Прецизионные измерения с использованием методов квантовой логики.

Метод квантовых скачков. Элементы квантовой логики в ионных ловушках. Операция CNOT. Передача информации между часовым и считывающим ионами. Симпатическое охлаждение. Прецизионная спектроскопия с использованием метода квантовой логики.

9. Измерение оптических частот.

Спектральные свойства фемтосекундного лазера. Фазовая и групповая скорости распространения импульса в резонаторе, возникновение офсетной частоты. Расширение спектра в нелинейном волокне, фотонно-кристаллические волокна. Нелинейный интерферометр. Метод регистрации и стабилизации офсетной частоты. Измерение абсолютной частоты лазерного излучения с помощью фемтосекундного синтезатора частот.

10. Приближение к границе точности. Фундаментальные ограничения на точность измерений.

Приближение к квантовому пределу. Соотношение неопределенности. Квантовые флуктуации электромагнитного поля. Флуктуации населенности в квантовых поглотителях. Использование сжатых и перепутанных состояний для подавления шумов. Флуктуации в твердых телах, тепловые шумы. Квантовый предел стабильности интерферометра. Предельная чувствительность детекторов гравитационных волн.

11. Захват и охлаждение ионов.

Уравнения Матье. Прецизионные измерения в ионных ловушках.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Приборы и методы исследования планет**

#### **Цель дисциплины:**

формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических и экспериментальных концепций в области исследования планет;

развитие умений, основанных на полученных знаниях, позволяющих на творческом уровне создавать и применять методы для исследования планет;

получение студентами навыков самостоятельной исследовательской работы, предполагающей изучение специфических алгоритмов, инструментов и средств;

получение практических навыков использования данных современных космических экспериментов для решения задач.

#### **Задачи дисциплины:**

получение базовых знаний, необходимых студенту для проведения научных исследований в рамках своей магистерской работы.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- дистанционные методы исследования планет;
- контактные методы исследования планет;
- основы физики планет;
- основные типы оптических и спектрометрических инструментов для исследования планет.

##### **уметь:**

- пользоваться знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач планетной физики;
- видеть в задачах физическое содержание;
- делать численные оценки по порядку величины;

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций в планетной физике;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

**владеть:**

- работы с современной научной литературой по данному вопросу;
- культурой постановки и моделирования задач планетной физики;
- практикой исследования и решения задач физики планет;
- навыками теоретического анализа реальных задач в различных областях космического пространства.

**Темы и разделы курса:**

1. Условия в атмосфере планеты, метеопараметры, состав атмосферы, аэрозоли.

Условия в атмосфере планеты, метеопараметры, состав атмосферы, аэрозоли. Климатические системы, количественные оценки эволюции атмосферы и климата, обитаемость. Классификация методов измерений, дистанционные, контактные, активные.

2. Условия на поверхности планеты, физические, химические.

Условия на поверхности планеты, физические, химические. Внутренне строение, морфология, геология, состав поверхности, летучие компоненты, взаимодействие с атмосферой, обитаемость. Классификация методов измерений, дистанционные, контактные, с активацией, разрушающие (пиролиз). Методы исследования внутреннего строения.

3. Дистанционные измерения. Изображения, спектроскопия, радиометоды, лидар.

Дистанционные измерения. Изображения, спектроскопия, радиометоды, лидар. Мониторинг климатических параметров со спутников.

4. Атмосферная спектроскопия высокого разрешения.

Атмосферная спектроскопия высокого разрешения. Измерения состава атмосферы, детектирование малых составляющих. Спектральные диапазоны измерений. Метод затмений. Типы спектрометров высокого разрешения. Фурье-спектрометры, эшелле-спектрометры, гетеродин.

5. Контактные измерения в атмосфере, планетная метеорология.

Контактные измерения в атмосфере, планетная метеорология. Метеодатчики (давление, температура, скорость ветра), нефелометры, газоанализаторы (хромато-масс-спектрометр, спектроскопия в кювете).

6. Дистанционные и неразрушающие методы исследования поверхности.

Дистанционные и неразрушающие методы исследования поверхности. Морфология: анализ изображений, построение карт. Альтиметрия, радары, лидары. Геоинформационные системы. Минералогия: картирующие спектрометры оптического диапазона, гамма, нейтронная, и рентгеновская спектрометрия.

#### 7. Контактные методы исследования поверхности.

Контактные методы исследования поверхности. Элементный и структурный анализ вещества. Активация, пиролиз. Измерения физических свойств.

#### 8. Геофизические методы исследования планет, внутреннее строение.

Геофизические методы исследования планет, внутреннее строение. Магнитное поле, электромагнитное зондирование. Сейсмометрия, методы регистрации собственного движения небесных тел. Гравиметрия, траекторные измерения.

#### 9. Оценка обитаемости, поиск следов жизни и живых форм.

Оценка обитаемости, поиск следов жизни и живых форм. Критерии обитаемости, обитаемость в прошлом и в настоящем. Подходы к оценке обитаемости. Хиральность. Методы обнаружения ископаемых и современных форм жизни. Понятие о планетарной защите.

#### 10. Комплексы научной аппаратуры, принципы организации космических проектов.

Комплексы научной аппаратуры, принципы организации космических проектов. Организация научных космических проектов. Понятие о требованиях, предъявляемых к научной аппаратуре и системам космических аппаратов. Целевые научные комплексы, критерии отбора научной аппаратуры. Примеры проектов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Прикладная аналитика данных**

#### **Цель дисциплины:**

- формирование/совершенствование компетенций в области сбора, обработки, анализа и визуализации данных.

#### **Задачи дисциплины:**

- сформировать понимание роли аналитика в команде и его инструментов;
- сформировать умение работать в команде и с подрядчиками;
- сформировать умение презентовать результаты;
- сформировать умение работы с основными типами бизнес-метрик;
- сформировать навык по построению метрик;
- сформировать умение расчета Unit экономики;
- сформировать понимание общей организации исследований, сбора и оценки данных для исследования;
- сформировать умение анализа рынка digital-продуктов на открытых данных;
- сформировать умение проведение конкурентного анализа;
- сформировать умение работы с Google Analytics и Яндекс Метрикой;
- сформировать умение составления ТЗ/карты событий;
- сформировать умение работы с Firebase и атрибуцией;
- сформировать умение писать типовые запросы для выборки различных данных;
- сформировать умение создавать корректную структуру базы данных;
- сформировать знание основ программирования на Python;
- сформировать умение применять синтаксис Python для написания простых программ;
- сформировать знание основных инструментов Python для анализа данных;
- сформировать умение применять Python для сбора и обработки данных;
- сформировать умение применять Python для визуализации данных;



- сформировать умение решать практические задачи анализа данных с помощью Python;
- сформировать умение организовывать и проводить А/Б-тестирование;
- сформировать умение делать выводы по результатам А/Б-тестирования;
- сформировать умение применять А/Б-тестирование для решения задач анализа данных;
- сформировать знание основных принципов визуализации данных;
- сформировать умение наглядно представлять результаты анализа данных;
- сформировать умение использовать инструменты визуализации.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

- модель Lean Canvas;
- HADI-циклы;
- основные бизнес-метрики (анализ продуктовых метрик);
- матрицы BCG, ABC, XYZ (организация и проведение исследований);
- SWOT-анализ, матрица McKinsey, PESTELI-анализ, ситуационный анализ (организация и проведение исследований);
- инструмент Google Analytics;
- инструмент Yandex Metrica;
- инструмент Google Tag Manager;
- математические термины и понятия, используемые для анализа данных;
- методы статистического анализа;
- синтаксис языка запросов SQL;
- команды модификации;
- принципы работы представлений, хранимых процедур, триггеров;
- принципы работы оконных функций;
- методы оптимизации SQL-запросов;
- возможности языка Python и его особенности;
- синтаксис Python;
- базовые конструкции языка Python;
- основные библиотеки для работы с данными;
- способы визуализации данных;
- методы сбора обработки данных;

- практики проверки гипотез;
- способы проведения А/Б-теста;
- основные принципы визуализации данных;
- инструменты для визуализации данных.

**уметь:**

- работать в команде и с подрядчиками;
- презентовать результаты;
- выбирать и рассчитывать продуктовые метрики и бизнес-метрики при реализации проектов (анализ продуктовых метрик);
- рассчитывать unit-экономику (анализ продуктовых метрик);
- работать в команде;
- строить модели и формулировать гипотезы для улучшения продукта и регулирования процессов анализа продуктовых метрик;
- применять алгоритмы создания запросов в SQL;
- загружать данные из БД с помощью SQL;
- выбрать наиболее оптимальный способ написания SQL-запросов для извлечения данных;
- использовать среду программирования на Python;
- писать простые программы на Python;
- выбирать инструменты для работы с данными в зависимости от условий задачи;
- решать задачи анализа данных с помощью Python;
- наглядно представлять результаты анализа данных;
- анализировать результаты А/Б-теста;
- применять А/Б-тестирование для решения типовых задач;
- выбирать способ визуализации в зависимости от условий задачи;
- наглядно представлять результаты анализа данных.

**владеть:**

- методами исследования и анализа рынка;
- инструментами web и app аналитики;
- python для решения задач анализа данных;
- postgresSQL;

- yandex DataLens для визуализации данных.

## **Темы и разделы курса:**

### 1. Введение в продуктовую аналитику

Роль и место аналитика в продуктовой команде. Основные инструменты аналитика. Работа с командой и подрядчиками. Решение бизнес-задач в команде. Презентация результатов команде.

### 2. Анализ продуктовых метрик и Unit экономика

Основные типы бизнес-метрик. Навыки построения метрик. Unit-экономика. Декомпозиция метрик и факторный анализ.

### 3. Организация и проведение исследований

Введение в организацию исследований. Сбор и оценка данных. Анализ рынка digital-продуктов на открытых данных. Сравнение с конкурентами. Способы анализа продукта и продуктовых матриц. Инструменты комплексного анализа рынка. Оценка емкости рынка. Конкурентный анализ. Особенности проведения исследований клиентов.

### 4. Web и app аналитика

Введение в веб-аналитику/инструменты. Google Analytics и Яндекс Метрика. Введение в app-аналитику/инструменты. Составление ТЗ/карта событий. Firebase и атрибуция.

### 5. SQL для анализа данных

Введение в SQL. Работа с командами. Функции фильтрации и вычисляемые поля. Функции аналитики. Подзапросы и объединение таблиц. Команды модификации языка DML. Создание и модификации таблиц. Представления и хранимые процедуры. Переменные. Триггеры. Расширенные возможности SQL и основные ограничения. Аналитические функции. Основные особенности PostgreSQL. Оконные функции.

### 6. Введение в Python

Введение. Типы данных. Условия. Циклы. Модули и пакеты. Коллекции: множества, строки, списки, кортежи. Функции. Словари.

### 7. Python для автоматизации анализа данных

Библиотека Pandas для работы с данными. Библиотека NumPy. Обработка и визуализация с Matplotlib и Seaborn. Библиотека SciPy.

### 8. А/Б-тестирование

Введение в А/Б-тесты. Математическая статистика. Параметрические критерии. Непараметрические критерии. А/Б-тестирование для решения типовых задач.

### 9. Визуализация данных

Основы визуализации. Принципы визуализации. Диаграммы. Прикладные инструменты визуализации.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Прикладная геология и геодинамика**

#### **Цель дисциплины:**

- изучение условий генерации нефти и газа и закономерностей формирования месторождений этих основных видов энергетического сырья. Рассматривается эволюция природных органических соединений от живого вещества до горючих полезных ископаемых; процессы превращения биомолекул в геологические объекты, их преобразование в литогенезе.

#### **Задачи дисциплины:**

К основным задачам дисциплины получение студентами знаний о:

1. геологическом строении нефтегазоносных бассейнов;
2. базовых приемах интерпретации геофизических данных, направленных на выявление особенностей строения и углеводородной продуктивности недр;
3. основных принципах прогнозирования структуры и свойств осадочных толщ на основе комплексной интерпретации сейсмических и скважинных данных;
4. использовании каротажных данных для определения петрофизических зависимостей;
5. геохимических методах исследования осадочных формаций и количественного и качественного прогнозирования нефтегазоносности недр;
6. методиках подсчета запасов как на региональном, так и на локальном уровнях.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные принципы геологической интерпретации геофизических данных для решения задач нефтяной геологии,
- современные методики геологической интерпретации геофизических данных,
- методы прогноза структуры и свойств нефтегазопоисковых объектов.

##### **уметь:**

- на основании геохимической информации о свойствах и составе углеводородов оценивать их качество,
- интерпретировать геолого-геохимические данные для решения вопросов поиска и разведки горючих ископаемых,
- пользоваться научной литературой для геолого-геохимических обобщений и написания производственных отчетов,
- анализировать базы данных по свойствам и составу горючих ископаемых и органического вещества и обрабатывать их.

**владеть:**

- навыками постановки геологических задач для решения вопросов нахождения углеводородного сырья, основными элементами качественной и количественной интерпретации геолого-геохимических данных при поисках и разведке горючих ископаемых;
- терминологической базой дисциплины – системой терминов и определений, образующих фундаментальную научную основу дисциплины;
- навыками постановки геологических задач для решения вопросов нахождения углеводородного сырья;
- базовыми программами обработки, качественной и количественной интерпретации геолого-геофизических данных при поисках и разведке горючих ископаемых.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение. Состав и свойства углеводородов

Цель, задачи и значение курса. Предмет и методы исследования. Положение геологии и геохимии горючих ископаемых в ряду других наук. Значение нефти, газа в экономике, их место в топливно-энергетическом балансе. Анализ изменения добычи нефти и газа в России, СССР (с конца 19 века до наших дней) и перспективы развития ресурсной базы в России. Ресурсы, запасы и добыча нефти и газа в разных регионах мира. Ознакомление с базой данных (геологические данные по изучаемому региону, 2D или 3D сейсмические данные, каротажные диаграммы, геологические отчеты по скважинам). Сбор литературных данных. Органогенные элементы, входящие в состав горючих ископаемых, их изотопный состав в разных природных объектах. Свойства нефти: органолептические, физические - плотность, показатель преломления, молекулярная масса, вязкость, гидрофобность, растворимость, поверхностное натяжение, температура потери текучести, оптические - оптическая активность, люминесценция. Связь физических свойств с химическим составом. Состав нефти: элементный, фракционный, групповой (масла, твердые парафины, смолы, асфальтены), групповой углеводородный (алкановые, циклоалкановые, ароматические углеводороды (УВ)). Молекулярный состав углеводородов и неуглеводородных (гетероатомных) кислородных, азотистых и сернистых соединений. Хемофоссилии, их связь с биомолекулами живого вещества. Состав и физические свойства природных газов. Углеводородные газы, азот, двуоксид углерода, сероводород, инертные газы. Растворимость газов в жидких УВ. Классификации природных газов. Растворимость

жидких УВ в газах - ретроградное испарение. Ретроградная конденсация. Конденсаты, конденсатные системы. Газогидраты - твердые газовые растворы. Условия образования газогидратов, формы проявления, распространенность. Состав, свойства, кристаллическая структура. Уголь. Условия образования углей. Шкала углефикации. Горючие сланцы. Понятие, условия образования, характеристики.

## 2. Происхождение углеводородов. Нефтематеринские свиты

Органическая концепция. Осадочно-миграционная теория происхождения углеводородов. Неорганическая концепция. Примеры неорганических гипотез – космогенная, вулканогенная, карбидная и т.д. Типы исходного органического вещества. Характеристики и классификации нефтегазоматеринских отложений.

## 3. Эволюция органического вещества в литогенезе. Коллекторы и флюидоупоры

Геолого-геохимические условия накопления органического вещества в седиментогенезе. Преобразование ОВ в диагенезе. Типы керогена. Катагенез. Основные факторы катагенеза: температура, давление, геологическое время. Мезокатагенез - основной этап генерации УВ флюидов. Понятие о главной зоне («нефтяное окно») и главной фазе нефтеобразования. Емкостно-фильтрационные свойства коллекторов. Пористость, ее виды. Проницаемость, ее виды. Виды и типы коллекторов: первичные, вторичные; поровые, трещинные, кавернозные, биопустотные; терригенные, карбонатные, вулканогенные. Флюидоупоры, их типы; параметры флюидоупоров. Региональные, зональные, локальные флюидоупоры. Факторы, снижающие свойства флюидоупоров. Природные резервуары и их типы.

## 4. Миграция нефти и газа. Аккумуляция нефти и газа. Разрушение залежей нефти и газа

Подвижность нефти и газа. Виды и типы миграции: первичная, вторичная, вертикальная, латеральная. Силы, обуславливающие перемещение нефти и газа. Давление геостатическое, гидростатическое, динамическое; гравитационные, молекулярные и капиллярные силы. Первичная миграция, эмиграция. Формы первичной миграции: непрерывная нефтяная фаза, водные растворы: молекулярные, коллоидные, мицеллярные. Роль воды и газа в первичной миграции. Геологические и геохимические аспекты первичной миграции. Вторичная миграция - перемещение флюида в коллекторе. Факторы, формы, скорость, дальность. Изменение состава и свойств нефти в процессе вторичной миграции. Роль геологических факторов во вторичной миграции. Третичная миграция (дисмиграция, ремиграция). Изменение состава и свойств нефти в процессе третичной миграции. Ловушки, основное условие их формирования. Генетическая и морфологическая классификация ловушек. Залежи нефти и газа. Основные элементы и параметры залежи: площадь залежи, нефтегазонасыщенная толщина, контуры залежи, нефтяные оторочки, газовые шапки и т.д. Классификации залежей по типу ловушки, по составу флюидов, по режиму. Режим залежи. Давление: замеренное (приведенное), гидростатическое, пластовое. Аномально высокое (АВПД) и аномально низкое (АНПД) давление в залежах и причины их возникновения. Месторождения нефти и газа. Классификация месторождений нефти и газа. Месторождения платформенных и складчатых областей, особенности строения. Гигантские нефтяные и газовые месторождения, условия их формирования, их роль в добыче нефти. Распределение в мире. Гигантские месторождения России, мира. Строение залежей крупных месторождений нефти и/или газа на примере Уренгойского (Западно-Сибирский НГБ), Астраханского (Прикаспийский НГБ), Ромашкинского (Волго-Уральский НГБ), Харьягинского (Тимано-Печорский НГБ), месторождений НГБ Персидского залива и др. Основные нефтегазоносные бассейны России (Западно-Сибирский, Тимано-Печорский,

Волго-Уральский и др.). Пространственное распределение скоплений нефти и газа по странам, континентам, стратиграфическому разрезу. Формирование твердых нафтидов. Гипергенетический и катагенетический ряды нафтидов. Продукты физической дифференциации нефти. Состав и свойства нафтидов и нафтоидов.

#### 5. Анализ общегеологической информации по исследуемому региону

Этапы геологического развития объекта. Тектоническое строение. Определение основных тектонических элементов. Стратиграфическое расчленение разреза. Нефтегеологическое районирование территории.

#### 6. Интерпретация сейсмических данных. Корреляция данных скважинного каротажа

Выделение региональных отражающих горизонтов. Построение сейсмогеологических разрезов. Построение структурных карт по основным отражающим горизонтам. Детальная стратификация и попластовая корреляция разреза. Секвенстратиграфический анализ. Анализ региональных геологических данных для понимания общей геологической модели. Анализ рисунка сейсмической записи с выделением основных секвенстратиграфических границ крупного порядка (несогласий, границ максимального затопления и трансгрессивных границ, трактов). Фациальный анализ. Анализ скважинных данных для выделения границ мелкого порядка и для выделения обстановок осадконакопления (фациальных рядов). Прогноз фациальных обстановок по площади. Прогноз архитектуры осадочных тел различного масштаба. Прогноз петрофизических характеристик (фильтрационно-емкостных свойств) коллекторских горизонтов.

#### 7. Анализ нефтегазоматеринских отложений. Определение преимущественного типа флюида

Составление аналитической геохимической базы данных по нефтематеринским отложениям в пределах района исследования (состав углеводородных флюидов, характеристики нефтегазоматеринских отложений – насыщенность органическим веществом, тип керогена, нефтегазогенерационный потенциал, степень катагенетической зрелости). Составление аналитической геохимической базы данных по типам УВ флюидов в пределах района исследования (нефтегазопроявления, битумопроявления, скважинные данные). Выделение потенциальных нефтегазоматеринских толщ. Прогноз распространения отложений. Проведение корреляционных зависимостей «нефть – органическое вещество». Одномерное геохимическое бассейновое моделирование истории погружения. Определение критического момента созревания отложений. Определение теплового потока в бассейне. Подсчет количеств сгенерированных жидких/газообразных углеводородов. Составление карт катагенетической зрелости нефтегазоматеринских отложений. Выделение очагов нефтегазообразования.

#### 8. Условия аккумуляции углеводородов. Типы ловушек. Выделение перспективных объектов

Выделение нефтегазоносных комплексов. Определение основных коллекторских горизонтов и пластов-флюидоупоров в пределах каждого комплекса. Определение потенциальных типов ловушек для каждого комплекса. Анализ перспективности. Анализ сейсмогеологических разрезов и выделение потенциальных ловушек углеводородов в пределах региона исследований. Построение карты перспективных нефтегазоносных объектов.

#### 9. Количественная оценка запасов углеводородов

Подсчет запасов для основных перспективных объектов. Детерминистический и вероятностный подходы. Подсчет геологических рисков. Оценка экономической рентабельности разработки перспективных объектов.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Прикладная и концептуальная антропология**

#### **Цель дисциплины:**

познакомить студентов с главными проблемными областями и направлениями прикладной социальной антропологии, их концепциями и методами в экспликации и решении фундаментальных проблем современных человеческих сообществ в разных областях их жизнедеятельности.

#### **Задачи дисциплины:**

- Ознакомить с прикладными и концептуальными направлениями в современной социальной антропологии;
- Ознакомить с полевыми и аналитическими методами в разных направлениях прикладной социальной антропологии, развить базовый навык их применения в конкретных кейсах;
- Развить у студентов навык осваивать и анализировать современные социально-антропологические исследования в области экономики, политики, экологии, медиа, урбанистики, медицины, идентичности, памяти, права, цифровых технологий и пр.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- как методы социальной антропологии могут дать «недостающую массу» в понимании людей, упущенную макроописаниями и экстраполяциями статистического подхода, может использовать эти методы в своей проф. деятельности;
- как мир символического может определять действия людей в экономической, политической, экологической, медицинской и пр. сферах их деятельности, при необходимости может приложить эти знания к своей повседневности, учебным и проф. проектам;
- какие социальные и культурные факторы могут быть невидимыми для разработчиков моделей, вооруженных количественными методами, при необходимости умеет выявлять эти факторы в своих учебных и профессиональных проектах.

##### **уметь:**

- применить к пониманию повседневных и проф. контекстов своей жизни, а также реальных ситуаций в стране и мире антропологические концепции: антропоцена, социального конструктивизма, экономического субстантивизма, ресурсного проклятия, семиотических идеологий, перспективизма, нечеловеческих онтологий, аффордансов среды, культурной памяти, цифровой, экзистенциальной антропологии и пр.

**владеть:**

- методами анализа того, какие социальные и культурные факторы могут быть невидимыми для разработчиков моделей, вооруженных количественными методами;
- методами выявления этих факторов в своих учебных и профессиональных проектах.

**Темы и разделы курса:**

1. Социальная антропология: происхождение основных концепций и понятий

Основные исторические направления и понятия социальной антропологии как науки о человеке (его сообществах и культуре). Социальная антропология как междисциплинарная область исследований. Основные современные концепции и проблемные области социальной антропологии. Прикладная антропология. Необходимость и разнообразие качественной методологии, эпистемологические особенности дисциплины. Антропологическое поле. Символическое и социальное.

2. «От коров племени нуэры к рациональному человеку»: проблемы и методы экономической антропологии

Экономическая антропология как область прикладных и фундаментальных исследований. Понимание дара и сценарии реципрокности в сообществах. Формализм и субстантивизм. Ограничения гипотезы рационального действия. Неотчуждаемое, священное и мирское. От «экономики каменного века» к современным кейсам. Антропология денег и долга. Прикладные кейсы экономической антропологии.

3. «Шаманы, семиотические идеологии и нечеловеки»: семиотический, онтологический и материальный повороты в антропологии

Семиозис и семиотические идеологии в антропологических исследованиях. Межвидовая коммуникация. Онтологический поворот в антропологии: основные концепции и прикладные исследования. «Антропология по ту сторону человека», агентность и онтологии нечеловеков. Мифо-ритуальные системы: социальные роли и невербальная семиотика божеств и духов. Основные концепции и прикладные исследования материального поворота в антропологии. Социальные роли материальных предметов, язык вещей, социальная биография вещи.

4. «Антропоцен и ресурсное проклятие»: проблемы и методы экологической антропологии

Концептуальные и методологические основания антропологических исследований антропоцена. Геология, биология и культура, понятие хозяйственно-культурного типа. Адаптивность культур, этноэкология. Нестабильность, прогресс, прогнозирование, глобализация и глобальные изменения, катастрофичность. Концепции эффективного управления и устойчивого развития. Биоразнообразие, инвайронментальные концепции,

биоэтика и экологический активизм. Ресурс, потребление, антропология поломки и ресурсного проклятия. Прикладные кейсы антропологии антропоцена.

5. «Власть, идентичность, национализм»: проблемы и методы политической антропологии

Основные проблемы и методы политической антропологии. Различные подходы к политическому, антропологические исследования социальной стратификации и уровней политической организации. Символическая власть и другие порядки власти. Примордиальность и изобретение наций. Национализм. Конструирование идентичности и воображаемые сообщества: перепись, карта, музей, архив. Власть, историческая память и национальное самосознание. Группизм и методологический индивидуализм, преобразование структуры. Инструментализм в проблеме идентичности. Идентификация и идентичность: реляционная, ситуативная, императивная и выбранная. Колониализм, постколониальные исследования, проблема деколонизации мышления. Прикладные кейсы политической антропологии.

6. «От обычая к правовому плюрализму»: проблемы и методы юридической антропологии

Основные проблемы и методы юридической антропологии. Представление об универсальности и универсалиях права. Междисциплинарный анализ в концепции правового плюрализма, ее прикладные кейсы. Обычное право. Понимание преступления, правового обычая, порядка, закона, права, собственности, доли и пр. в разных сообществах. Правовые проблемы коренных народов: общинное право, самоуправление и пр. Формы прямой демократии. Нормативные системы различных субкультур.

7. «Тело, психика, болезнь»: проблемы и методы медицинской антропологии

Основные проблемы и методы медицинской антропологии. Тело, телесность, психика, здоровье, болезнь: основные подходы в разных культурах и в медицинской антропологии. Эмик- и этик- принципы в медицине. Разнообразие систем медицины. Культурная специфика пациентов и отношений врач-пациент. Проблемы медицинской этики. Антропологическая психиатрия. Культурно-специфические синдромы и состояния. Прикладные кейсы в медицинской антропологии.

8. «Вещи, люди и memory studies»: проблемы и методы антропологии памяти

Основные направления, проблемы и методы в memory studies. Культурная и историческая память. Социальные рамки памяти по М. Хальбваксу. Места памяти по П. Нора. Коммуникативная, коллективная, предметная память у Я. и А. Ассман. Специфика трансляции меморатов. Политика памяти. Изобретение традиции. Ностальгия. Культурная травма. Забвение.

9. «Digital Tribe, интернетлор и постчеловек»: проблемы и методы цифровой антропологии и антропологии медиа

Основные проблемы и методы цифровой антропологии и антропологии медиа. Концепции медиа. Интернетлор, ньюслор, фейк-ньюс. Data Scientist и цифровой антрополог. Новая локальность и поле цифрового антрополога. Метафора Digital Tribe. Антропологические исследования социальных сетей и вселенных компьютерных игр: автономия, гибридность и офлайн-погруженность цифровых миров. Неполнота цифрового следа. Киберчеловечество и постантропология.

10. «Субкультуры, мигранты, проектирование общественных мест»: проблемы и методы городской антропологии

Основные проблемы и методы антропологии города. Городские и сельские сообщества. Городские практики, городские материальности. Городская вернакулярность и историческая память городов. Городской фольклор. Городские племена, городские мобильности. Субкультуры и гетто. Общественные места, «третьи места» и «не-места». Городские идеологии: высокий урбанизм, «левый урбанизм» и «хипстерский урбанизм». Антрополог в городском проектировании.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Прикладная статистика**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение математических и теоретических основ современного статистического анализа, а также подготовка слушателей к дальнейшей самостоятельной работе в области анализа статистических задач прикладной математики, физики, астрономии и педагогики.

#### **Задачи дисциплины:**

- изучение математических основ прикладной статистики;
- приобретение слушателями теоретических знаний в области современного статистического анализа;
- приобретение слушателями навыков подготовки реальных данных к обработке и выбора статистического метода для решения задачи.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- фундаментальные понятия, законы теории вероятностей и математической статистики;
- понятия, аксиомы, методы доказательств и доказательства основных теорем курса;
- основные свойства объектов математической статистики;
- аналитические и численные подходы и методы для решения типовых прикладных задач теории вероятностей и математической статистики;
- параметрические и непараметрические методы статистического анализа;
- базовые понятия теории проверки статистических гипотез;
- основные подходы к сравнению оценок параметров как случайных величин;
- определение общей линейной регрессионной модели и метод наименьших квадратов;
- многомерное нормальное распределение и его основные свойства;
- методы оценки корреляционной зависимости;
- виды задач дисперсионного анализа.

**уметь:**

- использовать свои знания для решения прикладных задач теории вероятностей и математической статистики;
- оценивать корректность постановок задач теории вероятностей и математической статистики;
- самостоятельно находить алгоритмы решения задач, в том числе нестандартных, и проводить их анализ;
- грамотно и корректно представлять решения задач теории вероятностей и математической статистики в устной и письменной форме;
- внедрять математико-статистические методы исследований при решении прикладных задач физики, астрономии, математики и педагогики;
- самостоятельно углублять и расширять знания в области математической статистики.

**владеть:**

- культурой постановки, анализа и решения задач прикладной статистики, требующих для своего решения использования математических подходов и методов;
- предметным языком теории вероятностей и математической статистики, а также навыками грамотного описания решения задач и представления полученных результатов;
- основными методами математической статистики для построения точечных и доверительных оценок;
- навыками анализа статистических критериев;
- навыками применения теорем математической статистики в прикладных задачах физики, математики и педагогики.

**Темы и разделы курса:****1. Классическое (комбинаторное) определение вероятности**

Свойства вероятности при таком определении. Простейшие комбинаторные модели. Примеры комбинаторных задач, для решения которых удобно использовать классическое определение вероятности.

**2. Геометрические вероятности и их свойства.**

Примеры задач, для решения которых удобно использовать геометрические вероятности: задача о встрече, задача о минимальном и максимальном элементах в случайной выборке и пр. Парадокс Бертрана.

**3. Условные вероятности, умножение вероятностей, формулы полной вероятности и Байеса.**

Независимость событий: попарная независимость, независимость в совокупности, независимость события от группы событий. Схема испытаний Бернулли. Полиномиальная схема. Схема серий.

4. Понятие о случайном блуждании и случайном графе.

Порядковые статистики. Закон больших чисел для схемы Бернулли. Предельная теорема Пуассона для схемы серий. Локальная предельная теорема и интегральная предельная теорема Муавра – Лапласа.

5. Общая вероятностная модель. Аксиоматика Колмогорова.

Случайные величины. Закон распределения, функция распределения и ее свойства. Дискретные и абсолютно непрерывные распределения, плотность распределения. Важнейшие распределения: биномиальное, пуассоновское, геометрическое, гипергеометрическое, равномерное, нормальное, Коши, экспоненциальное (показательное), гамма-распределение. Интерпретация предельных теорем Пуассона и Муавра – Лапласа в терминах распределений случайных величин.

6. Распределение функций от случайных величин.

Математическое ожидание случайной величины. Линейность математического ожидания. Математическое ожидание функции от случайной величины.

7. Примеры комбинаторных задач, решаемых за счет линейности математического ожидания

Неравенства Маркова и Чебышёва. Связь между понятием распределения случайной величины и заданием вероятностной меры на прямой

8. Виды задач дисперсионного анализа, примеры

Критерии проверки однородности для бернуллиевских выборок, доверительные интервалы для разности (простые и Уилсона). Проверка на равенство средних нормальных выборок ( $t$ -test, 3 сл.), проверка равенства дисперсий, проверка однородности нормальных выборок. АВ-тестирование. Принципы разбиения, особенности. АА-тесты. Разбиение на тестовые группы, сроки теста, проверка нескольких гипотез. Пример, в котором события, соответствующие одному пользователю, зависимы. Бакетное семплирование как способ решения проблемы

9. Точечные оценки параметров, метод максимального правдоподобия

Точечные оценки параметров. Статистики и оценки, примеры статистик. Свойства оценок - несмещенность, состоятельность, сильная состоятельность, асимптотическая нормальность. Практический смысл свойств. Примеры. Наследование свойств. Дельта-метод, пример. Метод максимального правдоподобия, примеры и свойства. Задача про гамма-излучение. Метод выборочных квантилей, асимптотическая нормальность выборочной квантили.

10. Сравнение оценок

Сравнение оценок. Функция потерь и функция риска, MSE и MAE, примеры. Асимптотическая эффективность.

11. Метод Ньютона и его применение для решения уравнения правдоподобия

Метод Ньютона и его применение для решения уравнения правдоподобия. Одношаговые оценки и их эквивалентность ОМП. Одношаговая оценка для модели Коши со сдвигом.

## 12. Робастность, асимптотическая толерантность

Робастность, асимптотическая толерантность. Робастные оценки: усеченное среднее и медиана средних Уолша, их асимптотическая толерантность и асимптотическая эффективность по отношению к выборочному среднему на всем классе гладких симметричных распределений и в частных случаях. Робастность, асимптотическая толерантность. Робастные оценки: усеченное среднее и медиана средних Уолша, их асимптотическая толерантность и асимптотическая эффективность по отношению к выборочному среднему на всем классе гладких симметричных распределений и в частных случаях.

## 13. Доверительные интервалы и доверительные области, метод бутстрепа

Доверительные интервалы и доверительные области. Асимптотические доверительные интервалы, метод построения, пример. Точные доверительные интервалы для параметров в нормальной модели (4 вида). Распределения хи-квадрат и Стьюдента, их свойства. Метод бутстрепа. Пример про дисперсию оценки коэффициента асимметрии. Описание метода бутстрепа, пример про оценку дисперсии статистики. Бутстрепные доверительные интервалы.

## 14. Ядерные оценки плотности

Ядерные оценки плотности, виды ядер, связь с эмпирической функцией распределения, сходимость оценки плотности. Оптимальная ширина ядра и оптимальное ядро, подбор оптимальной ширины ядра по выборке.

## 15. Проверка статистических гипотез

Проверка статистических гипотез: гипотезы и критерии, варианты ответов, связь с презумпцией невиновности. Ошибки I и II рода, уровень значимости критерия, мощность критерия, пример. Множественная проверка гипотез, постановка задачи, пример. Контроль FWER, методы Бонферрони и Холма. Нисходящие и восходящие процедуры.

## 16. Критерий Вальда

Критерий Вальда, его разновидности и особенности, функция мощности, пример.

## 17. Пример проверки гипотез в задаче исследовании эффективности нового лекарства

Пример проверки гипотез в задаче исследовании эффективности нового лекарства. p-value – определение в частном и общем случаях. Распределение p-value при справедливости основной гипотезы. Что не является p-value, пример.

## 18. Поведение критического уровня критерия для разных размеров выборки

Поведение критического уровня критерия для разных размеров выборки, следствия. Практическая значимость результата, примеры. Определение необходимого размера выборки на этапе планирования эксперимента.

## 19. Общие критерии согласия

Общие критерии согласия. Критерий Колмогорова, другие критерии, основанные на отличии от ЭФР. Графический способ проверки с помощью Q-Q plot. Критерии проверки



нормальности: Жарка-Бера, Шапиро-Уилка. Критерий хи-квадрат, теорема Пирсона, пример.

## 20. Линейная регрессия и коэффициенты корреляции

Линейная регрессия. Постановка задачи линейной регрессии, примеры зависимостей, случай категориальных переменных. Метод наименьших квадратов. Оценка вектора параметров и ее свойства. Геометрический смысл метода. Несмещенная оценка дисперсии ошибки в методе наименьших квадратов. Коэффициенты корреляции Пирсона, Спирмена и Кендалла, их свойства. Таблицы сопряженности  $2 \times 2$ , точный тест Фишера, меры взаимосвязи, определение количества наблюдений. Общий случай таблиц сопряженности, типы вероятностных моделей, критерий хи-квадрат.

## 21. Виды задач дисперсионного анализа, примеры

Виды задач дисперсионного анализа, примеры. Критерии проверки однородности для бернуллиевских выборок, доверительные интервалы для разности (простые и Уилсона). Проверка на равенство средних нормальных выборок (t-test, 3 сл.), проверка равенства дисперсий, проверка однородности нормальных выборок.

## 22. Виды альтернатив в непараметрическом случае

Виды альтернатив в непараметрическом случае. Критерии Смирнова и Розенблатта. Критерий Уилкоксона-Манна-Уитни, его свойства, связанная с ним оценка параметра сдвига. Связные выборки, предположения модели, пример, когда предположения не выполняются. Критерий знаков, его свойства, связанная с ним оценка параметра сдвига. Критерий ранговых сумм Уилкоксона, его свойства, связанная с ним оценка параметра сдвига. Проверка симметрии.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Прикладные методы машинного обучения**

#### **Цель дисциплины:**

- сформировать теоретические и практические знания в области обучения машин, современных методов восстановления зависимостей по эмпирическим данным, включая дискриминантный, кластерный и регрессионный анализ, частичное обучение.

#### **Задачи дисциплины:**

- правильно формулировать задачу в терминах машинного обучения;
- овладеть навыками практического решения задач интеллектуального анализа данных.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные принципы и проблематику теории обучения машин;
- основные современные методы обучения по прецедентам — классификации, кластеризации и регрессии.

##### **уметь:**

- формализовать постановки прикладных задач анализа данных;
- использовать методы обучения по прецедентам для решения практических задач;
- оценивать точность и эффективность полученных решений.

##### **владеть:**

- основными понятиями теории машинного обучения.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Методы обработки естественного языка

Представление текстов в векторной форме. Классические подходы и подходы, основанные на глубоком обучении. Word2vec, GloVe. Латентное (скрытое) представление последовательностей с помощью рекуррентных нейронных сетей.

Проблема затухающего и градиента (Vanishing gradient). Проблема всплеска амплитуды градиента (Exploding gradient). Сверточные сети в анализе текстов.

Машинный перевод. Исторический экскурс. Статистический машинный перевод. Оценка качества перевода. Нейронные сети в машинном переводе. Понятие кодировщика (encoder) и декодировщика (decoder). Лучевой поиск (beam search).

Механизм внимания (attention) в искусственных нейронных сетях. Механизм внимания в машинном переводе.

Архитектура Transformer (Attention Is All You Need). Механизм self-attention.

Предобученные представления (embeddings). Архитектуры и приемы, используемые в ELMo, GPT (1, 2, 3), BERT, RoBERTa.

## 2. Введение в обучение с подкреплением

Исторический экскурс. Основные понятия обучения с подкреплением. Стратегия. Агент. Среда. Метод перекрестной энтропии. Генетический алгоритм.

Уравнения Беллмана. Методы value iteration, policy iteration. Value-функция, q-функция.

Обучение без модели среды. Q-learning. Проблема автокорреляции. Double Q-learning. Experience replay. Обзор достижений последних лет.

Оценка градиента для в случаях, когда найти градиент аналитически не представляется возможным. Log-derivative trick. Градиент по политике (policy gradient). Алгоритм REINFORCE.

Получение более устойчивых оценок на градиент. Baselines. Метод Advantage Actor Critic (A2C).

Методы обучения с подкреплением в прикладных задачах. Self-critical Sequence Training (в задаче генерации текста).

### 3. Глубокое обучение в компьютерном зрении

Исторический экскурс. Методы, широко использовавшиеся до популяризации нейронных сетей. Предобученные модели. Дообучение моделей под конкретную задачу.

Задача распознавания и обнаружения объектов на изображении. Object detection. Обзор используемых подходов на примере архитектур: R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN, YOLO (1, 2, 3, 4).

Сегментация изображений. Обзор используемых подходов на примере архитектур U-Net, Mask R-CNN.

Перенос стилей между изображениями с помощью нейронных сетей.

Генеративные сети. Вариационный автокодировщик (VAE). Генеративные состязательные сети (GAN). Понятие генератора и дискриминатора. Многокритериальная оптимизация.

Обзор актуальных задач компьютерного зрения: биометрия, трекинг объектов в кадре, анализ поведения, оценка дорожной ситуации в автопилотах, повышение разрешения (super-resolution imaging) и пр.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Проблемы современной физики**

#### **Цель дисциплины:**

освоение студентами фундаментальных знаний в области современной физики, изучение современных квантовополевых методов и методов математической физики, имеющих приложения в области физики фундаментальных взаимодействий.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области проблем современной физики как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов современным теоретическим подходам в описании физики фундаментальных взаимодействий;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области современной физики в рамках выпускных работ на степень бакалавра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

##### **уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;

- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.

**владеть:**

- основными математическими, теоретическими и экспериментальными физическими методами исследований на профессиональном уровне, достаточном для дальнейшей специализации и профилизации;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- математическим моделированием физических задач.

**Темы и разделы курса:**

1. Связь между КТП и статистической физикой.

Континуальный интеграл. Определение корреляционных функций. Теорема Вика.

2. Физика в мире одного пространственного измерения.

Теория свободного скалярного безмассового бозонного поля. Масштабная инвариантность.

3. Релевантные и иррелевантные поля.

Теорема о релевантном возмущении. Модель  $\sin$ -Гордон.

4. Ренормгруппа и переход Березинского-Костерлица-Таулеса.

Вихри в  $O(2)$ -модели и кулоновский газ. Запись через нелокальное поле и эквивалентность модели  $\sin$ -Гордон. Масштабная размерность возмущающего оператора и точное значение точки перехода. Перенормировка констант связи в модели синус-Гордона во втором порядке по теории возмущений. Ренормгруппа и ренормгрупповые потоки.

5. Конформная симметрия. Алгебра Вирасоро, представления старшего веса.

Алгебра Вирасоро, представления старшего веса.

6. Одномерные бесспиновые фермионы. Бозонизация и жидкость Латтинжера. Модель Тирринга.

Бозонизация и жидкость Латтинжера. Модель Тирринга.

7. Одномерные фермионы со спином.

Разделение спина и заряда. АФ взаимодействие в спиновом канале,  $g > 0$ .

8. Уравнения на корреляционные функции.

Конструкция кулоновского газа для минимальных моделей.

9. Модель WZNW.

Уравнения Книжника-Замолодчикова. Алгебра Каца-Мууди.

## 10. Ads/CFT соответствие на примере модели SYK.

Модель SYK. Случайные матрицы. Майорановские фермионы. Преобразование Хаббарда-Стратоновича и переход к медленным переменным. Эффективное действие в модели SYK. Уравнения Швингера-Дайсона. Решение уравнений ШД в конформном пределе. Интегрирование по мягким модам. Гравитация в 1+1.

## 11. Модель SYK как квантовая механика с Лиувилевским потенциалом.

Мера Хаара в интегралах по траекториям. Выбор плоской меры в модели SYK. Вычисление якобиана и локализация эффективного действия.

## Аннотации к рабочим программам дисциплин.

Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность: Общая и прикладная физика

### Проблемы теории элементарных частиц и космологии

#### Цель дисциплины:

- получение современных научных представлений об устройстве и законах эволюции Вселенной.

#### Задачи дисциплины:

- изучение основ общей теории относительности;
- применение математического аппарата квантовой теории поля для описания динамики физики частиц в расширяющейся Вселенной;
- обучение методам получения численных оценок величин основных космологических параметров.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### знать:

- проблемы пространства-времени, о Вселенной в целом как физическом объекте, и её эволюции;
- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики и математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- новейшие открытия естествознания;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

##### уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, гипотезы, доказательства, законы;
- использовать вероятностные модели для конкретных процессов и проводить необходимые расчёты в рамках построенной модели;



- представлять панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.

**владеть:**

- логикой в научном творчестве;
- научной картиной мира;
- математическим моделированием природных процессов и явлений;
- научным методом как исходным принципом познания объективного мир.

**Темы и разделы курса:**

1. Вселенная сегодня.

Общие представления о современной Вселенной, законах её эволюции и истории её развития на основании анализа совокупности имеющихся астрономических наблюдений.

2. Элементы Общей теории относительности.

Тензорный анализ, основные постулаты ОТО, инварианты относительно общекоординатных преобразований, лагранжиан Гильберта—Эйнштейна, тензор энергии-импульса материи, уравнения Эйнштейна, понятие геодезических, ньютоновский предел ОТО.

3. Однородная изотропная Вселенная.

Однородные и изотропные трёхмерные пространственные многообразия, метрика Робертсона—Уокера, свободные частицы в расширяющейся Вселенной, закон Хаббла.

4. Динамика расширения Вселенной.

Уравнение Фридмана, однокомпонентные космологические решения (пыль, радиация, космологическая постоянная), возраст Вселенной, горизонт частиц, горизонт событий.

5. Стандартная космологическая модель.

Модель с тёмной материей и тёмной энергией, переход от замедления к ускорению, переход от радиационно-доминированной к пылевидной стадии, способы определения состава современной Вселенной: «стандартные свечи», угловые размеры удалённых объектов.

6. Термодинамика в расширяющейся Вселенной.

Функции распределения бозонов и фермионов, энтропия в расширяющейся Вселенной, барион-фотонное отношение.

7. Рекомбинация.

Физика рекомбинации, последнее рассеяние фотонов, размер горизонта эпохи рекомбинации.

## 8. Реликтовые нейтрино.

Температура закалки нейтрино, космологические ограничения на сумму масс нейтрино.

## 9. Первичный нуклеосинтез.

Закалка нейтронов, направление термоядерных реакций, кинетика нуклеосинтеза: образование и горение дейтерия, образование трития и гелия-3, определение величины барион-фотонного отношения и ограничения на модели с новыми нестабильными частицами.

## 10. Тёмная материя.

Холодная, тёплая и горячая компоненты тёмной материи, закалка тяжёлых реликтовых частиц, прямые поиски слабодействующих массивных частиц, кандидаты на роль частиц тёмной материи в обобщениях Стандартной модели физики частиц.

## 11. Электрослабый фазовый переход в ранней Вселенной.

Фазовые переходы в теории поля при конечной температуре, электрослабый фазовый переход в рамках Стандартной модели физики частиц.

## 12. Генерация барионной асимметрии.

Необходимые условия (Сахарова) генерации асимметрии, несохранение барионного и лептонных чисел во взаимодействиях частиц (теории Большого объединения), электрослабый бариогенезис, лептогенезис, механизм Аффлекса—Дайна генерации асимметрии комплексным скалярным полем.

## 13. Проблемы теории горячего Большого взрыва.

Проблемы горизонта, плоскостности, энтропии, первичных неоднородностей.

## 14. Инфляция в режиме медленного скатывания.

Инфляционное решение проблем теории горячего Большого взрыва, условия медленного скатывания, хаотическая инфляция, новая инфляция, гибридная инфляция.

## 15. Гауссовы случайные величины и случайные поля.

Свойства гауссовых случайных величин, гауссовы случайные поля.

## 16. Генерация космологических возмущений в ходе инфляции.

Генерация возмущений инфлатона, первичные скалярные возмущения, генерация гравитационных волн, амплитуды и наклоны спектров возмущений.

## 17. Рождение частиц во внешних полях.

Метод преобразований Боголюбова: бозоны, фермионы.

## 18. Постинфляционный разогрев.

Пертурбативный механизм распада колеблющегося инфлатонного поля, условия термализации частиц в расширяющейся Вселенной, явление параметрического резонанса в распаде инфлатона, распад колебаний большой амплитуды, рождение тяжёлых фермионов.

## 19. Джинсовская неустойчивость.

Джинсовская неустойчивость в статической среде, развитие неустойчивости в расширяющейся Вселенной, структуры во Вселенной.

20. Космологические возмущения в линейном.

Линеаризованный тензор энергии-импульса идеальной жидкости, линеаризованные уравнения Эйнштейна, разложения по спиральностям: тензорные, векторные, скалярные моды.

21. Эволюция векторных и тензорных мод.

Загоризонтные и подгоризонтные моды, сшивка на горизонте.

22. Скалярные возмущения для однокомпонентной.

Случаи доминирования релятивистского вещества, пыли, возмущения нерелятивистского вещества на стадии доминирования космологической постоянной.

23. Формирование структур во Вселенной.

Линейная стадия эволюции неоднородностей материи после рекомбинации, спектр мощности, выход возмущений на нелинейную стадию, распределение структур по массам.

24. Анизотропия реликтового излучения.

Анизотропия температуры реликтового излучения в приближении мгновенного отщепления фотонов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Программирование и обработка данных на языке Python**

#### **Цель дисциплины:**

Обучить слушателей основам программирования на языке Python, необходимым для анализа данных на практике, и познакомить со связанными технологиями анализа, визуализации и наглядного представления данных.

#### **Задачи дисциплины:**

- познакомить студентов с основными конструкциями, объектами и процедурами языка Python;
- сформировать навыки написания эффективного, простого, понятного и гибкого кода, оптимального с точки зрения повышения скорости и качества разработки;
- научить методам обработки ошибок и тестирования кода на языке Python;
- обучить обработке данных с помощью языка Python и основам функционального программирования;
- обучить технологиям анализа и визуализации представления данных.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- возможности языка Python и его особенности;
- основы работы в Pandas;
- синтаксис Python, особенности программирования на Python;
- стандартные библиотеки языка программирования;
- методологии и технологии проектирования и использования баз данных;
- технологии программирования;
- особенности выбранной среды программирования и системы управления базами данных;
- компоненты программно-технических архитектур;
- существующие приложения и интерфейсы взаимодействия с ними.

**уметь:**

- работать с данными и таблицами на Python;
- работать с данными в Pandas;
- применять Python для написания программного кода;
- использовать выбранную среду программирования и средства системы управления базами данных; использовать возможности имеющейся технической и/или программной архитектуры.

**владеть:**

- технологиями программирования на Python.

**Темы и разделы курса:****1. Установка Python. Знакомство со средой разработки**

Знакомство с языком. Установка интерпретатора Python. Настройка окружения для работы и выбор среды разработки.

**2. Базовые типы. Конструкции управления потоком: условия. Модули и пакеты**

Знакомство с базовыми типами языка и конструкцией `if_else`

**3. Конструкции управления потоком: циклы**

Знакомство с циклическими конструкциями `for`, `while`

**4. Знакомство с коллекциями: множества, строки, списки, кортежи**

Знакомство с новыми типами данных – коллекциями и методами работы с ними. Использование в коде списочных выражений.

**5. Методы списков и строк. Библиотека Numpy**

Знакомство с библиотекой Numpy, содержащей большое количество полезных инструментов: от быстрых операций с многомерными массивами до реализации различных математических методов.

**6. Работа со словарями. Списочные выражения**

Знакомство с коллекцией `Dict` и `OrderedDict` стандартной библиотеки Python.

**7. Функции: возвращение значения из функции, области видимости переменных, передача параметра. Рекурсия. Функции с переменным числом аргументов**

Предпосылки появления функций в языках программирования, шаблоны их реализации и использования. Примеры использования параметров, в том числе по умолчанию, возвращаемых значений, лямбда-функций.

**8. Функции как объект. Лямбда-функции**

Понятие лямбда-функции. Примеры лямбда-функций.

9. Сортировки 1: асимптотическая сложность алгоритмов, сортировка пузырьком, подсчетом

Понятие асимптотической сложности, примеры алгоритмов, оперирующих числами, в том числе вычисляющих простейшие последовательности. Фундаментальные алгоритмы сортировок. Сортировка пузырьком, подсчетом.

10. Сортировки 2: сортировка слиянием, пирамидальная сортировка

Фундаментальные алгоритмы сортировок. Сортировка слиянием, пирамидальная сортировка.

11. Сортировки 3: быстрая сортировка, поразрядная сортировка

Фундаментальные алгоритмы сортировок. Быстрая сортировка, поразрядная сортировка.

12. Библиотеки Python. Встроенные модули: math, random, datetime, pprint

Библиотеки Python. Встроенные модули: math, random, datetime, pprint. Инструменты работы с библиотеками Python.

13. Библиотека Open CV

Особенности работы с библиотекой Open CV.

14. Знакомство с библиотекой Numpy

Знакомство с элементами линейной алгебры — векторами и матрицами, как основным математическим аппаратом для работы с данными. Использование функций модуля numpy для выполнения операций с матрицами и векторами.

15. Визуализация с matplotlib

Рассмотрение объектного подхода к построению диаграмм и графиков различных типов.

16. Знакомство с библиотекой Pandas. Объекты pandas.Series pandas.DataFrame

Использование средств модуля pandas для загрузки данных и ознакомления с ними. Знакомство с основными функциями для работы с сериями и датафреймами в pandas.

17. Анализ взаимосвязей. Описательная статистика. Сводные таблицы

Корреляционный анализ данных и оценка силы и направления взаимосвязи. Меры средней тенденции, меры разброса. Механизм GroupBy, типы группировок. Агрегирование, преобразование, исключение групп. Подготовка данных для создания сводных таблиц. Представление сводных таблиц.

18. Итерирование данных. Работа с несколькими таблицами

Слияние и конкатенация датафреймов, форматы "Long" и "Wide".

19. Работа с файлами

Методы работы с файлами, в том числе запись видео.

20. Библиотека tkinter для разработки графического интерфейса

Использование библиотеки tkinter для создания графического интерфейса.

## 21. Извлечение данных из веб-страницы

Извлечение данных из веб-страницы. Использование модулей и сервисов, реализующих веб-запросы и облачную обработку.

## 22. Работа с классами на примере API Yandex

Работа с классами на примере API Yandex.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Программирование на Python**

#### **Цель дисциплины:**

Целью реализации дисциплины «Программирование на Python» является формирование/совершенствование компетенций в области решения профессиональных задач по программированию с использованием языка Python, применения шаблонов проектирования на Python, работы с Python библиотеками, применения объектно-ориентированного и функционального программирования.

#### **Задачи дисциплины:**

- Сформировать умение использовать базовые типы и конструкции языка программирования Python;
- сформировать умение работать со стандартными структурами данных в Python, писать функции на Python, применять функциональные особенности языка, работать с файлами с помощью языка Python;
- сформировать умение применять механизмы наследования, создавать классы и работать с ними, обрабатывать исключения;
- сформировать умение искать и исправлять ошибки в программе на Python, тестировать программы на Python;
- сформировать умение писать многопоточный код на Python, писать асинхронный код на Python, работать с сетью, создать своё серверное сетевое приложение;
- сформировать умение пользоваться структурным программированием, использовать библиотеку unittest;
- сформировать умение создавать корректную иерархию классов, интерпретировать UML-диаграммы, выполнять рефакторинг существующего кода;
- сформировать умение создавать Декоратор класса, создавать адаптер для интерфейса, несовместимого с системой, реализовывать паттерн Наблюдатель;
- сформировать умение создавать цепочку обязанностей, создавать абстрактную фабрику, создавать обработчик YAML файла;
- сформировать умение работать с библиотекой requests;
- сформировать умение работать с регулярными выражениями из Python, выполнять сложный поиск и замену при помощи регулярных выражений;



- сформировать умение извлекать и изменять данные при помощи модуля Beautiful Soup, использовать API для получения данных со сторонних сайтов;
- сформировать умение создавать и изменять базы данных и таблицы в MySQL, получать данные из баз и таблиц в MySQL;
- сформировать умение создавать приложение на Django, работать с Django-шаблонизатором, работать с базой данных при помощи Django ORM;
- сформировать умение отправлять данные из браузера, валидировать данные на клиентской стороне, валидировать данные на серверной стороне, проводить аутентификацию и авторизацию при помощи Django;
- сформировать умение создавать чат-бота на базе Telegram, работать с системой Git, раскладывать проект на облачный хостинг Heroku;
- сформировать умение применять инструменты библиотеки NumPy, применять инструменты библиотеки SciPy, применять инструменты библиотеки Pandas для работы с данными;
- сформировать умение визуализировать данные при помощи инструментов Python, применить на практике инструменты Python для работы со статистическим анализом;
- сформировать умение применять на практике линейную регрессию, применять на практике кросс-валидацию, оценивать качества моделей, обучать на практике ансамблевые модели;
- сформировать умение применять на практике методы кластеризации, применять на практике методы понижения размерности. создавать рекомендательную сеть;
- сформировать умение реализовывать перцептрон, реализовывать свою нейронную сеть.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- Базовые сведения о языке, особенности организации кода на Python;
- стандартные структуры данных в Python;
- механизмы наследования, классы;
- особенности объектно-ориентированной модели в Python;
- процессы и потоки ОС;
- модульное тестирование и его преимущества, методику TDD, её особенностях и преимуществах, контрактное программирование;
- основные парадигмы и принципы ООП, терминологию ООП;
- виды паттернов проектирования, основные паттерны и задачи, которые они решают;
- паттерн Chain of responsibility, паттерн Abstract Factory;
- принципы функционирования современного интернета, основные протоколы в web-взаимодействия;

- причины необходимости сбора данных со сторонних сайтов;
- удобные способы получения данных;
- реляционные базы данных, нереляционные базы данных, инструменты Redis;
- архитектуру web-фреймворков, популярные web-фреймворки в Python, устройство view в Django, основы HTML и CSS;
- понятия аутентификации и авторизации;
- отличия Development и Production;
- базовые понятия математического анализа, базовые понятия линейной алгебры;
- понятия математической статистики.

#### **уметь:**

- Использовать базовые типы и конструкции языка;
- работать со стандартными структурами данных в Python, писать функции на Python, применять функциональные особенности языка, работать с файлами с помощью языка Python;
- применять механизмы наследования, создавать классы и работать с ними, обрабатывать исключения;
- искать и исправлять ошибки в программе на Python, тестировать программы на Python;
- писать многопоточный код на Python, писать асинхронный код на Python, работать с сетью, создать своё серверное сетевое приложение;
- создавать корректную иерархию классов, интерпретировать UML-диаграммы, выполнять рефакторинг существующего кода;
- создавать Декоратор класса, создавать адаптер для интерфейса, несовместимого с системой, реализовывать паттерн Наблюдатель;
- создавать цепочку обязанностей, создавать абстрактную фабрику, создавать обработчик YAML файла;
- работать с регулярными выражениями из Python, выполнять сложный поиск и замену при помощи регулярных выражений;
- извлекать и изменять данные при помощи модуля BeautifulSoup, использовать API для получения данных со сторонних сайтов;
- создавать и изменять базы данных и таблицы в MySQL, получать данные из баз и таблиц в MySQL;
- создавать приложение на Django, работать с Django-шаблонизатором, работать с базой данных при помощи Django ORM;
- отправлять данные из браузера, валидировать данные на клиентской стороне, валидировать данные на серверной стороне, проводить аутентификацию и авторизацию при помощи Django;

- создавать чат-бота на базе Telegram, работать с системой Git, раскладывать проект на облачный хостинг Heroku;
- визуализировать данные при помощи инструментов Python, применить на практике инструменты Python для работы со статистическим анализом.

**владеть:**

- Структурным программированием, библиотекой unittest;
- библиотекой requests;
- Django-шаблонизатором;
- системой Git;
- инструментами библиотеки NumPy, инструментами библиотеки SciPy, инструментами библиотеки Pandas для работы с данными.

**Темы и разделы курса:**

1. Основы программирования на Python

Основы программирования на Python. Структуры данных и функции. Объектно-ориентированное программирование. Углубленный Python. Многопоточное и асинхронное программирование.

2. Объектно-ориентированное программирование (ООП), графический интерфейс и основы работы с базами данных в Python

Тестирование и отладка программ. Объектно-ориентированное проектирование. Паттерны проектирования. Графический интерфейс.

3. Создание web-приложений в Python

Общее представление о WEB. Сбор данных со сторонних сайтов. BeautifulSoup и работа с API. Хранение данных. SQL / NoSQL. Веб интерфейсы с Django и Bootstrap. Работа с данными пользователя. Дополнительный инструментарий.

4. Анализ данных в Python

Математика и Python для анализа данных. Визуализация данных и статистика.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Проектирование и измерение квантовых схем**

#### **Цель дисциплины:**

Дать теоретические знания о методах проектирования и измерения квантовых схем на сверхпроводниковых кубитах.

#### **Задачи дисциплины:**

Подготовить специалистов для экспериментальных исследований и проектирования квантовых сверхпроводниковых процессоров.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- типы сверхпроводниковых кубитов, способы их взаимодействия, способы считывания кубитных схем.

##### **уметь:**

- проектировать импульсные последовательности для считывания и управления состояниями многокубитных схем.

##### **владеть:**

- базовыми навыками проектирования однокубитных схем, способами расчета частот и констант связи различных элементов кубитной схемы.

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Основные типы измерений кубитов**

Методы динамического распутывания с низкочастотным шумом, спиновое эхо. Экспериментальные способы генерации управляющих импульсных последовательностей. Квадратурное смещение низкочастотных и высокочастотных сигналов.

##### **2. Типы сверхпроводниковых кубитов**

Вывод Гамильтониана и спектра сверхпроводникового трансмона. Устойчивость трансмона к зарядовому шуму. Взаимодействие трансмона с внешним окружением.

### 3. Квантование электрических цепей

Понятие волнового импеданса и способы его расчета. Общие принципы квантования электрических цепей.

### 4. Способы считывания состояния кубитов

Вывод Гамильтониана взаимодействия в дисперсионном режиме. Статистическое различие состояний кубита. Влияние резонатора на распад кубита, эффект Парселла. Различение состояний кубита при однократном измерении.

### 5. Способы быстрого считывания

Модификация схемы считывания при помощи фильтра Парселла, быстрые измерения кубита. Модификация формы считывающего импульса.

### 6. Взаимодействие между кубитами

Вывод константы взаимодействия. Теория кросс-резонансного взаимодействия. Способы генерации базовых двух-кубитных вентилях: контрольное НЕТ и контрольная Фаза. Способы генерации двух-кубитных квантовых вентилях для перестраиваемых по частоте кубитов.

### 7. Перестраиваемые резонаторы

Вывод гамильтониана взаимодействия.

### 8. Измерение точности квантовых операций

Понятие фиделити квантовых гейтов. Основные причины неидеальности квантовых операций. Измерение точности посредством случайной выбоки из группы Клиффорда. Измерение посредством измерения кросс-энтропийных характеристик.

### 9. Оптимизация формы управляющих импульсов

Оптимизация формы импульса, минимизирующего выход кубита в состояния невычислительного базиса. Вывод формы управляющего импульса.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Равновесие и устойчивость плазмы в токамаке**

#### **Цель дисциплины:**

- Получение студентами знаний о физических принципах удержания высокотемпературной плазмы в магнитном поле;
- усвоение студентами основных закономерностей поведения плазмы в токамаке, условий её равновесия и крупномасштабной устойчивости;
- подготовка студентов к работе над проблемой управляемого термоядерного синтеза, в частности, в области теоретической физики плазмы токамака;

#### **Задачи дисциплины:**

- Сформировать у студентов целостные представления об основных проблемах удержания термоядерной плазмы в магнитном поле;
- дать ключевые определения, терминологию, историческую справку и классификацию физических моделей, позволяющие студентам свободно ориентироваться в огромном массиве научной информации по теории равновесия и устойчивости плазмы;
- развить владение аппаратом МГД-уравнений как основным инструментом исследования равновесия и устойчивости плазмы в тороидальных системах;
- дать строгое введение в основные разделы теории равновесия и устойчивости плазмы в токамаке.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Основные понятия теории равновесия и устойчивости плазмы в магнитном поле;
- отличительные черты тороидальных систем (токамак, стелларатор, пинч с обращённым полем);
- условия равновесия плазмы, их вывод из МГД-уравнений и пределы применимости;
- модели и методы теоретического исследования равновесия и устойчивости плазмы в токамаке, классификацию мод неустойчивостей, критерии стабилизации;
- ключевые сложности создания термоядерного реактора на основе токамака.

**уметь:**

- Различать различные тороидальные системы, типы равновесных конфигураций, моды неустойчивостей;
- абстрагироваться от несущественных явлений при моделировании физических процессов;
- использовать полученные знания для решения практических задач теории равновесия и устойчивости;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

**владеть:**

- Аппаратом МГД-уравнений для анализа равновесия плазмы в токамаке;
- математическим формализмом теории устойчивости;
- культурой постановки и решения модельных физических задач в области плазменной энергетики;
- навыками самостоятельной работы с учебной, научной и справочной литературой, поиска и обработки научной и технической информации.

**Темы и разделы курса:****1. Движение заряженных частиц в магнитном поле**

Задачи и краткий обзор содержания курса. Проблема магнитного удержания плазмы. Уравнения движения заряженных частиц в электромагнитном поле. Ларморовское вращение, движение в скрещенных полях. Дрейфовое приближение, центробежный и градиентный дрейфы. Адиабатический инвариант, магнитные пробки.

**2. Геометрия магнитного поля в токамаке**

Уравнения Максвелла. Представление магнитного поля в аксиально-симметричной системе. Дрейф ведущего центра в тороидальном поле. Вращательное преобразование: токамаки и стеллараторы. Полоидальный и тороидальный магнитные потоки, запас устойчивости. Структура магнитного поля, магнитные поверхности. Расщепление магнитных поверхностей. Магнитные острова.

**3. МГД-уравнения и законы сохранения**

Магнитогидродинамическое (МГД) описание плазмы. Пределы применимости. Модель электронно-ионной жидкости (двухжидкостная МГД). Закон вмороженности, диффузия магнитного поля в плазму. Уравнения одножидкостной МГД. Баланс сил в плазме. Теорема вириала.

**4. Диффузия плазмы в тороидальном магнитном поле**

Столкновительная (классическая) диффузия плазмы в тороидальном поле. МГД-описание, приближение отдельных частиц. Пролётные и запертые частицы, банановые траектории. Неоклассическая диффузия плазмы в токамаке (диффузия Галеева-Сагдеева). Бомовская диффузия.

#### 5. Уравнение Грэда-Шафранова и его следствия

Вывод уравнения Грэда-Шафранова из уравнения баланса сил. Внутренняя и внешняя задачи равновесия, граничные условия. Частные решения в окрестности магнитной оси, профили Соловьёва. Принцип виртуального кожуха.

#### 6. Условия равновесия плазмы в токамаке

Решение внешней задачи равновесия для плазмы с круглым поперечным сечением (без вывода). Роль внешнего удерживающего поля. Шафрановское смещение. Токи равновесия в плазме, ток Пфирша-Шлютера. Равновесный предел давления плазмы.

#### 7. Магнитная диагностика плазмы токамака

Магнитные зонды (зонды Мирнова). Определение смещения плазмы с помощью магнитных измерений. Диамагнетизм плазмы и диамагнитные петли. Связь величины диамагнитного сигнала с давлением внутри плазменного шнура.

#### 8. МГД-устойчивость равновесия плазмы

Неустойчивость равновесия плазмы: ключевые причины. Простейшие неустойчивости цилиндрического шнура: неустойчивость перетяжки и винтовая неустойчивость. Линеаризация МГД-уравнений по малым возмущениям равновесия. Задача на собственные значения, инкременты мод. Энергетический принцип.

#### 9. Идеальные МГД-моды и моды резистивного кожуха: винтовые и осесимметричные моды

Винтовые возмущения границы плазменного шнура. Классификация мод, волновые числа. Резонансные магнитные поверхности. Критерий Крускала-Шафранова. Влияние стенки вакуумной камеры, роль омической диссипации. Идеальные МГД-моды и моды резистивного кожуха (Resistive Wall Modes, RWMs).

#### 10. Желобковые и баллонные неустойчивости

Устойчивость границы плазмы. Желобковые (перестановочные) возмущения. Магнитная яма и магнитный шир. Моды, локализованные вблизи резонансной магнитной поверхности. Критерий Сайдема. Баллонные моды.

#### 11. Резистивные (тиринг-) моды и срывы

Учёт конечной проводимости плазмы. Магнитное перезамыкание. Резистивные неустойчивости (тиринг-моды) и генерация магнитных островов. Осцилляции Мирнова. Бутстрэп-ток. Неоклассические тиринг-моды. Пилообразные колебания. Срывы: малый (внутренний) срыв, тепловой срыв (Thermal Quench, TQ) и срыв тока (Current Quench, CQ).

#### 12. Конфигурации с некруглым сечением плазменного шнура

Способы повышения давления плазмы. Переход от круглой к вытянутой (D-образной) форме границы плазмы. Дополнительные методы нагрева плазмы. Дивертор и диверторные конфигурации. L- и H-моды. Неустойчивость вертикального положения плазмы (Vertical Displacement Events, VDE).



### 13. Актуальные проблемы физики токамаков-реакторов

Нерешённые задачи физики токамаков. Моды, локализованные на границе плазмы (Edge Localized Modes, ELMs). Тороидальные альфвеновские моды (Toroidal Alfvén Eigenmodes, TAE-modes). Токамак ИТЭР. Наведённые поля (Error fields). Силы, действующие на стенку вакуумной камеры при срывах. Гашение срывов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Равновесная статистическая механика сложных систем**

#### **Цель дисциплины:**

Дать студентам знания, необходимые для описания физических явлений, и методы построения соответствующих математических моделей в области применения формализма статистической физики и теории фазовых переходов для изучения поведения сложных систем. Показать соответствие законов, положенных в основу описания флуктуационного и корреляционного поведения, а также скейлинг-закономерностей нетепловых сложных систем основным концепциям формализма статистической физики, что позволяет строить аналогии (отображения) между флуктуационным поведением сложных и термодинамических систем. Дать навыки, позволяющие на практике применять теорию фазовых переходов первого и второго рода к различным системам.

#### **Задачи дисциплины:**

- Изучение математического формализма фрактальных множеств;
- изучение формализма статистической физики неравновесных состояний и теории фазовых переходов первого и второго рода, критических и спиноподобных явлений;
- изучение флуктуационного и корреляционного поведения и отклика систем на внешнее воздействие, флуктуационно-диссипационной теоремы;
- изучение принципов построения ренормализационной группы и теории скейлинг-поведения систем;
- построение аналогий (отображений) между флуктуационным поведением нетепловых и термодинамических систем;
- овладение студентами навыками практического применения методов и подходов статистической физики и теории фазовых переходов к конкретным системам, как термодинамическим, так и нетепловым.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Постулаты и принципы статистической физики неравновесных состояний;
- постулаты и принципы математического формализма фрактальных множеств;

- основные методы и подходы теории фазовых переходов первого и второго рода, включая приближение среднего (самосогласованного) поля и построение законов скейлинга (самоподобия) на основе формализма ренормализационной группы;
- методы построения аналогий в теории сложных систем;
- подходы и методы построения корреляций, отклика и флуктуационно-диссипационной теоремы;
- подходы и методы теории скейлинга (самоподобия), включая эффект конечного размера системы и кросс-овер эффекты.

**уметь:**

- Применять постулаты и принципы статистической физики и математики фрактальных множеств для изучения законов поведения макроскопических систем;
- применять на практике приближение среднего (самосогласованного) поля и методы ренормгруппы при решении задач физики фазовых переходов первого и второго рода как для термодинамических, так и для сложных систем;
- строить аналогии (отображения) между флуктуационным поведением сложных систем и законами поведения термодинамических систем статистической физики;
- применять подходы и методы теории фазовых переходов при изучении корреляционного поведения и отклика систем на внешнее воздействие в окрестности критической точки и точки спинодаль;
- применять методы теории скейлинга (самоподобия) для решения практических задач.

**владеть:**

- Основными методами математического аппарата статистической физики, математики фрактальных множеств, теории фазовых переходов, теории корреляционного поведения в окрестности критической точки и точки спинодаль, а также теории скейлинга (самоподобия);
- навыками практического применения теоретического анализа для построения законов поведения конкретных сложных систем.

**Темы и разделы курса:**

1. Корреляции, отклик, флуктуационно-диссипационная теорема.

Корреляции в модели Изинга, восприимчивость, флуктуационно-диссипационная теорема. Какая величина может играть роль восприимчивости? Когда теплоемкость является восприимчивостью? Критерий Гинзбурга. Сравнение выполнения критерия для систем с ближним и дальним взаимодействием. Системы с перколяцией, отличие корреляционно-флуктуационного поведения от систем классической физики. Корреляции, восприимчивость как средний размер кластеров, флуктуационно-диссипационная теорема. Соотношение гиперскейлинга. Модель с разрушением, восприимчивость как теплоемкость.

## 2. Модель перколяции.

Явления перколяции в природе. Перколяция узлов и перколяция связей. Виды решеток. Микроконфигурации как микросостояния. Одномерная решетка, критические индексы. Перколяция как фазовый переход второго рода. Квадратная решетка, решеточные звери. Решетка Бете, критические индексы. Случай произвольной решетки, предположение о распределении размеров кластеров, критические индексы. Грубость сделанного предположения, скейлинг-функция распределения размеров кластеров, критические индексы.

## 3. Ренормализационная группа.

Построение ренормализационной группы. Фиксированные точки РГ. Улучшение точности предсказаний РГ.

Огрубление как преобразование подобия. Сохранение модели и поведения. Соответствие микроконфигураций как аксиоматика, сохранение вероятностей как следствие. Одномерная и двухмерная модель Изинга. Одномерная и двухмерная перколяция. Одномерная система с разрушением. Преобразование полевых параметров. Преобразование корреляционной длины. Преобразование критической точки. Фиксированные точки РГ. Почему РГ дает лишь приближенные результаты? Как улучшить точность результатов?

## 4. Вероятность флуктуаций

Распределение вероятностей для флуктуаций параметра порядка. Окрестности критической точки и точки спинодаль, расходимость флуктуаций ввиду расходимости восприимчивости. Высшие производные распределения вероятностей как величины, определяющие различия фазовых переходов первого и второго рода. Какая величина является «истинной» восприимчивостью для систем с разрушением?

## 5. Система с разрушением.

Ансамбль постоянства деформаций. Ансамбль постоянства напряжений. Разрушение как фазовый переход. Спинодальное замедление. Количественная характеристика разрушения. Модель пучка волокон. Микроконфигурации как микросостояния. Модель при  $\varepsilon = \text{const}$ , эффективная температура. Модель при  $\sigma = \text{const}$ , разрушение как фазовый переход первого рода, замедление спинодаль.

6. Скейлинг-поведение. Эффект конечного размера системы. Кросс-овер эффекты. Гомогенные функции и ренормализационная группа как источники скейлинг-поведения.

Скейлинг-функции. Эффект конечного размера системы. Кросс-овер эффекты.

Гомогенные функции. Скейлинг-функции систем с перколяцией и магнитных систем. Сглаживание сингулярностей. Эффект конечного размера системы. Ширина зоны возникновения перколяции. Кросс-овер эффекты. Опасные переменные. Гомогенные функции как наиболее общий формализм явлений скейлинга. Ренормализационная группа как источник скейлинг-поведения.

## 7. Теория фазовых переходов первого и второго рода. Модель Изинга.

Модель Изинга с взаимодействием ближайших соседей. Ближний и дальний порядок. Приближение среднего поля как пренебрежение флуктуациями. Теория фазовых переходов

Ландау. Поведение равновесной и неравновесной свободной энергии. Потенциальный барьер, критический зародыш. Метастабильные состояния. Критическая точка. Спинодаль. Антиферромагнетики.

#### 8. Формализм статистической физики неравновесных состояний.

Микросостояния и флуктуации. Вероятность микросостояния и флуктуации. Логарифмическая точность, почему статсумма равна своему наибольшему слагаемому? Выбор свободной энергии термостатом, может ли система повлиять на этот выбор? Вероятность флуктуации. Наиболее общее определение энтропии и свободной энергии. Связь свободной энергии и вероятности. Частичные статсуммы. Вероятность Гиббса–Больцмана как распределение свободной энергии. Флуктуации как инструмент исследователя.

#### 9. Фрактальные множества.

Детерминистические и стохастические фракталы. Самоаффинные фракталы. Фракталы-деревья. Мультифракталы.

Семинары.

Береговая линия Англии как стохастический фрактал. Триадная кривая Коха как детерминистический аналог. Фрактальная размерность. Определение размерности методом подсчета кубов. Скейлинг как метод определения размерности. Примеры фракталов. Самоаффинные фракталы. Фракталы-деревья. Геометрическое основание мультифрактала.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Расширения Стандартной Модели**

#### **Цель дисциплины:**

Данный курс знакомит учащихся с современным состоянием и путями дальнейшего развития физики элементарных частиц и высоких энергий за рамками Стандартной модели, создавая теоретическую базу, необходимую для работы в данной области. При изучении курса студенты получают представление о том, с каким теоретическим и экспериментальным материалом им предстоит иметь дело в ходе проведения исследований по НИР в области физики высоких энергий и элементарных частиц.

#### **Задачи дисциплины:**

- ознакомление студентов с современной научной картиной мира в области физики высоких энергий.
- получение представления о существующих проблемах и нерешённых вопросах Стандартной модели.
- подробное изучение наиболее популярных вариантов выхода за рамки Стандартной модели.
- ознакомление студентов с современными методами исследований и последними экспериментальными данными в области физике элементарных частиц и высоких энергий по поиску новых эффектов за рамками Стандартной модели.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

содержание курса «Расширения Стандартной модели», соответствующую терминологию и понятийный аппарат, в частности основы подхода эффективных теорий поля (SMEFT). Иметь общее представление об истории развития суперсимметричных теорий и теорий с дополнительными измерениями пространства-времени, применяемых в современной физике высоких энергий.

##### **уметь:**

в простейших случаях вычислять аналитически сечения рождения и ширины распадов частиц из обобщений Стандартной модели, изучаемых в курсе.

## **владеть:**

изложенным в курсе математическим аппаратом теории поля, необходимым для качественных оценок и аналитических вычислений в рамках современных обобщений Стандартной модели.

## **Темы и разделы курса:**

### 1. Введение. Стандартная модель.

Система единиц в физике высоких энергий. Масштабы времен и расстояний, изучаемые СМ и доступные на современных коллайдерах. Типы симметрий, лежащих в основе построения Стандартной модели (СМ) и некоторых ее расширений. Группа калибровочной симметрии СМ. Поля и частицы СМ. Лагранжиан СМ в пределе нулевых масс.

### 2. Спонтанное нарушение симметрии.

Понятие спонтанного нарушения симметрии. Механизм спонтанного нарушения симметрии ВЕН и бозон Хиггса. Хиггсовский сектор Стандартной модели. Поправки к массе бозона Хиггса. Ширина бозона Хиггса Стандартной модели как функция его массы. Проблема иерархий, проблема "малых иерархий". Формулировка натуральности  $t'$ Хоофта. Унитарность и электрослабая теорема эквивалентности. Поведение продольных компонент массивных калибровочных бозонов в процессах рассеяния при высоких энергиях. Открытие бозона Хиггса и "No-lose" теорема.

### 3. Проблемы СМ, «новая физика» и «эффективные теории поля»

Основные проблемы Стандартной модели и фундаментальные вопросы, на которые она не дает ответа. Экспериментальные факты, которые невозможно объяснить в рамках СМ. Основные теоретические направления выхода за рамки СМ. Специфика проявления эффектов «новой физики» на коллайдерах в случаях, когда энергия столкновений достаточна или недостаточна для рождения новых частиц, а их взаимодействия с полями СМ недостаточно сильны. Подпороговые эффекты. «Эффективные теории поля» и «упрощенные модели» при изучении эффектов «новой физики». Формализм SMEFT (Standard Model Effective Field Theory) и параметризация возможных отклонений от предсказаний СМ калибровочно-инвариантными локальными операторами с возрастающими размерностями, превышающими четыре. Примеры операторов размерности 6, содержащие поля Хиггса и топ-кварка. Примеры современных ограничений на аномальные параметры во взаимодействиях Хиггса и топ-кварка с другими полями. Примеры поиска модельно-независимых проявлений на LHC.

### 4. Группы Лоренца и Пуанкаре.

Лоренцевы повороты и бусты. Группа Лоренца. Алгебра генераторов группы Лоренца. Универсальная накрывающая группы Лоренца - группа  $SL(2, \mathbb{C})$ . Фундаментальное и присоединенное представления группы  $SL(2, \mathbb{C})$ . Спиноры Вейля. Генераторы группы  $SL(2, \mathbb{C})$ , преобразования спиноров с ковариантными и контравариантными индексами. Спиноры Дирака и Майораны. Группа Пуанкаре. Алгебра генераторов группы Пуанкаре.

### 5. Суперсимметрия.

История развития суперсимметричных теорий с семидесятых годов прошлого века до наших дней. Теорема Коулмена-Мандулы. Расширение алгебры Пуанкаре антикоммутирующими генераторами. Алгебра генераторов суперсимметрии. Операторы Казимира группы Пуанкаре и группы суперсимметрии. Суперпространство. Интегрирование и дифференцирование с грасмановыми числами. Спинорные компоненты как грасмановы числа.

#### 6. Суперсимметричная теория поля.

Понятие суперполя. Явный вид генераторов суперсимметрии на суперполях. Закон преобразования суперполей под действием генераторов суперсимметрии. Сумма и произведение суперполей. Разложение суперполя на компоненты и законы преобразования компонент. Ковариантные производные на суперпространстве. Киральное суперполе. Размерность компонент кирального суперполя. Разложение кирального суперполя на компоненты и законы преобразования компонент. Суперпотенциал, модель Весса-Зумино. Векторное суперполе. Разложение векторного суперполя на компоненты в калибровке Весса-Зумино. Напряженность векторного суперполя. Калибровочно-инвариантный лагранжиан на суперпространстве, построенный из кирального и векторного суперполей. Вспомогательные поля  $F$  и  $D$ .

#### 7. Минимальное суперсимметричное расширение Стандартной модели (MSSM).

Киральные и векторные суперполя в MSSM, их квантовые числа и компоненты.  $R$ -четность. Суперпотенциал MSSM. Лагранжиан MSSM без нарушения суперсимметрии. Смешивание компонент суперполей MSSM и физические степени свободы. Суперсимметричная темная материя. Необходимость и основные сценарии нарушения суперсимметрии. Мягкое нарушение суперсимметрии. Лагранжиан мягкого нарушения суперсимметрии в MSSM.

#### 8. Хиггсовский сектор и спектр масс MSSM.

Спонтанное нарушение электрослабой симметрии в MSSM и лагранжиан полей Хиггса. Ограничения на массы бозонов Хиггса на древесном уровне. Роль петлевых поправок. Вершины взаимодействия бозонов Хиггса с другими полями. Особенности поиска бозонов Хиггса MSSM на коллайдерах. Распады и процессы рождения бозонов Хиггса на LHC. Современные ограничения.

#### 9. Поиск суперсимметрии.

Возможные проявления суперсимметрии на коллайдерах и в неускорительных экспериментах. Лагранжиан MSSM для суперпартнёров. Рождение и распад суперпартнёров на ускорителях. Процессы рождения и распада глюино и топ-скварков на LHC. Современные ограничения.

#### 10. Теории Великого Объединения.

Бегущие калибровочные константы связи в SM и MSSM и идея их объединения в рамках простой калибровочной группы. Простейшая ТВО на примере калибровочной группы  $SU(5)$ . Вложение калибровочной группы SM в группу  $SU(5)$ . Приводимое представление  $5+10$  группы  $SU(5)$  и фермионы SM. Присоединенное представление группы  $SU(5)$  и калибровочные бозоны модели: калибровочные бозоны SM и лептокварки. Отсутствие аномалий. Распад протона, современные экспериментальные ограничения, нарушение барионного числа и бариогенезис. Достоинства и проблемы  $SU(5)$ -модели ТВО.

#### 11. Теории с дополнительными измерениями пространства-времени.



Историческое введение: теории с дополнительными измерениями пространства-времени с начала прошлого века до наших дней. Теории типа Калуцы-Клейна. Понятия компактификации и размерной редукции. «Большие» дополнительные измерения. Модель ADD. Модель мира на бране – модель Рэндалл-Сундрум (RS model). Пятимерный лагранжиан модели RS, уравнения движения и их решение. Объяснение слабости четырехмерной гравитации на основе модели RS. Достоинства и недостатки модели RS. Стабилизированная модель RS. Поле радиона. Современные экспериментальные ограничения для теорий с дополнительными измерениями пространства-времени.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Русский язык как иностранный**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины «Русский язык как иностранный (уровень В1+)» является формирование межкультурной профессиональной коммуникативной компетенции на уровне В1+ по общеевропейской шкале уровней владения иностранными языками для решения социально-коммуникативных задач в различных областях бытовой, культурной, профессиональной и научной деятельности на русском языке, а также для дальнейшего самообразования магистрантов.

#### **Задачи дисциплины:**

Задачи формирования межкультурной профессионально ориентированной коммуникативной компетенции состоят в последовательном овладении студентами совокупностью субкомпетенций, основными из которых являются:

- лингвистическая компетенция, т.е. умение адекватно воспринимать и корректно использовать языковые единицы на основе знаний о фонологических, грамматических, лексических, стилистических особенностях изучаемого языка;
- социолингвистическая компетенция, т.е. умение адекватно использовать реалии, фоновые знания, ситуативно обусловленные формы общения;
- социокультурная компетенция, т.е. умение учитывать в общении речевые и поведенческие модели, принятые в соответствующей культуре;
- социальная компетенция, т.е. умение взаимодействовать с партнерами по общению, вступать в контакт и поддерживать его, владея необходимыми стратегиями;
- стратегическая компетенция, т.е. умение применять разные стратегии для поддержания успешного взаимодействия при устном/письменном общении;
- дискурсивная компетенция, т.е. умение понимать и порождать иноязычный дискурс с учетом культурно обусловленных различий;
- общая компетенция, включающая наряду со знаниями о стране и мире, об особенностях языковой системы также и способность расширять и совершенствовать собственную картину мира, ориентироваться в медийных источниках информации;
- межкультурная компетенция, т.е. способность достичь взаимопонимания в межкультурных контактах, используя весь арсенал умений для реализации коммуникативного намерения;

- компенсаторная компетенция, т.е. способность избежать недопонимания, преодолеть коммуникативный барьер за счет использования известных речевых и метаязыковых средств.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- Основные факты, реалии, имена, достопримечательности, традиции России;
- достижения, открытия, события из области русской культуры, политики, социальной жизни;
- фонетические, лексико-грамматические, стилистические особенности русского языка и его отличие от родного языка;
- особенности основных типов и некоторых жанров письменной и устной речи;
- особенности и различный формулы русского речевого этикета;
- основные достижения в области российской науки.

#### **уметь:**

- Понимать на слух содержание законченного по смыслу аудиотекста, в котором используются в основном эксплицитные способы выражения содержания, а допустимые имплицитные формы отличаются высокой частотностью и стандартностью моделей продуцирования смысла;
- достигать необходимых уровней понимания в различных сферах и ситуациях общения в соответствии с заданными параметрами социальных и поведенческих характеристик общения;
- понимать основное тематическое содержание, а также наиболее функционально значимую смысловую информацию, отражающую намерения говорящего;
- понимать семантику отдельных фрагментов текста и ключевых единиц, определяющих особенности развития тематического содержания;
- понимать основные социально-поведенческие характеристики говорящего;
- понимать основные цели и мотивы говорящего, характер его отношения к предмету речи и реципиенту, выраженные в аудиотексте эксплицитно;
- достигать определенных целей коммуникации в различных сферах общения с учетом социальных и поведенческих ролей в диалогической и монологической формах речи;
- организовывать речь в форме диалога, быть инициатором диалога-расспроса, используя развитую тактику речевого общения (начинать и заканчивать разговор в ситуациях различной степени сложности, вербально выражать коммуникативную задачу, уточнять детали сообщения собеседника);

- продуцировать монологические высказывания, содержащие: описание конкретных и абстрактных объектов; повествование об актуальных для говорящего событиях во всех видовременных планах; рассуждения на актуальные для говорящего темы, содержащие выражение мнения, аргументацию с элементами оценки, выводы;
- достигать цели коммуникации в ситуации свободной беседы, где роль инициатора общения принадлежит собеседнику и где необходимо умение реализовать тактику речевого поведения, характерную для неподготовленного общения в рамках свободной беседы (преимущественно на социально-культурные темы);
- репродуцировать письменный и аудиотексты, демонстрируя умение выделять основную информацию, производить компрессию путем исключения второстепенной информации;
- продуцировать письменный текст, относящийся к официально-деловой сфере общения (заявление, объяснительная записка, доверенность, рекомендация и т.д.);
- осуществлять дистантное письменное общение, вести записи на основе увиденного и прочитанного с элементами количественной и качественной характеристики, оценки, с использованием типизированных композиционных компонентов (введение, развертывание темы, заключение);
- проявлять толерантность, эмпатию, открытость и дружелюбие при общении с представителями другой культуры;
- читать и анализировать тексты научного стиля любой тематики, составлять план (план-конспект), выделять главную информацию и уметь ее интерпретировать в зависимости от задания;
- воспринимать на слух аудиотексты научной тематики, выделять главную информацию, фиксировать наиболее значимые факты, кратко излагать содержание прослушанного аудиофрагмента;
- вступать в дискуссию, связанную с научной проблематикой, грамотно выражать свою точку зрения по конкретному вопросу, используя языковые средства научного стиля.

**владеть:**

- Межкультурной профессионально ориентированной коммуникативной компетенцией в разных видах речевой деятельности на уровне В1-В2;
- социокультурной компетенцией для успешного взаимопонимания в условиях общения с представителями другой культуры;
- различными коммуникативными стратегиями;
- учебными стратегиями для организации своей учебной деятельности;
- стратегиями рефлексии и самооценки в целях самосовершенствования личных качеств и достижений;
- разными приемами запоминания и структурирования усваиваемого материала;
- Интернет-технологиями для выбора оптимального режима получения информации.

## Темы и разделы курса:

### 1. Сферы интересов и увлечений. Свободное время. Хобби.

Коммуникативные задачи: инициировать беседу, поддерживать беседу о сферах интересов и увлечений человека, важности и значимости хобби в жизни каждого человека. Высказывать мнение о влияниях хобби на формирование личности. Поддерживать дискуссию на тему связи хобби с будущей профессиональной деятельностью. Сообщать и запрашивать информацию о целях, причинах, возможностях, а также уточнять, выяснять и объяснять факты и события. Составлять вопросный план и тезисный план (для интервью), написать эссе на основе интервью (повествовательный тип).

Лексика: «Характер», «Сферы общественной жизни», «Сферы интересов и увлечений», «Хобби», «Свободное время», «Глаголы речи (с продуктивными приставками)». РС уточнения, переспроса, выяснения и объяснения.

Грамматика: именительный падеж существительных и прилагательных (повторение и обобщение). Выражение субъектно-объектных отношений (активные и пассивные конструкции НСВ).

Фонетика: коррекция фонетических трудностей в области произношения русских гласных и согласных звуков.

### 2. Значение образования в жизни человека. Российская система образования.

Коммуникативные задачи: инициировать беседу, вступить в дискуссию по теме, выразить свою точку зрения о значении образования в жизни современного человека. Сообщать и запрашивать информацию о целях, причинах, возможностях, а также уточнять, выяснять и объяснять различия Российской системы образования от системы образования в стране обучающегося. Сопоставлять факты и события. Подготовить на основе полученной информации доклад о различиях в системе образования. Составлять вопросный план и тезисный план (для интервью), написать эссе на основе интервью (повествовательный тип), создать презентацию по теме дискуссии.

Лексика: «Образование», «Сферы общественной жизни», «Наука и жизнь», «Интеллектуальное развитие человека», «Глаголы речи (со значением классификации и принадлежности к классу)». РС уточнения, переспроса, выяснения и объяснения.

Грамматика: родительный падеж существительных (повторение и обобщение). Определительные конструкции с существительными в форме родительного падежа. Выражение причинно-следственных отношений с помощью конструкций с родительным падежом (из-за..., от..., с... и др.). Особенности выражения временных отношений с использованием конструкций с родительным падежом.

Фонетика: коррекция фонетических трудностей в области произношения русских гласных и согласных звуков.

### 3. Путешествия. Интересные и необычные места планеты. Достопримечательности России и страны обучающегося.

Коммуникативные задачи: сообщать и запрашивать информацию о наиболее интересных и необычных местах Земли. Уточнять необходимую информацию о важнейших туристических целях страны обучающегося. Выразить рациональную оценку (оценивать

целесообразность, эффективность, истинность). Обобщать информацию и делать выводы. Написать эссе, содержащее сравнительный анализ. Инициировать беседу о значении путешествий в жизни человека.

Лексика: «Путешествия», «Интересные места планеты», «Достопримечательности». РС уточнения, переспроса, выяснения и объяснения.

Грамматика: дательный падеж существительных и прилагательных (повторение и обобщение). Выражение субъектно-объектных отношений (активные и пассивные конструкции СВ), выражение определительных отношений (активные причастия настоящего и прошедшего времени). Конструкции который + глагол.

Фонетика: корректировка фонетических трудностей в области произношения русских согласных звуков.

4. Традиции и обычаи России. Сопоставление с традициями и обычаями родной страны обучающегося.

Коммуникативные задачи: сообщать и запрашивать информацию о традициях и обычаях России и страны обучающегося. Инициировать беседу об особенностях празднования наиболее значимых праздников (Новый год, Международный женский день, дни рождения, свадьбы, Рождество) и традициях дарить подарки. Вступить в дискуссию о культурных фактах и событиях, государственных праздниках. Выразить и выяснять эмоциональную оценку (удовольствие/неудовольствие, удивление, равнодушие, восхищение и т.п.). Написать эссе (описательного типа).

Лексика: «Традиции и обычаи», «Праздники», «Подарки», «Эмоциональное состояние». РС выражения оценки, заинтересованности, предпочтения.

Грамматика: винительный падеж существительных и прилагательных (повторение и обобщение). Глаголы движения с приставками, Выражение субъектно-объектных отношений (конструкции с глаголами, выражающими внутреннее состояние, чувство).

Фонетика: корректировка фонетических трудностей в области произношения русских согласных звуков.

5. Научно-технический прогресс. Достижения современной науки.

Коммуникативные задачи: провести сравнительный анализ современного состояния науки в России и в родной стране обучающегося, аргументированно изложить выявленные сходства и различия. Сообщать и запрашивать информацию о целях, причинах, возможностях, а также уточнять, выяснять и объяснять факты и события. Выразить и выяснять рациональную оценку (оценивать целесообразность, эффективность, истинность). Инициировать дискуссию с целью поиска решения ряда проблем современной науки. Обобщать информацию и делать выводы. Написать конспект текста по специальности.

Лексика: «Научные открытия и изобретения», «Наука», «Глаголы мыслительной деятельности (с продуктивными приставками)».

Грамматика: творительный падеж существительных и прилагательных (повторение и обобщение). Выражение субъектно-объектных отношений (конструкции с возвратными глаголами, выражающими временные границы действия, изменения состояния, качества,

количества, характеристики. Безличные конструкции на -ся). Глаголы движения с приставками (обобщение и систематизация).

Фонетика: стилистические и эмоционально-оценочные функции русской интонации.

6. Человек и искусство. Значение искусства в жизни человека. Музыка, кино, живопись, литература.

Коммуникативные задачи: выразить и аргументировать свою точку зрения о значении искусства в жизни человека. Выяснить и уточнить информацию о любимых видах искусства собеседника. Инициировать дискуссию о наиболее актуальных в настоящее время видах искусства. Подготовить сообщение о любимом фильме, музыкальном и литературном произведении и т.д. Выражать и выяснять рациональную оценку (оценивать целесообразность, эффективность, истинность), обобщать информацию и делать выводы. Написать эссе по теме дискуссии.

Лексика: «Искусство», «Музыка», «Литература», «Кинематография», «Живопись».

Грамматика: предложный падеж существительных и прилагательных (повторение и обобщение). Виды глагола (повторение и обобщение): употребление глаголов совершенного и несовершенного видов в инфинитиве, употребление глаголов совершенного и несовершенного видов с отрицанием, употребление глаголов совершенного и несовершенного видов в императиве, в простом и сложном предложении, двувидовые глаголы.

Фонетика: стилистические и эмоционально-оценочные функции русской интонации.

7. Спорт и его влияние на здоровье и характер человека. Спорт в жизни каждого человека.

Коммуникативные задачи: инициировать беседу, поддерживать беседу о значении спорта в жизни человека. Поддержать дискуссию о влиянии спорта на здоровье и эмоциональное состояние человека. Уточнить, выяснить, выразить свою точку зрения о необходимости занятий спортом как одним из факторов, формирующих характер личности. Сообщать и запрашивать информацию о целях, причинах, возможностях, а также уточнять, выяснять и объяснять факты и события. Составлять вопросный план и тезисный план (для интервью), написать эссе на основе интервью (повествовательный тип).

Лексика: «Спорт», «Здоровье», «Эмоциональное состояние». РС и этикетные формулы, характерные для публичного выступления.

Грамматика: существительные и прилагательные в форме множественного числа (повторение и обобщение). Выражение временных отношений в простом и сложном предложении. Деепричастие.

Фонетика: коррекция фонетического акцента.

8. Наиболее актуальные и престижные профессии. Наиболее значимые аспекты при выборе профессии.

Коммуникативные задачи: сообщать и запрашивать информацию о наиболее актуальных и престижных в настоящее время профессиях. Приоритетах в выборе будущей профессии. Инициировать дискуссию о наиболее полезных для общества профессиях. Поддержать беседу о критериях выбора профессии и ее связи с характером и сферами интересов и увлечений личности, специфике и условиях работы. Расспрашивать, уточнять, дополнять, выражать согласие/несогласие, выражать и выяснять интеллектуальную оценку

(предпочтение, мнение, предположение), морально-этическую оценку (одобрение, порицание), социально-правовую оценку (оправдывать, защищать, обвинять).

Лексика: «Профессии», «Карьера, успех». РС социально-правовой оценки (обвинения и защиты).

Грамматика: глагольное управление (повторение и обобщение).

Фонетика: коррекция фонетического акцента.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Сверхпроводимость и сверхтекучесть**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний в области современной физики сверхпроводимости, изучение основ теории и методов теоретического описания различных процессов в сверхпроводящих структурах, а также приобретение базовых навыков самостоятельной научно-исследовательской работы.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области теоретической физики сверхпроводимости;
- обучение студентов современным методам теоретического описания различных сверхпроводящих структур и навыкам решения сопутствующих задач;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований в области теоретической физики в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- уравнения Лондонов;
- особенности термодинамики сверхпроводящего перехода;
- основные идеи микроскопической теории сверхпроводимости;
- критерий сверхтекучести Ландау;
- пробную волновую функцию сверхпроводящего состояния;
- энергию и волновую функцию основного и первого возбужденного состояния;
- энергетический спектр сверхпроводников;
- температурную зависимость энергетической щели;
- термодинамику сверхпроводников;
- теорию Гинзбурга-Ландау;
- квантование магнитного потока;

- сверхпроводимость второго рода;
- андреевское отражение;
- эффект близости в сверхпроводниках;
- туннельную плотность состояний;
- метод туннельного гамильтониана;
- уравнения Джозефсона;
- эффект Джозефсона в магнитном поле;
- переменный эффект Джозефсона и ступеньки Шапиро;
- волны Сфихарта и ступеньки Фиске;
- заряд квазичастицы в сверхпроводнике;
- внутренний эффект Джозефсона в высокотемпературных сверхпроводниках;
- плазменные осцилляции в джозефсоновском переходе.

**уметь:**

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной теоретической физики сверхпроводимости.

**владеть:**

- основными методами теории БКШ;
- техникой вычисления пробной волновой функции сверхпроводящего состояния;
- техникой вычисления энергии и волновой функции основного и первого возбужденного состояния;
- техникой вычисления энергетического спектра сверхпроводников;
- техникой расчета температурной зависимости энергетической щели;
- методом туннельного гамильтониана;
- методом описания эффекта Джозефсона в магнитном поле;
- методом описания переменного эффект Джозефсона;
- методом описания внутреннего эффект Джозефсона в высокотемпературных сверхпроводниках.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение. Макроскопическая теория сверхпроводимости.

Общие свойства сверхпроводников.

Макроскопическая теория сверхпроводимости. Термодинамика сверхпроводящего перехода. Промежуточное состояние. Уравнения Лондонов.

2. Основные идеи микроскопической теории.

Основные идеи микроскопической теории. Критерий сверхтекучести. Фононное притяжение. Куперовские пары.

3. Основное состояние и элементарные возбуждения в сверхпроводниках.

Основное состояние и элементарные возбуждения в сверхпроводниках. Выбор пробной волновой функции. Энергия основного состояния. Первое возбужденное состояние.

4. Энергетический спектр сверхпроводников.

Энергетический спектр сверхпроводников. Температурная зависимость энергетической щели.

5. Сверхпроводящая корреляция и поверхностная энергия.

Сверхпроводящая корреляция и поверхностная энергия. Два рода сверхпроводников.

6. Теория Гинзбурга-Ландау.

Вывод уравнений Гинзбурга-Ландау. Поверхностная энергия на границе нормальной и сверхпроводящей фаз. Квантование магнитного потока

7. Термодинамика сверхпроводников. Сверхпроводимость второго рода.

Термодинамика сверхпроводников.

Сверхпроводимость второго рода. Вихри в сверхпроводниках. Поле одиночного вихря. Первое критическое поле. Взаимодействие вихрей. Второе критическое поле.

8. Эффект близости в сверхпроводниках.

Эффект близости в сверхпроводниках. Андреевское отражение.

9. Сверхпроводящие структуры.

Сверхпроводящие структуры. Одночастичное туннелирование. Туннельная плотность состояний.

10. Метод туннельного гамильтониана.

Метод туннельного гамильтониана. Примеры задач.

11. Структура сверхпроводник - изолятор - сверхпроводник.

Структура сверхпроводник - изолятор - сверхпроводник. Туннелирование куперовских пар. Уравнения Джозефсона.

12. Эффект Джозефсона в магнитном поле.

Эффект Джозефсона в магнитном поле.

### 13. Переменный эффект Джозефсона.

Переменный эффект Джозефсона. Ступеньки Шапиро. Волны в Джозефсоновском контакте. Волны Сфихарта. Ступеньки Фиске.

### 14. Неравновесная сверхпроводимость и внутренний эффект Джозефсона.

Неравновесная сверхпроводимость. Заряд квазичастицы в сверхпроводнике. Разбаланс заселенностей ветвей спектра элементарных возбуждений и электрическое поле в сверхпроводниках. Внутренний эффект Джозефсона в высокотемпературных сверхпроводниках. Плазменные осцилляции в джозефсоновском контакте. Индуктивная и емкостная связь в системе джозефсоновских контактов.

### 15. Сверхтекучесть.

Элементарные возбуждения в квантовой бозе-жидкости. Сверхтекучесть. Фононы в жидкости. Вырожденный почти идеальный бозе-газ. Волновая функция конденсата. Температурная зависимость плотности конденсата. Поведение сверхтекучей плотности вблизи  $\lambda$ -точки.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Сверхпроводниковые квантовые системы**

#### **Цель дисциплины:**

- ознакомление с физикой сверхпроводниковых квантовых систем.

#### **Задачи дисциплины:**

познакомить студентов с базовыми физическими принципами сверхпроводниковых квантовых систем, с основными идеями и техническими решениями в этой области, с постановкой задач и исследовательскими подходами к их решениям. Продемонстрировать экспериментальные применения таких систем как в физике, так и в технологии. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Квантовую механику искусственных квантовых систем. Базовые принципы квантовой оптики искусственных квантовых систем на чипе. Экспериментальные методы для исследований в области искусственных квантовых систем.

##### **уметь:**

Описывать электрические цепи и поля в квантово-механических терминах.

Описывать различные типы искусственных атомов как квантовые схемы на кристалле и вывести Гамильтонианы сверхпроводящих квантовых систем на основе заряда и потока. Вычислять временную эволюцию управляемой двухуровневой системы и отображать её на сферу Блоха.

Объяснять физический смысл сильного взаимодействия искусственных атомов с различными элементами и полями; описывать взаимодействие квантованных электромагнитных полей с искусственными атомами; объяснять разницу между естественными и искусственными атомами и преимущество последних для конкретных применений.

Объяснять фундаментальные квантово-оптические явления с одиночными искусственными атомами; работу квантово-оптических устройств на основе искусственных квантовых

систем; объяснять, как экспериментально реализовывать основные квантовые оптические явления на чипе.

**владеть:**

Аппаратом описания реальных квантовых систем; численными методами для описания эволюции квантовых систем; методами симуляции квантово-оптических систем.

**Темы и разделы курса:**

1. Двухуровневые системы.

Тема посвящена квантовой механике двухуровневых систем. Будет рассмотрен гамильтониан двухуровневой системы, волновая функция, её отображение и отображение её динамики на сфере Блоха; приведены примеры физических реализаций и приближение двухуровневых систем; рассмотрены примеры записи чисел в физических состояниях двухуровневых систем; введено определение квантового бита.

2. Квантовая механика электрических цепей.

В этой теме будет рассмотрена квантовая механика электрических цепей; потенциальная и кинетическая энергии ёмкости и индуктивности; квантовая механика LC-резонатора. Будут показаны вывод гамильтониана электрической схемы; операторы рождения/уничтожения фотонов в резонаторах; квантование поля в копланарных резонаторах.

3. Принципы сверхпроводниковых квантовых цепей.

Задача этой темы – познакомить с основными типами сверхпроводниковых квантовых схем. Будет рассмотрена квантовая механика джозефсоновских переходов, квантование заряда и магнитного потока; показан вывод операторов заряда и сверхпроводниковой фазы, связь между ними и коммутационные соотношения. Также будут рассмотрены зарядовые и потоковые кубиты, зарядовый базис, вывод гамильтонианов зарядового и потокового кубитов.

4. Связь сверхпроводниковых квантовых систем с другими системами. Искусственный атом-резонатор.

Будет рассматриваться связь сверхпроводниковых квантовых систем с другими элементами цепи, в частности, с гармоническим осциллятором. Практические реализации: сверхпроводниковые кубиты связанные с копланарным резонатором. Вывод гамильтониана Джеймса-Каминса для сверхпроводникового кубита, связанного с резонатором. Вывод силы связи между кубитом и резонатором.

5. Реальные квантовые системы. Эффекты декогеренции. Диссипативная динамика.

Тема посвящена динамике реальных квантовых систем. Будет рассмотрены эффекты диссипации и декогеренции квантовой системы. Будут введены матрица плотности и квантовое кинетическое уравнение для описания диссипативной динамики квантовой системы. Сфера Блоха для диссипативной квантовой системы. Вывод уравнений Блоха для двухуровневой системы.

6. Квантовая оптика на чипе.

Эта тема посвящена описанию подходов квантовой оптики для электронных схем со сверхпроводниковыми кубитами. Будет рассмотрено приближение вращающейся волны; описание динамики сверхпроводниковой квантовой системы на языке вторичного квантования. Будут рассмотрены сдвиг энергий из-за штарковского и лэмбовского эффектов. Будет введена концепция физической сильной связи между квантовой системой и окружением.

#### 7. Экспериментальная реализация квантово-оптических систем на чипе.

Здесь будут приведены примеры экспериментальной реализации квантово-оптических эффектов со сверхпроводниковыми квантовыми системами. Приведены примеры контроля состояний в квантовой системе, контроля и манипуляции единичными фотонами, трёх-уровневой квантовой системой и т.д.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Семинар по актуальным проблемам физики**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами фундаментальных знаний в области электрофизики и физики плазмы, экспериментальных методов и приборов, используемых в научно-исследовательской работе, изучение способов создания лабораторных установок и с их помощью методов исследования физических процессов в конденсированном, газообразном состоянии вещества и плазмы, а также областей их практического применения.

#### **Задачи дисциплины:**

Задачами учебной дисциплины являются:

- формирование базовых знаний в области электрофизики и физики плазмы, как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов принципам создания оптических, лазерных, спектральных и электронно-пучковых устройств, выявление особенностей их функциональных характеристик;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области оптических, фотоэлектронных, электрофизических измерений в рамках выполнения работ в лабораториях базовых предприятий;
- приобретение навыков применения полученных знаний в смежных и междисциплинарных научных областях.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- современные проблемы и методы физики и математики;
- общие подходы к решению прикладных и теоретических задач физики и техники современного спектрального оборудования.



**уметь:**

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть физическое содержание в технических задачах;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать наилучшие значения параметров спектральных и иных электрофизических установок различного назначения и правильно оценивать степень их достоверности;
- эффективно использовать полученные знания, имеющиеся методы решения задач экспериментальной физики для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

**владеть:**

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с созданием современного спектрального и, прикладных и медицинских исследований.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Источники излучения

Источник жесткого рентгеновского излучения. Источник мягкого рентгеновского излучения.

## 2. Физика экстремальных состояний

Системы с высокой плотностью вложенной энергии.

Особенности протекания физических процессов в экстремальных условиях.

### 3. Термоядерные реакции

Выделение энергии при термоядерных реакциях.

Инерциальный и лазерный термоядерный синтез.

### 4. Импульсная энергетика и сильноточная электроника

Электроника больших мощностей.

Быстропротекающие процессы.

Импульсная энергетика.

### 5. Когерентные процессы

Импульсная энергетика и сильноточная электроника.

### 6. Радиационные процессы

Спонтанное и индуцированное излучение в квантовом и классическом подходе.

Индукцированное излучение как процесс автофазировки в собственном радиационном поле.

### 7. Нелинейные процессы

Основные нелинейные эффекты – распад когерентности и стохастизация движения.

Индукцированное излучение взаимодействующих частиц как проявление радиационной неустойчивости.

### 8. Излучение в плазменно-пучковых системах

Черенковское излучение в плазменно-пучковых системах. Абсолютная и конвективная неустойчивость холодного пучка. Влияние конечной температуры.

### 9. Теория относительности

Скорость света. Релятивистская механика.

Гравитационные эффекты и масса фотона.

### 10. Скорость света

Скорость света в материальных средах. Скорость света в фотонных кристаллах. Замедление света и локализация фотонов.

Сверхсветовые импульсы в усиливающих средах. Эффект Доплера.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Семинар по нанооптике и спектроскопии**

#### **Цель дисциплины:**

Целью семинара является ознакомление студентов с новейшими достижениями науки и технологий в области современной оптики, нанооптики и лазерной спектроскопии, а также с перспективными применениями новых научных результатов.

#### **Задачи дисциплины:**

Усвоение студентами основ современной науки в области оптики, нанооптики и лазерной спектроскопии.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные концепции, законы и принципы, лежащие в основе, физической оптики, нанооптики и спектроскопии объектов различной природы;
- основные теоретические и экспериментальные методы оптики, применяемые при изучении микро- и нанообъектов различной природы;
- основные результаты открытий и исследований, определивших пути развития оптической физики.

##### **уметь:**

- проводить самостоятельно и в коллективе экспериментальные или теоретические исследования в области оптики, нанооптики и спектроскопии;
- анализировать и обобщать результаты экспериментальных исследований;
- видеть и оценивать основные проблемы и ставить новые задачи.

##### **владеть:**

- методикой экспериментальной работы с объектами различной природы, включая нанообъекты;
- культурой проведения модельных расчетов;

- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей.

## **Темы и разделы курса:**

### **1. Введение в экспериментальную нанооптику.**

Что такое нанооптика, какие объекты и явления она изучает.

Что понимается под терминами нано- и мезообъекты, нано- и мезоструктуры.

Основные физические и оптические явления, связанные с взаимодействием света с объектами наноразмеров, отличие физических и оптических свойств нанообъектов от свойств макроскопических тел и основные физические причины этого отличия: пространственное ограничение (конфайнмент), квантово-размерные эффекты, вклад поверхностных состояний, возрастание вклада квантовых флуктуаций и др.

### **2. Основные понятия классической и квантовой электродинамики.**

Общий формализм. Уравнения Максвелла и волновые уравнения.

Материальные уравнения и граничные условия. Формулы Френеля. Поляризационные эффекты при прохождении и отражении света на границе двух сред.

Монохроматические поля. Пространственное представление полей зависящих от времени. Угловое спектральное распределение излучения.

Параксиальное приближение. Гауссовы лазерные пучки, эрмитово-гауссовские и лаггеррово-гауссовские моды. Продольные поля в фокальной плоскости.

Перенос энергии излучением. Закон сохранения энергии.

Формализм функции Грина. Нестационарная функция Грина.

Полное внутреннее отражение. Нарушенное полное внутреннее отражение. Запрещенный свет. Эванесцентные поля.

### **3. Элементарные квантовые излучатели света.**

Металлические наносферы, наноцилиндры, нанопроволоки. Использование металлических наночастиц в качестве оптических и спектральных нанозондов.

Хромофорные молекулы. Спектр поглощения и излучения хромофорных молекул. Спектральная ширина линий, спектральная релаксация, взаимодействие света с матрицей. Использование одиночных флуоресцентных молекул в качестве спектрального нанозонда. Спектроскопия одиночных молекул.

Нанокристаллы и полупроводниковые квантовые точки. Зависимость спектров излучения и поглощения от размеров наночастиц. Применения нанокристаллов и квантовых точек в качестве оптического нанозонда.

Однофотонные излучатели на квантовых точках, флуоресцентных молекулах и NV центрах замещения.

4. Излучение света и оптические взаимодействия вблизи элементарных точечных излучателей.

Квантование электромагнитного поля в присутствии материальных тел. Гамильтониан “частица + поле”.

Излучение точечного электрического диполя.

Понятие ближнего и дальнего поля. Перенос энергии дипольного излучения.

Мультипольное разложение.

Взаимодействие с континуумом электромагнитных мод. Локальная плотность состояний. Скорость спонтанной релаксации и время жизни.

5. Плазмоны в металлах. Объемные и поверхностные плазмоны. Локализованный плазмонный резонанс.

Теория Друде-Зоммерфельда. Взаимодействие электронных возбуждений в металлах с электромагнитным излучением. Оптика металлов, объемный плазмонный резонанс, вклад межзонных переходов.

Свойства поверхностных плазмонов-поляритонов. Возбуждение поверхностных плазмонов, поверхностные плазмоны в нанооптике. Локализованные плазмонные возбуждения, возбуждение плазмонов в металлических наносферах, спазер.

Гигантское комбинационное рассеяние вблизи наночастиц благородных металлов и на шероховатостях поверхности, SERS- и TERS-спектроскопия.

6. Оптическая микроскопия в дальнем и ближнем поле.

Дифракционный предел пространственного разрешения. Функция рассеяния точечного излучателя. Критерий Аббе.

Конфокальная микроскопия, нелинейная конфокальная микроскопия.

Нелинейное и селективное возбуждение, эффекты насыщения, STED-микроскопия, микроскопия, основанная на детектировании флуоресцентных изображений одиночных хромофорных молекул, субволновая STORM- и PALM-микроскопия.

Методы ближнепольной микроскопии. Преобразование излучения ближнего поля в излучение дальнего поля. Подсветка и детектирование в ближнем поле. Подсветка объекта в дальнем поле и детектирование сигналов в ближнем поле и наоборот. Сканирующая туннельная оптическая микроскопия. Модуляционные техники. SIAM-микроскопия.

7. Силы, возникающие при действии света на объекты.

Дипольное приближение. Силы в монохроматическом поле.

Тензор напряжений Максвелла. Давление излучения.

Кеплеровская и градиентная составляющие силы светового давления.

Силы светового давления в ближнем оптическом поле.

Оптический пинцет.

8. Взаимодействия, вызванные квантовыми флуктуациями.

Флуктуационно-диссипационная теорема. Функция отклика системы.

Флуктуационно-индуцированные силы. Потенциал Казимира-Полдера. Дисперсионное взаимодействие. Сила Казимира. Электромагнитное трение.

Излучение флуктуирующих источников. Белый шум, излучение абсолютно черного тела.

Когерентность, спектральный сдвиг и перенос тепла.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Семинар по научной литературе**

#### **Цель дисциплины:**

Держать студентов в курсе современных научных задач и технологий.

#### **Задачи дисциплины:**

Ознакомить студентов с современными тенденциями в науке и программировании, а также обучить студентов внятно излагать свои мысли и делать рецензии на чужие работы. Ознакомить студентов с тем, чем занимаются их коллеги.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Современное состояние науки и прикладного программирования. Актуальные инструменты для решения задач.

##### **уметь:**

Формулировать и представлять результаты своей научной работы. Делать рецензии на чужие работы.

##### **владеть:**

Инструментами для представления результатов научной деятельности.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Представление результатов научной работы. Представление рецензий. Обсуждение

Студенты выполняют научную работу, предоставляют на неё рецензии. Происходит обсуждение с последующей дискуссией по поводу их научных работ.

Примерный перечень тем для научных работ:

1. Физика частиц.

2. Инженерная физика.

3. Архитектура прикладных программ.

4. Frontend development.

5. Backend development.

6. Data science.

7. Компьютерное моделирование.

8. Математические методы в физике.

2. Семинары приглашенных специалистов

Прослушивание студентами семинаров приглашённых научных специалистов.

3. Представление результатов научной работы. Представление рецензий. Обсуждение

Студенты представляют свои научные работы, а также рецензии на них. Происходит дискуссия по обсуждению научных работ.

4. Семинары приглашенных специалистов

Прослушивание студентами семинаров приглашенных специалистов.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Семинар по физико-математическим проблемам безопасного развития атомной энергетики**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний по физике процессов, происходящих при тяжелых авариях на АЭС с ВВЭР;
- получение навыков использования программных комплексов НОСТРАДАМУС и НЕПТУН.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами базовых знаний в области химической кинетики, физики и химии горения газовых смесей;
- приобретение студентами навыков качественного анализа процессов, протекающих при тяжелых авариях на АЭС;
- изучение основных физических процессов при выбросе радиоактивных веществ в атмосферу, их миграции, дозовых нагрузок на человеческий организм и мерах по уменьшению вреда.
- моделирование и прогноз распространения загрязнения в водной среде.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- специфические особенности физических и физико-химических процессов, протекающих при тяжелых авариях на АЭС;
- современные стратегии предотвращения неблагоприятных сценариев при тяжелых авариях на АЭС;
- методы оценки концентраций загрязнителей и их воздействия на человека;
- физические аспекты процессов горения и детонации газовых смесей;
- основные особенности и специфику задач, связанных с экологической обстановкой вокруг предприятий энергетической отрасли с гипотетическим радиационным фактором риска.

**уметь:**

- эффективно использовать информационные технологии и компьютерную технику для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов по проблеме тяжелых аварий на АЭС;
- использовать существующие методы расчетов миграции радионуклидов в окружающей среде и оценки дозовых нагрузок на население при выбросах и сбросах радионуклидов;
- оценивать последствия аварийных ситуаций на основе результатов моделирования;
- осваивать новые предметные области и теоретические подходы применительно к проблеме безопасности атомной энергетики.

**владеть:**

- методами численного моделирования теплогидравлических, тепловых и тяжелоаварийных задач;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач, относящихся к проблеме тяжелых аварий на АЭС;
- умением разрабатывать оптимальные варианты использования радиационных технологий с точки зрения экологического состояния окружающей среды;
- способами оценки ущерба и пользы применения радиационных технологий;
- методами исследования гидродинамических течений реагирующих газов.

**Темы и разделы курса:****1. Безопасность атомной энергетики и основные принципы обеспечения безопасности**

Обоснование безопасности работы атомных станций при различных режимах работы

Проектные и запроектные аварии

Коды для моделирования реакторных установок

Концепция глубокоэшелонированной защиты

Барьеры безопасности: оболочка, первый контур, шахта, противоаварийная оболочка

**2. Защитные оболочки АЭС**

Общее представление об АЭС, оборудование, системы безопасности, требования к системам удержания и локализации последствий аварий.

Общие сведения о защитных оболочках АЭС.

Нагрузки и воздействия на защитные оболочки АЭС

Факторы, вызывающие снижение предварительного напряжения защитных оболочек АЭС.

Экспериментальные исследования защитных оболочек АЭС

### 3. Аварии на АЭС ВВЭР

Феноменология аварийных процессов, типы аварий

Управление авариями, предотвращение аварий, ослабление последствий

Разрушение активной зоны при тяжелой аварии на АЭС

Разрушение днища корпуса реактора при тяжелой аварии на АЭС

Взаимодействие расплава с бетоном

Выход продуктов деления при тяжелой аварии на АЭС

### 4. Физические процессы при тяжелой аварии

Образование водорода и кинетика окисления водорода.

Адиабата Пуассона.

Особенности реакции горения. Медленное горение.

Ударные волны.

Основные соотношения и законы сохранения. Ударная адиабата и ударная волна в реагирующем газе. Зона горения.

Структура детонационной волны. Направление изменения величин в зоне горения

Режимы детонации. Распространение детонационной волны. Неустойчивость детонационного фронта.

Концентрационные пределы детонации и скорость распространения детонации на пределе

Детонация в двухфазных средах. Взаимодействие с капельной взвесью. Теплообмен, трение

Условия подавления детонации в присутствии капельной взвеси.

### 5. Система НОСТРАДАМУС

Практическое использование системы. Аварийное реагирование.

Чернобыльский след. Рязанская ГРЭС.

Практикум по работе с пакетом в кризисном центре.

Расчет и анализ варианта выброса.

6. Модели распространения загрязнений в морской среде

Модели.

Программный комплекс НЕПТУН.

Демонстрация работы программного комплекса НЕПТУН.

**Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**Семинар по экспериментам в физике высоких энергий**

**Цель дисциплины:**

формирование знаний по экспериментальной физике на Большом адронном коллайдере и других ускорителях.

**Задачи дисциплины:**

- формирование знаний по постановке экспериментов на Большом адронном коллайдере (БАК);
- формирование знаний по основным результатам, полученным в экспериментах на БАК.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

постановку экспериментов на БАК и других ускорителях и методику анализа данных в этих экспериментах.

**уметь:**

интерпретировать экспериментальные результаты.

**владеть:**

методикой анализа данных, получаемых на ускорителях элементарных частиц.

**Темы и разделы курса:**

1. Доклады и выступление на семинаре по физике высоких энергий.
  1. Экспериментальные установки на БАК
    - Конструкция и принцип работы установок CMS и ATLAS;
    - Трековая система установок CMS и ATLAS;
    - Калориметрические системы установок CMS и ATLAS.

- Триггер и система сбора данных CMS.
  - Основные особенности установок LHCb и ALICE.
2. Поиск и исследование свойств бозона Хиггса
    - Зависимость сечения процессов образования бозона Хиггса в pp взаимодействиях от его массы.
    - Вероятности распадов бозона Хиггса по различным каналам.
    - Результаты поиска бозона Хиггса на БАК.
    - Измерение массы и ширины бозона Хиггса.
    - Измерение спина и четности бозона Хиггса
  3. Исследование электрослабых процессов на БАК
    - Исследование процессов с образованием W и Z бозонов на БАК
    - Процессы образования пар и одиночных топ кварков.
    - Измерение массы топ кварков.
  2. Доклады и выступление на семинаре по физике высоких энергий.
  4. Исследование КХД процессов в pp взаимодействиях
    - Процессы с образованием адронных струй с большими поперечными импульсами.
    - Измерение  $\alpha_s$  при больших переданных импульсах.
  5. Поиск темной материи, суперсимметрии и других явлений вне СМ
    - Сигнатуры образования суперсимметричных частиц.
    - Ограничения на параметры суперсимметрии, поставленные в экспериментах БАК.
    - Сигнатуры образования частиц темной материи.
    - Ограничения на параметры частиц темной материи, поставленные в экспериментах БАК.
    - Измерение вероятности распада  $B_s$  мезона на два мюона.
    - Сигнатура проявления дополнительных размерностей и результаты их поиска.
  6. Исследование Pb-Pb взаимодействий
    - Общие характеристики процессов PbPb столкновений на БАК.
    - Измерение прицельного параметра для PbPb столкновений на БАК.
    - Измерение коллективных параметров для PbPb столкновений на БАК.
    - Образование адронных струй в PbPb столкновениях на БАК.
    - Образование тяжелых кваркониев в PbPb столкновениях на БАК

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Семинар по электродинамике и функциональным материалам**

#### **Цель дисциплины:**

Помочь студентам в освоение навыков представления научных идей и результатов в рамках принятых форм научной дискуссии, с использованием современных технических средств.

#### **Задачи дисциплины:**

- сформировать представление об основах обмена научной информацией
- заложить основы понимания психологических деталей восприятия информации
- заложить базовые практические навыки подготовки мультимедийного научного доклада
- закрепить теоретические знания на практике
- расширить кругозор и эрудицию студента в области электродинамики и физики конденсированного состояния

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

особенности процесса восприятия информации при мультимедийном научном докладе, особенности взаимодействия докладчика и аудитории при мультимедийном научном докладе

##### **уметь:**

планировать и создавать мультимедийные презентации для научных докладов

##### **владеть:**

навыками изложения научных идей и результатов в рамках мультимедийного научного доклада

#### **Темы и разделы курса:**

### 1. Выбор темы доклада

Учитывая опыт научной работы, сферу интересов студента и современное состояние научных исследований, выбирается тема будущего научного доклада.

### 2. Создание мультимедийной презентации

По ранее выбранной теме доклада создается мультимедийный файл, который будет служить основой будущего научного студенческого доклада.

### 3. Обсуждение презентации, корректировка мультимедийного файла

В файл презентации вносятся корректировки, исправляются наиболее очевидные просчеты в дизайне презентации и планировании доклада.

### 4. Доклад по выбранной теме, обсуждение доклада

В рамках занятия проводится учебный семинар, на котором заслушиваются доклады студентов. После семинара подводятся итоги, проводится обсуждение сильных и слабых мест заслушанных презентаций, обсуждаются возможные способы улучшить технику презентаций.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Семинар по электрофизике и физике плазмы**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами фундаментальных знаний в области электрофизики и физики плазмы, экспериментальных методов и приборов, используемых в научно-исследовательской работе, изучение способов создания лабораторных установок и с их помощью методов исследования физических процессов в конденсированном, газообразном состоянии вещества и плазмы, а также областей их практического применения.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области электрофизики и физики плазмы, как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов принципам создания оптических, лазерных, спектральных и электронно-пучковых устройств, выявление особенностей их функциональных характеристик;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области оптических, фотоэлектронных, электрофизических измерений в рамках выполнения работ в лабораториях базовых предприятий;
- приобретение навыков применения полученных знаний в смежных и междисциплинарных научных областях.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- современные проблемы и методы физики и математики;
- общие подходы к решению прикладных и теоретических задач физики и техники современного спектрального оборудования.

**уметь:**

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных задач и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть физическое содержание в технических задачах;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать наилучшие значения параметров спектральных и иных электрофизических установок различного назначения и правильно оценивать степень их достоверности;
- эффективно использовать полученные знания, имеющиеся методы решения задач экспериментальной физики для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

**владеть:**

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных с созданием современного спектрального и, прикладных и медицинских исследований.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Низкотемпературная плазма

Понятие низкотемпературной плазмы, задачи диагностики. Равновесная плазма: распределения частиц по энергиям, плотности нейтральных и заряженных частиц, тепловое излучение.

## 2. Модели равновесия

Модели равновесия и связанные с ними параметры: локальное термическое равновесие, частичное локальное термическое равновесие (ЧЛТР), корональная модель (МКР), столкновительно–радиационная модель. Оптический спектр и плазменные параметры.

### 3. Высокотемпературная плазма

Плотная высокотемпературная плазма и инерциальный управляемый синтез. Сечения термоядерных реакций. Инерциальный термоядерный синтез.

### 4. Пинч-эффект

Пинч-эффект. Адиабатическое сжатие. Равновесие Беннета. Связь тока и температуры плазмы пинча.

### 5. Ускорители заряженных частиц

Ускорители заряженных частиц. Классификация. Применения. Сильноточные ускорители. Заряженная плазма. Основные понятия и характерные значения. Способы описания. Необходимость самосогласованного подхода.

### 6. Электронные и ионные ускорители

Сильноточные электронные и ионные ускорители. Узлы сильноточных ускорителей.

### 7. Диоды для формирования пучков

Схемы диодов для формирования пучков с различными параметрами. Физические модели. Основные факторы, влияющие на характеристики диодов и выбор моделей.

### 8. Физические процессы на поверхности

Физические процессы на поверхности. Типы эмиссии: термоэлектронная, автоэлектронная, взрывная электронная, фотоэлектронная, вторичная электронная эмиссии, эмиссия с поверхности сегнетоэлектриков.

### 9. Сильноточные пучки в газе и плазме

Сильноточные пучки в газе и плазме. Условия возникновения токовой нейтрализации пучка в плазме. Характерные масштабы процессов. Нестационарные явления при инжекции пучка в плазму.

### 10. Взаимодействи пучка с нейтральным газом

Нестационарная ионизация при инжекции пучка в нейтральный газ. Физические процессы при взаимодействии пучка с нейтральным газом. Зарядовая и токовая нейтрализация пучка в газе.

### 11. Излучение релятивистских частиц

Монохроматическое электромагнитное излучение релятивистских частиц. Условие черенковского резонанса. Длина формирования. Излучение релятивистского осциллятора.

### 12. Эффект Доплера

Нормальный и аномальный эффект Доплера. Направленность и частотный спектр излучения релятивистских частиц в распределенных волноводных структурах.

### 13. Излучение Вавилова-Черенкова

Излучение равномерно движущегося заряда. Излучение Вавилова-Черенкова в однородной диспергирующей среде. Излучение в замагниченном плазменном волноводе.

#### 14. Ускорители заряженных частиц

Переходное излучение. Собственные волны в периодических структурах и их возбуждение движущимся зарядом. Черенковское излучение в периодических структурах.

#### 15. Лазеры на свободных электронах

Лазеры на свободных электронах. ЛСЭ – генератор: Структура поля в оптическом резонаторе. Коэффициент усиления и порог самовозбуждения.

#### 16. Насыщение и дифракционные эффекты

Установившиеся колебания и выходная мощность. ЛСЭ – усилитель: Насыщение и дифракционные эффекты.

#### 17. Волноводные свойства электронного пучка

Волноводные свойства электронного пучка. Режим усиления спонтанного излучения в непрерывном пучке и в коротком сгустке.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Семинары по современной физике конденсированного состояния**

#### **Цель дисциплины:**

Ознакомить студентов с ключевыми теориями и экспериментами, которые лежат в основе современной физики электронных свойств твёрдых тел.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами навыков чтения и понимания научной литературы по специальности,
- освоение навыков научного доклада по заданной теме,
- знакомство студентов с ключевыми теориями и результатами в области физики конденсированного состояния.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

1. Научные задачи, над которыми работают в лабораториях - партнерах образовательной программы.
2. Новейшие открытия в физике, в т.ч., в квантовой физике твердого тела.
3. О взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.
4. Теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния.
5. Принципы симметрии, топологии, и законы сохранения.
6. Природу межчастичных взаимодействий.
7. Теоретические и экспериментальные основы ключевых концепций в физике конденсированного состояния.
8. Научные задачи, над которыми работают в базовых лабораториях образовательной программы.
9. Технику безопасности и правила работы в низкотемпературных физических экспериментах и в экспериментах с сильными магнитными полями.

**уметь:**

1. Эффективно использовать на практике теоретические знания: понятия, результаты, гипотезы, законы.
2. Представить панораму универсальных методов и законов современной физики конденсированного состояния.
3. Абстрагироваться от несущественных факторов при моделировании реальных физических процессов и явлений.
4. Делать численные оценки масштаба ожидаемых эффектов.
5. Критически анализировать результаты экспериментов и формулировать допущения, делаемые в теории.

**владеть:**

1. Информацией об актуальных направлениях исследований в области квантовой физики конденсированного состояния.
2. Теоретическими моделями фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния.
3. Методами анализа и обработки экспериментальных данных.

**Темы и разделы курса:**

1. Квантовые осцилляции магнитной восприимчивости сопротивления

Квантование движения и спектра электронов в магнитном поле. Уровни Ландау. Вычисление плотности состояний и термодинамических характеристик (магнитная восприимчивость, намагниченность) в квантующем магнитном поле. Применение теории квантовых осцилляций к двумерным системам. Теория квантовых осцилляций сопротивления для двумерного Ферми-газа.

2. Методы измерений магнитных свойств немагнитных материалов при низкой температуре

Экспериментальные методы измерения квантовых осцилляций электронной намагниченности и восприимчивости. Фарадеевский, торсионный магнитометры, консольные магнитометры, вибрационный магнитометр, СКВИД-магнитометр.

3. Методы локальных измерений магнитных свойств при низкой температуре

Сканирующий СКВИД-магнитометр, сканирующий Холловский магнитометр, сканирующий магнитно-силовой микроскоп, Сканирующий магнитометр с датчиком на NV-центрах в алмазе.

4. Измерение перенормированных параметров Ферми-жидкости из квантовых осцилляций

Теория Ферми-жидкости Ландау. Квазичастицы и перенормировка их параметров. Константы (гармоники) ферми-жидкостного взаимодействия. Методы измерения перенормированных параметров квазичастиц. Анализ методов измерений и

экспериментальных результатов измерения перенормированной эффективной массы, спиновой восприимчивости, спиновой намагниченности, энтропии квазичастиц.

#### 5. Отрицательная сжимаемость двумерной Ферми-жидкости. Предсказание и обнаружение

Физическая причина отрицательной электронной сжимаемости. Теоретическое предсказание. Результат в рамках теории ферми-жидкости, численные расчеты. Методы измерений и экспериментальные результаты.

#### 6. Прямое измерение квантовых вариаций уровня Ферми

Квантовые осцилляции химического потенциала в двумерной системе электронов в квантующем магнитном поле. Влияние электрон-электронного взаимодействия на амплитуду квантовых осцилляций и скачков химического потенциала. Методы измерений и экспериментальные результаты.

#### 7. Термодинамическое измерение спиновой намагниченности двумерной системы электронов. Метод, результаты измерений. Теория

Метод измерений термодинамической спиновой намагниченности электронов в двумерной системе. Теоретическое обоснование метода и экспериментальные результаты. Экспериментальное свидетельство присутствия локальных магнитных моментов. Теоретическое описание эффекта.

#### 8. Термодинамическое измерение энтропии двумерной системы электронов

Термодинамический метод измерений энтропии на электрон ( $dS/dn$ ) электронов в двумерной системе. Теоретическое обоснование метода и экспериментальные результаты измерений энтропии в режиме вырожденной Ферми-жидкости. Экспериментальное свидетельство режима невырожденной заряженной плазмы.

#### 9. Мысленный эксперимент Лафлина

Рассмотрение связи изменения магнитного потока с зарядом квазичастиц, переносимых в холловском поле в режиме целочисленного квантового эффекта Холла.

#### 10. Влияние электрон-электронного взаимодействия на температурную зависимость транспорта. Когерентные эффекты в рассеянии электронов

Влияние когерентных эффектов интерференции электронов при рассеянии на флуктуациях потенциала. Фриделевские осцилляции экранирования. Теоретическая температурная зависимость проводимости с учетом вклада одночастичной интерференции и многочастичной интерференции. Влияние магнитного поля на одночастичные и многочастичные эффекты в когерентном рассеянии.

#### 11. Экспериментальная проверка теории многочастичных эффектов в транспорте

Экспериментальные результаты измерений когерентных эффектов в рассеянии. Температурная зависимость проводимости в баллистическом и диффузионном режимах. Методические (технические) проблемы измерений. Проблемы интерпретации результатов.

#### 12. Охлаждение электронного газа в двумерной системе

Проблемы охлаждения электронов в двумерной системе на интерфейсе полупроводников. Рассмотрение теплового баланса. Измерение скорости релаксации энергии электронов и оценка минимально достижимой температуры электронов.

13. Волна спиновой плотности. Индуцированная полем волна спиновой плотности в квазиодномерной системе. Стандартная модель

Квазиодномерные органические проводники  $(\text{TMTSF})_2\text{PF}_6$  и  $(\text{TMTSF})_2\text{ClO}_4$ . Неустойчивость Ферми-жидкостного состояния. Модельная поверхности Ферми в квазиодномерных органических кристаллах. Фазовая P-T диаграмма состояний.

Нестинг поверхности Ферми.

14. Квантование вектора нестинга в магнитном поле и экспериментальная проверка

Теоретическое рассмотрение “стандартной модели” квантования вектора нестинга. Результаты экспериментальных измерений. Экспериментальная фазовая диаграмма и ее отличие от стандартной модели. Эффекты фазового расслоения вблизи границ перехода между фазами SDW.

15. Фазовое расслоение в квазиодномерной системе и анизотропное зарождение сверхпроводимости

Эффекты фазового расслоения вблизи границ SDW и сверхпроводящей фазы. Обратимое управление беспорядком как инструмент для изучения фазовой диаграммы. Анизотропное зарождение сверхпроводимости и его объяснение в рамках солитонной модели и в рамках представлений о расхождении длины когерентности вблизи критической температуры.

16. Сверхпроводники на основе пниктидов железа класса 1144 с магнитным упорядочением. Измерение реконструкции поверхности и туннельных спектров

Кристаллическая структура слоистых высокотемпературных сверхпроводников  $(\text{EuRbFe}_4\text{As}_4)$  с магнитными слоями атомов Eu в решетке. Кристаллическая структура поверхности. Метод и результаты измерений.

17. Сверхпроводники на основе пниктидов железа класса 1144 с магнитным упорядочением. Измерение зонной структуры и уровней энергии магнитных ионов

Измерение электронной зонной структуры и магнитных уровней энергии. Метод измерения фотоэмиссии с угловым разрешением. Результаты измерений энергии 3d-электронов Fe и 4f-электронов Eu. Измерения спектра методом сканирующей туннельной спектроскопии. Измерение магнитного состояния ионов Eu методом ResPES.

18. Измерение щелей в сверхпроводящем спектре с разрешением по импульсу методами ARPES

Измерение щелей в сверхпроводящем спектре методом ARPES с разрешением по импульсу. Принцип метода. Результаты измерений с железосодержащими сверхпроводниками семейства 122. Анизотропия щелей в импульсном пространстве.

19. Измерение щелей в сверхпроводящем спектре методами андреевской спектроскопии

Измерения щелей в сверхпроводящем спектре методом андреевской спектроскопии. Принцип метода и результаты измерений.

Независимость сверхпроводящего спектра от магнитного упорядочения. Изменение плотности сверхпроводящего конденсата при температуре магнитного упорядочения атомов Eu.



## 20. Высокотемпературная сверхпроводимость в гидридах

Принцип синтеза полигидридов при высоком давлении в камерах с алмазными наковальнями. Методы и результаты измерений сопротивления в алмазной камере. Детектирование сверхпроводящего перехода по исчезновению сопротивления и магнитными методами. Результаты измерений на  $\text{H}_3\text{S}$ ,  $\text{ThHn}$ ,  $\text{YHn}$ ,  $\text{LaYHn}$ .

## 21. Транспорт заряда в топологических полуметаллах

Физическая картина переноса заряда по топологически защищенным киральным состояниям. Нелокальный транспорт. Результаты измерений транспорта в топологических изоляторах. Экспериментальное выявление топологической защищенности поверхностных состояний.

## 22. Поверхностная проводимость Вейлевских полуметаллов

Возникновение Ферми-арк с топологически защищенными поверхностными состояниями.

Рассмотрение планарных переходов на поверхности WSM с парой Ферми-арк. Возникновение осцилляций вследствие интерференции типа Фабри-Перо внутри 2D переходов. Возможность определения ориентации Ферми-арк и их анизотропии.

## 23. Топология электронной зонной структуры

Общее рассмотрение топологии зонной структуры. Переходы Лифшица. “Плоские” зоны.

Магнитные Вейлевские полуметаллы. Неравновесные свойства Вейлевских полуметаллов.

## 24. Магнитосопротивление в массивных Вейлевских полуметаллах

Магнитосопротивление в трехмерных полуметаллах со спин-орбитальным взаимодействием и с “линией нулей” в спектре. Деформация тороидальной поверхности Ферми и переход Лифшица как причина изменения знака магнитосопротивления с магнитным полем. Магнитные Вейлевские полуметаллы.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Сеточно-характеристические методы в задачах геофизики**

#### **Цель дисциплины:**

- знакомство студентов с основами численных методов.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся знаний по численным методам, применяемым для решения гиперболических систем уравнений;
- формирование у обучающихся знаний по аналитическому исследованию гиперболических систем уравнений;
- формирование умений и навыков реализации расчётных алгоритмов на языках Python/C++.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- фундаментальные основы построения численных методов решения гиперболических систем уравнений;
- понятия разностной задачи, аппроксимации, устойчивости, сходимости разностных схем;
- определяющие системы уравнений акустики, упругости, анизотропной упругости, двухконтинуальных систем.

##### **уметь:**

- аналитически исследовать гиперболические уравнения и системы уравнений;
- находить собственные числа и собственные вектора матриц аналитическими и численными методами;
- исследовать гиперболические уравнения и системы уравнений на аппроксимацию и устойчивость;
- строить структурные расчётные сетки;
- реализовывать на языке Python/C++ схемы на расширенном шаблоне;

- реализовывать на языке Python/C++ схемы на компактном шаблоне.

**владеть:**

- теоретическими и практическими знаниями о гиперболических системах уравнений и численных методах их решения.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение в численные методы и математические модели

Дифференциальная задача, разностная задача, понятия аппроксимации, устойчивости, сходимости. Численное исследование порядка сходимости схемы. Определяющие системы уравнений для акустического, линейно-упругого, анизотропного и пористого/насыщенного приближений.

2. Простейшее гиперболическое уравнение переноса, сеточно-характеристический метод, многомерные задачи

Вид уравнения, аналитическое решение, область зависимости, граничное и начальное условия. История развития, прямой и обратный методы, понятие характеристик, инвариантов Римана. Метод расщепления по пространственным направлениям, метод расщепления по физическим процессам, структурные и неструктурные расчётные сетки.

3. Одноконтинуальные модели

Каноническая запись для акустической, изотропной упругой и анизотропной среды, вид матриц системы, количество и значения собственных чисел и собственных векторов задачи.

4. Двуконтинуальные модели

Каноническая запись для пористой насыщенной среды, вид матриц системы, количество и значения собственных чисел и собственных векторов задачи.

5. Контакт между средами с различной реологией

Явное выделение, количество условий на контакте, реализация граничных корректоров.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Сильное взаимодействие**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины «Сильные взаимодействия» является формирование у студентов понимания устройства материи на фундаментальном кварковом уровне. В дальнейшем это позволит изучать современные научные публикации и работать в области экспериментальной и теоретической физики элементарных частиц.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся базовых знаний по электрослабым взаимодействиям;
- формирование навыков для решения задач.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

теорию Вайнберга-Салама.

##### **уметь:**

вычислять времена жизни частиц.

##### **владеть:**

математическим аппаратом квантовой теории поля.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Введение.

Система единиц и метрика. Стандартная модель. Действие и лагранжиан. Глобальная и локальная симметрии.

2. Цвет, кварки и глюоны.

Цветовая структура мезонов и барионов. Аннигиляция электрона и позитрона в адроны. Группа  $SU(3)$ , генераторы и представления.

3. Калибровочная инвариантность.

Длинная производная. Калибровочное преобразование. Тензор глюонного поля.

4. Лагранжиан КХД. Правила Фейнмана.

Кинетический член и член Янга-Миллса. Трехглюонная вершина. Пропагаторы кварка и глюона. Кварк-глюонная вершина.

5. Асимптотическая свобода. Структурные функции, партоны.

Глубоко-неупругое рассеяние. Переменная Бьеркена. Структурные функции. Партоны. Функции распределения.

6. Инфракрасная проблема. Кварконий.

Бегущая константа связи. Размерный параметр. Чармоний и малая ширина. Спектроскопия чармония и боттомония.

7. Перенормировки. Функция Гелл-Манна-Лоу.

Расходимости в КХД. Однопетлевое приближение. Поля «духов» Фаддеева-Попова. Функция Гелл-Манна—Лоу.

8. Уравнение Каллана-Симанчика.

Канонические и аномальные размерности. Зависимость амплитуд от импульсов. Эволюция константы КХД.

9. Размерная трансмутация. Масштабная инвариантность.

Физическая причина появления размерной константы в КХД. Нарушение масштабной инвариантности квантовыми эффектами.

10. Кварковый и глюонный конденсаты.

Киральная симметрия. Соотношение Гелл-Манна-Оакса-Реннера. Правила сумм.

11. КХД на решетке.

Евклидова формулировка. Глюонное поле на ребре решетки. Петля Вильсона.

12. Новые подходы.

Суперсимметрия, великое объединение, дополнительные измерения.

## Аннотации к рабочим программам дисциплин.

Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность: Общая и прикладная физика

### Сильные взаимодействия

#### Цель дисциплины:

Цель курса – ознакомить студентов с основами и методами теории взаимодействий адронов в столкновениях при высоких энергиях.

#### Задачи дисциплины:

Формирование у обучающихся базовых знаний неабелевых калибровочных теорий, а также эффективных теорий поля.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### знать:

– лагранжев формализм в теории поля, основы построения квантовой теории поля, группы и алгебры Ли, линейные представления.

##### уметь:

- применять формализм Лагранжа для построения полевых моделей, вычислять амплитуды простейших процессов в КЭД слабых процессов.

##### владеть:

- правилами работы с диаграммами Фейнмана;
- методами построения простейших квантовых теорий поля.

#### Темы и разделы курса:

1. S-матрица в квантовой теории поля. Эффективные сечения.

Определение амплитуды процессов взаимодействия в терминах S-матрицы. Условие унитарности. Вероятности и эффективные сечения. Упругие, эксклюзивные и инклюзивные процессы.

2. Аналитические свойства амплитуды рассеяния. Основные постулаты теории сильных взаимодействий. Редукционные формулы.

Условие микропричинности. Аналитические свойства амплитуды упругого рассеяния по энергии и углу рассеяния.

3. Дисперсионные соотношения.

Представление Челлена - Лемана. Кроссинг – симметрия и дисперсионные соотношения для амплитуды рассеяния вперёд. Теорема Померанчука и её модификации.

4. Асимптотические ограничения на поведение сечений.

Разложение упругой амплитуды по парциальным волнам. Ограничение на поведение амплитуд и сечений при высоких энергиях из условия унитарности и полиномиальной ограниченности.

5. Полюса Редже. Дифракционные процессы.

Полюса Редже в квантовой механике. Понятие о реджеоне на примере атома водорода.

Представление Фруассара-Грибова. Сигнатура. Полюса и разрезы в плоскости комплексных угловых моментов и асимптотическое поведение упругих и инклюзивных сечений.

6. КХД. Ренормгруппа. Асимптотическая свобода. Конфайнмент.

Произвол в перенормированных функциях Грина. Независимость физических величин от схемы перенормировки. «Бегущие» параметры в КЭД и КХД.

7. Жёсткие процессы.

Партонная модель.  $e^+ e^-$  - аннигиляция в адроны, глубоконеупругое рассеяние лептонов, процесс Дрелла-Яна, процессы с большим поперечным импульсом.

8. Термодинамические и статистические методы в теории сильных взаимодействий.

Условия термализации в области взаимодействия. Термодинамические модели Ферми-Янга и Померанчука. Гидродинамическая модель Ландау.

9. Элементы решёточной КХД.

Евклидова теория поля. Решёточная регуляризация. Получение оценок на массы связанных состояний.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Системная психология**

#### **Цель дисциплины:**

формирование компетенций магистрантов, связанных с освоением фундаментальных принципов современной системной психологии, а также практическое применение системно-психологического инструментария.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование представлений о методологических основаниях современной психологии;
- знакомство с особенностями развития информационного и системного подходов в психологии;
- освоение общих основ дискретной системологии (тезаурус), статических и динамических характеристик систем;
- ознакомление с типами системодинамики и иерархической структурой живых систем, рассмотрение фазовых переходов состояния живых систем;
- освоение системной теории мотивации, а также системной периодизации развития человека;
- ознакомление с системной интерпретацией психических процессов и функциональных состояний человека;
- освоение теоретических основ системологии деятельности и способностей;
- овладение методами системно-психологического исследования;
- отработка навыков практического применения диагностического инструментария системной психологии.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- методологические основания современной психологии, состояние и тенденции развития международных и отечественных исследований в области применения системного подхода в психологии;



- общие основы дискретной системологии, иерархическую структуру организации живых систем;
- понимает системную теорию мотивации и развития, ориентируется в вопросах системной структуры деятельности, системной психометрики напряженности, системорегуляции психической работоспособности.

**уметь:**

- осуществлять содержательный анализ мотивационной сферы с системных позиций, соотносить возрастную периодизацию развития с мотивационными диспропорциями;
- осуществлять практическую диагностику профиля мотивации человека, а также практическую диагностику системных способностей; с помощью методик: СПМ-А, СПМ-С.

**владеть:**

- инструментами диагностики мотивационной сферы: СПМ-А, СПМ-С. Осуществляет системную интерпретацию Я-реального, Я-идеального, Я-скрытого.
- методами системной психологии при проведении исследований, осуществляет оценку качества и прогнозирование результатов исследования с целью совершенствования профессиональной деятельности.

**Темы и разделы курса:**

1. Методологические основания современной психологии

Проблема системных описаний в психологии. Системные идеи в психологии: психологическая система В. Вундта; системный аспект гештальтпсихологии; системные представления в когнитивной психологии; системный подход в советской психологии; информационный подход; развитие системного мировоззрения в наше время.

2. Тезаурус дискретной системологии

Статические и динамические характеристики систем. Фазовые переходы состояния живых систем. Иерархическая структура живых систем. Примеры системодинамики живых систем микро и макроуровня.

3. Системная теория мотивации

Системный взгляд на мотивацию личности: понятие о мотиве и мотивации деятельности; закономерности развития мотивационной сферы личности; психологические теории мотивации. Системная теория мотивации: биологические и социальные системы; 8 видов мотивации; мотивационные оппозиции и контрапункты; методика определения системного профиля мотивации.

#### 4. Системная периодизация развития человека

Традиционные периодизации жизни. Системный взгляд на периодизацию развития человека; интенсивное развитие: детство и юность; экстенсивное развитие: молодость и взрослый возраст; диссипация: средний и зрелый возраст; распад: пожилой и преклонный возраст; примеры возрастного развития выдающихся личностей.

#### 5. Практическая диагностика системного профиля мотивации

Диагностика профиля мотивации человека с помощью методик: СПМ-А, СПМ-С; определение Я-реального и Я-идеального; диагностика бессознательных мотивационных тенденций – скрытого Я. Система психологических ценностей личности: влияние социальных установок на формирование ценностных ориентиров личности; половозрастные особенности мотивационно-ценностной сферы личности.

#### 6. Системология деятельности и способностей

Психическая работа и работоспособность. Системные характеристики ментальных способностей человека. Типы системных способностей. Системная интерпретация психических процессов: внимания, ощущений, восприятия, памяти, мышления. Функциональное состояние человека как системное понятие: напряженность в психологии. Методы психофизиологической диагностики напряженности. Локальный показатель напряженности. Интегральный индекс напряженности.

#### 7. Оптимизация функционального состояния человека

Методы коррекции функциональных состояний; работа комплекса психологической релаксации; аппаратный тренинг стрессоустойчивости.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Системы поддержки принятия решений**

#### **Цель дисциплины:**

- изучение проблем, возникающих при аварийном выбросе радиоактивных веществ в атмосферу, и методов их решения на основе компьютерного моделирования.

#### **Задачи дисциплины:**

- Освоение студентами методологии вычислительного эксперимента как основы компьютерной поддержки системы принятия решений.
- Изучение основных физических процессов при выбросе радиоактивных веществ в атмосферу, их миграции, дозовых нагрузок на человеческий организм и мерах по уменьшению вреда.
- Использование иерархий математических моделей и вычислительных алгоритмов в условиях реагирования в реальном масштабе времени.
- Расширение использования компьютерных систем в условиях нормальной обстановки ядерно-энергетических объектов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- физические закономерности процессов переноса радионуклидов в атмосфере, гидросфере и литосфере и математические модели, описывающие эти процессы;
- методы оценки концентраций загрязнителей и их воздействия на человека;
- источники радиации в биосфере и радиоактивное загрязнение окружающей среды при использовании искусственных источников радиации;
- методики оценки дозовых нагрузок на население при использовании радиации в медицине и при получении энергии на АЭС;
- проблемы накопления, хранения и захоронения радиоактивных отходов.

##### **уметь:**

- использовать существующие методы расчетов миграции радионуклидов в окружающей среде и оценки дозовых нагрузок на население при выбросах и сбросах радионуклидов;
- оценивать ущерб и пользу применения радиационных технологий;
- определять целесообразность применения радиации в различных сферах деятельности;
- убедительно доказать экономическую и экологическую безопасность развития атомной энергетики.

**владеть:**

- способностью использовать полученные знания при оценке радиационной обстановки в окружающей среде для любого источника радиации;
- методами анализа уровня проектной документации с точки зрения оценки радиационного воздействия на объекты биосферы;
- умением разрабатывать оптимальные варианты использования радиационных технологий с точки зрения экологического состояния окружающей среды;
- способами оценки ущерба и пользы применения радиационных технологий.

**Темы и разделы курса:**

1. Вычислительный эксперимент.

Идеология. Этапы и участники.

Математические модели. Законы сохранения. Иерархия моделей. Упрощения.

Реализация на примере пакета «Нострадамус». Исходные данные и целевые функции. Представление результатов.

2. Атмосферный перенос примесей.

Модели переноса. Начальная стадия выброса.

Адвекция и диффузия.

Метеорология.

Потери в облаке.

Приземные концентрации и выпадения.

3. Радиоактивный распад.

Цепочки.

Пути облучения.

Расчет доз и выпадений.

Мониторинг. Восстановление характеристик источника.

Контрмероприятия.

4. Непрерывный выброс.

Модели непрерывных выбросов.

Экологическое воздействие работающих установок.

5. Система Нострадамус.

Практическое использование системы. Аварийное реагирование. Чернобыльский след. Рязанская ГРЭС.

Практикум по работе с пакетом в кризисном центре. Расчет и анализ варианта выброса.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Системы сбора данных в физике высоких энергий**

#### **Цель дисциплины:**

Данный курс знакомит студентов с основными понятиями и принципами построения систем сбора данных экспериментов в физике высоких энергий. Создает необходимую базу для дальнейшего изучения систем сбора данных экспериментальных установок, триггерных систем, программного обеспечения и систем управления и мониторинга.

#### **Задачи дисциплины:**

дать представление о системах сбора данных экспериментов в области физики элементарных частиц. Курс предназначен для студентов, специализирующихся в экспериментальной физике высоких энергий.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные принципы, методы, средства и компоненты систем сбора данных экспериментов физики высоких энергий

##### **уметь:**

разбираться в принципах построения систем сбора данных для чтения соответствующей документации и презентаций

##### **владеть:**

терминологией систем сбора данных экспериментов физики элементарных частиц, обоснованием выбора тех или иных решений при проектировании систем сбора данных

#### **Темы и разделы курса:**

##### 1. Введение

Основные принципы ССД (DAQ). Мертвое время (dead time). Эффективность. Разравнивание. Масштабируемость. Шины и сети.

## 2. Регистрирующая электроника

Детекторы. Регистрирующая электроника (FEE). Флуктуации и шум (FWHM). Отношение сигнал/шум (SNR). Полоса пропускания. Формирование сигнала (shaping). АЦП/ВЦП (ADC/TDC). Чтение и буферизация. Подавление "нулей" (zero suppression).

## 3. Магистрально-модульные системы

Магистрально-модульные системы. NIM, CAMAC, VME, PCI, ATCA. Шины и последовательные линии.

## 4. ССД больших экспериментов

ССД больших экспериментов. Коммутируемые сети. Триггер. Синхронизация. Построение событий.

## 5. Триггер

Светимость. Частота взаимодействий. Подавление фоновых событий. Эффективность триггера. Многоуровневый триггер. Кривая включения. Измерение эффективности триггера. Триггерное меню.

## 6. Триггерная электроника

Дискриминаторы. Триггерная логика. Время выработки триггера (latency). Многоуровневый триггер. Цифровая обработка сигналов (DSP). Триггерные процессоры.

## 7. Программное обеспечение

Программное обеспечение ССД. Программные компоненты. Буферизация данных. Фрагменты данных. Конфигурирование системы. Построение событий. Управление и конечные автоматы. Графический интерфейс.

## 8. Системы мониторинга

Системы мониторинга ССД и качества данных. Онлайн мониторинг. Мониторимая информация. Ошибки. Мониторинг и анализ качества данных. Визуализация. Модели обмена информацией. Архивация.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Слабые взаимодействия. Стандартная модель**

#### **Цель дисциплины:**

Первая часть курса знакомит слушателей с теорией электрослабых взаимодействий – естественной частью подготовки любого специалиста в области современной физики частиц. Вторая часть курса посвящена более традиционной проблематике – распадам лептонов и адронов.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся базовых знаний по электрослабым взаимодействиям;
- формирование навыков для решения задач.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

теорию Вайнберга-Салама.

##### **уметь:**

вычислять времена жизни частиц.

##### **владеть:**

математическим аппаратом квантовой теории поля.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Теория электрослабых взаимодействий
  - 1.1. Взаимодействия и массы нейтрино.
  - 1.2. Осцилляции нейтрино.
  - 1.3. Универсальное слабое взаимодействие.
2. Распады лептонов и адронов



2.1. Распад мюона.

2.2. Бозонный сектор Стандартной Модели.

2.3. Фермионы в Стандартной Модели.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Современная физика рентгеновского излучения**

#### **Цель дисциплины:**

Формирование у студентов понимания принципов взаимодействия рентгеновского излучения с веществом, принципов генерации и регистрации рентгеновского излучения.

#### **Задачи дисциплины:**

Ознакомление студентов с современными источниками рентгеновского излучения. Знакомство с основными методиками, применяемыми в рентгеновской аналитике.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Основные типы современных рентгеновских источников, детекторов и их особенности.

##### **уметь:**

Подобрать для исследований подходящую экспериментальную методику с использованием рентгеновского излучения, оценить необходимые параметры основных элементов измерительной схемы.

##### **владеть:**

Методами оценок эффективности рентгеновских схем для решения прикладных задач в своих научных исследованиях.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Введение.

Дипольное излучение, определение рентгеновского излучения. Рассеяние рентгеновского излучения свободным электроном. Томсоновское и комптоновское рассеяние.

2. Рассеяние рентгеновского излучения атомами.

Рассеяние рентгеновского излучения атомами. Атомные факторы рассеяния и дисперсионные поправки. Показатель преломления в рентгеновском диапазоне, Зависимость действительной части декремента показателя преломления от атомного номера и от длины волны.

### 3. Поглощение рентгеновского излучения.

Сечение и дифференциальное сечение взаимодействия рентгеновского излучения с веществом, истинное поглощение рентгеновских лучей. Массовый и линейный коэффициенты поглощения. Зависимость мнимой части декремента показателя преломления от атомного номера и от длины волны.

### 4. Рентгеновские трубки.

Генерация рентгеновского излучения. Принцип работы рентгеновской трубки. Виды рентгеновских трубок. Тормозной спектр. Характеристический спектр. Интенсивность, диаграммы направленности и поляризация излучения рентгеновской трубки.

### 5. Обратное комптоновское рассеяние.

Обратное комптоновское рассеяние. Диаграммы направленности, интенсивность и спектральные характеристики источников на обратном комптоновском рассеянии.

### 6. Синхротронное излучение.

Синхротронное излучение. История открытия и развития синхротронного излучения. Принцип работы и основные элементы синхротронных источников.

### 7. Вигглеры и ондуляторы.

1,2 и 3 поколения синхротронных источников. Вставные устройства. Вигглеры и Ондуляторы. Интенсивность и спектральные характеристики различных типов синхротронных каналов. Обзор существующих источников синхротронного излучения.

### 8. Лазеры на свободных электронах.

Лазеры на свободных электронах. Принцип работы и основные характеристики. Автофазировка в длинном ондуляторе. Возникновение частично когерентного излучения.

### 9. Детекторы рентгеновского излучения.

Детектирование рентгеновского излучения. Основные типы детекторов, временные, пространственные и спектральные характеристики детекторов.

### 10. Дифракция рентгеновских лучей.

Дифракция рентгеновского излучения на кристаллах. Условие Брэгга-Вульфа, уравнения Лауэ. Схема Брэгга и Лауэ. Индексы Миллера и обратная решетка. Графическая модель Эвальда. Группы симметрий в кристаллах.

### 11. Фокусировка рентгеновских лучей.

Рентгеновские линзы: поликапиллярная и рефракционная линзы. Особенности, границы применения, расчет параметров. Фокусирующие зонные пластинки. Плоские и фокусирующие рентгеновские зеркала.

### 12. Спектральные приборы.

## 12. Спектральные приборы.

Абсорбционная рентгеновская спектроскопия. Исследование химических составов по глубине скачков фотопоглощения. XAFS спектроскопия кристаллов. NEXAFS анализ.

## 13. Рентгенофлуоресцентный анализ.

Основы метода рентгенофлуоресцентного анализа EDXRF, WDXRF, TXRF методы. Особенности каждого из методов. Предельные чувствительности перечисленных методов.

## 14. Спектрометрия поглощения.

Абсорбционная рентгеновская спектроскопия. Исследование химических составов по глубине скачков фотопоглощения. XAFS спектроскопия кристаллов. NEXAFS анализ.

## 15. Рефлектометрия.

Отражение рентгеновского излучения от границы раздела двух сред. Рекуррентные соотношения для расчета коэффициента отражения от многослойной структуры. Волноводисперсионная и энергодисперсионная рентгеновская рефлектометрия. Относительная рентгеновская рефлектометрия. Применение призмы для рентгеновской рефлектометрии.

## 16. Малоугловое рентгеновское рассеяние.

Основы малоуглового рентгеновского рассеяния. Методы SAXS, GISAXS. Pump-Probe эксперименты с использованием XFEL и LCLS.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Современные аспекты квантовой теории поля**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение различных сюжетов в современной квантовой теории поля, возникающих в контексте поиска единой теории всех фундаментальных взаимодействий.

#### **Задачи дисциплины:**

Познакомить студентов с основными понятиями и идеями современной квантовой теории поля, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что, прослушав этот курс, студенты смогут использовать методы и подходы этой области в своей научно-исследовательской работе.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия курса: конформные симметрии, двумерные конформные теории, бозонная струна, голографическая дуальность, квантование на кривых пространствах.

##### **уметь:**

- продемонстрировать знание конформной теории поля,
- находить уравнения движения струны и анализировать решения,
- строить соответствие между конформными теориями и гравитацией,
- строить преобразование Боголюбова.

##### **владеть:**

- основными методами современной квантовой теории поля.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Суперсимметричные теории поля

Суперсимметричные теории поля. Алгебра суперсимметрии, массивные и безмассовые представления. Преобразования суперсимметрии и модель Весса-Зумино. Мультиплеты. Суперпространство. Теории с  $N=1$  суперсимметрией: суперсимметричная КЭД, линейризованная гравитация, суперсимметричная теория Янга-Миллса. Теории с расширенной ( $N>1$ ) суперсимметрией:  $N=2$  теория, поля материи,  $N=4$  теория Янга-Миллса.

## 2. Элементы теории (супер)струн

Элементы теории струн и суперструн. Свободные бозонные струны, квантование. Квантование в калибровке светового конуса. Ковари-антное квантование, духи Фадеева-Попова, BRST-формализм. Введение суперсимметрии на мировой поверхности. Квантование такой теории. Теории с расширенной суперсимметрией. Пространственно-временная суперсимметрия.

## 3. D-браны и непертурбативные объекты

D-браны и непертурбативные объекты. Протяженные объекты в теории струн.  $N=1$ ,  $D=11$  супергравитация,  $M2$  и  $M5$  браны. Классические решения для p-бран. Открытые струны и D-браны, эффективные действия для D-бран.

## 4. Конформная теория поля и АдС/КфТП дуальность

Конформная теория поля. Базовые понятия конформной теории поля: алгебра Вирасоро, вертексные операторы. Анализ корреляционных функций в конформной теории поля. Пространство-время анти-де-Ситтера(АдС). Свободное скалярное поле в  $d$  пространственно-временных измерениях на фоне АдС. Связь массы скалярного поля и конформного веса. Формулировка АдС/КфТП дуальности и при-меры.

## 5. Термодинамика черных дыр

Термодинамика черных дыр. Эффект Хокинга. Температура черной дыры. Энтропия черной дыры в теории струн.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Современные источники и приёмники сейсмических колебаний**

#### **Цель дисциплины:**

Знакомство с существующими источниками и приемниками сейсмических колебаний, принципами их работы и техническими ограничениями.

#### **Задачи дисциплины:**

1. Получение представления о том, как сейсмические колебания позволяют характеризовать микронеоднородные среды.
2. Знакомство с принципами работы современных источников и приемников сейсмических колебаний.
3. Формирование понимания современного состояния аппаратной базы, установление направлений развития.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Основные принципы работы сейсмических источников и приемников, технические и фундаментальные ограничения, накладываемые на возможную информацию, которую можно получить о горной породе и протекающих в ней процессах с помощью сейсмических методов.

##### **уметь:**

Применять математический аппарат теоретической физики для определения параметров работы сейсмических приемников и приемников.

##### **владеть:**

Аппаратной базой, используемой для исследования горных пород сейсмическими методами.

#### **Темы и разделы курса:**

## 1. Введение

Место сейсмических исследований в нефтегазовой геофизике. Сейсморазведка и сейсмический мониторинг. Преимущества использования сейсмических датчиков. Современное состояние дисциплины и актуальные проблемы.

## 2. Исследование микронеоднородных сред сейсмическими методами

Распространение упругих волн в микронеоднородных средах. Избранные вопросы обработки и принципы интерпретации сейсмоакустических данных при разведке углеводородов и инженерных изысканиях. Влияние анизотропии и неоднородности среды на особенности распространения упругих волн. Исследование внутренней структуры среды сейсмическими методами в лабораторных условиях. Построение многоуровневой индикатрисы скоростей при обработке керновых данных. Сейсмические исследования при поиске месторождений полезных ископаемых. Проявление локальных неоднородностей на сейсмических данных: горизонты отражения, слоистость, зоны аномально высокого пластового давления. Сейсмоакустика. Межскважинное зондирование. Проведение лабораторных работ по исследованию горных пород на установке ИФЗ РАН.

## 3. Исследование процессов, протекающих в горных породах сейсмическими методами, сейсмический мониторинг

Активные сейсмические процессы. Микроразрушение, акустическая эмиссия. Очаги микроразрушений: локализация, выявление природы очага, его параметров, определение места и пространственной ориентации возникающей микротрещины сейсмическими методами. Требования к системе сейсмического мониторинга. Примеры практического использования систем сейсмического мониторинга.

## 4. Ограничения, накладываемые на возможность исследования среды сейсмическими методами

Разрешающая способность источников и приемников сейсмических колебаний. Сейсморазведка высокого и сверхвысокого разрешения. Спектральный состав упругих волн. Роль линейных размеров источников и приемников колебаний. Приближенные решения. Затухание упругих волн. Особенности определения скоростей поперечных упругих волн в лабораторных и полевых условиях. Наличие упорядоченных неоднородностей в средах, разделение анизотропии и неоднородности. Проблемы сейсмического мониторинга разномасштабных процессов.

## 5. Принципы работы сейсмических источников и приемников

Внутреннее устройство датчиков упругих колебаний. Источники и приемники колебаний. Проведение лабораторных работ на базе НТЦ прикладной геофизики и изучения минеральных ресурсов МФТИ.

## 6. Оптоволоконные датчики

Распределённые источники и приемники сейсмических колебаний. Оптические принципы изучения упругих волн. Чувствительность оптоволоконных датчиков к продольным и поперечным деформациям, принципы работы. Проведение лабораторных работ на базе НТЦ прикладной геофизики и изучения минеральных ресурсов МФТИ.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Современные образовательные инструменты и анализ данных**

#### **Цель дисциплины:**

Ознакомить слушателей с актуальным состоянием современного физико-математического образования в РФ, в том числе с работой крупных региональных образовательных центров, а также использованием современных образовательных инструментов и применением анализа данных в образовании. Особенностью дисциплины является то, что к проведению практических занятий привлечены ведущие специалисты из различных регионов РФ, осуществляющие практическую деятельность в сфере современного российского физико-математического образования.

#### **Задачи дисциплины:**

- дать студентам представление о структуре системы образования в России и о состоянии вопроса специализированной подготовки в области физики;
- познакомить студентов с деятельностью наиболее значимых государственных образовательных центров РФ, ведущих подготовку по физико-математическим дисциплинам в столичных городах и в регионах страны;
- рассмотреть деятельность наиболее значимых частных образовательных центров;
- изучить роль дополнительного образования в системе физико-математического образования;
- познакомить с ведущими специалистами-практиками, работающими в различных образовательных центрах РФ,
- дать студентам представление о реальном применении современных образовательных инструментов и анализа данных в образовании,
- повысить качество научно-исследовательской работы студентов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- структуру системы высшего образования в РФ;
- особенности работы образовательных организаций основного и высшего образования;

- перечень основных образовательных центров России, осуществляющих подготовку школьников и студентов в области физики;
- принципы функционирования указанных образовательных центров (историю создания, структуру, систему набора и подготовки обучающихся);
- роль частных и общественных организаций в системе подготовки квалифицированных в области физики и математики кадров;
- ведущих специалистов РФ, работающих в лучших образовательных центрах страны,
- современные образовательные инструменты,
- практики применения анализа данных в образовании.

**уметь:**

- ориентироваться в системе физико-математического образования РФ;
- анализировать состояние и перспективы физико-математического образования в образовательной организации;
- критически оценивать различные образовательные подходы к подготовке в области физики и математики.

**владеть:**

- навыками анализа информации о деятельности образовательного центра;
- основами методики оценки эффективности различных образовательных подходов, применяемых в образовательных центрах;
- навыками выбора образовательного центра, наиболее подходящего для реализации заданной индивидуальной образовательной траектории обучающегося.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение

Цели и задачи курса. Обзор структуры системы образования в Российской Федерации. Типы университетов: с особым статусом (Московский и Санкт-Петербургский), федеральные, национальные исследовательские, региональные опорные.

2. Школа – основа системы образования

Виды школ (общеобразовательные школы, школы с углубленным изучением отдельных предметов, лицеи и гимназии). Принципы работы типовой школы. Дополнительное образование в школе. Рейтинг образовательных учреждений.

3. Физико-математическое школьное образование в Москве

Городские школы Москвы, осуществляющие специализированную подготовку по математике и физике – основные подходы к обучению детей. Педагогические технологии и образовательные инструменты. Рейтинг московских школ.

#### 4. Известные государственные физико-математические школы России

Столичная специализированная школа: Президентский физико-математический лицей № 239 и лицей «Физико-техническая школа» имени Ж.И. Алферова Академического университета (Санкт-Петербург) – история создания, принципы работы, методика подготовки, образовательные инструменты.

#### 5. Ведущие образовательные центры субъектов РФ

Специализированная школа в регионе России: Республиканский лицей для одаренных детей (Республика Мордовия), Лицей № 23 г. Калининграда, Вологодский многопрофильный лицей – история создания, принципы работы, методика подготовки.

#### 6. Известные частные физико-математические школы России

Крупные частные школы: ОАНО «Школа “Летово”» и АНО «Физтех-лицей» им. П.Л. Капицы – история создания, принципы работы, методика подготовки. Педагогические технологии и образовательные инструменты.

#### 7. Образовательный центр «Сириус»

Образовательный центр «Сириус» как пример эффективного частно-государственного партнерства: практика работы и направления развития. Разработка новых образовательных инструментов на основе анализа данных.

#### 8. МГУ им. М.В. Ломоносова и Московский физико-технический институт как примеры государственных университетов

Краткая история физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. Создание и развитие МФТИ. Современная структура физического факультета МГУ и МФТИ, направления научных исследований. Принципы подготовки студентов (классическая университетская система и «система физтеха») – сходство и отличия.

#### 9. Специализированные учебно-научные центры (СУНЦ) при университетах

Специализированные учебно-научные центры при классических университетах: СУНЦ МГУ (Москва), СУНЦ НГУ (Новосибирск), СУНЦ УрФУ (Екатеринбург) – история создания, принципы работы, методика подготовки, образовательные технологии и инструменты.

#### 10. Российская академия наук

Краткая история развития Российской академии наук. Современное состояние и структура. Образовательная деятельность научных институтов РАН. Рейтинги образовательных и научно-исследовательских учреждений, цитируемость.

#### 11. Инновационный центр «Сколково»

Образовательная деятельность в Инновационном центре Сколково: университет «Сколтех», Международная гимназия, Открытый университет.

#### 12. Региональные центры дополнительного образования

Центр педагогического мастерства города Москвы как пример успешного регионального центра дополнительного образования. Разработка и апробация образовательных инструментов, использование анализа данных для улучшения качества образования.

### 13. Современные образовательные инструменты

Современные образовательные инструменты Дополнительное научно-технологическое образование: взаимодействие «школа-вуз», робототехника, предпрофессиональная олимпиада, проектная деятельность, кванториумы, экспериментариумы, интерактивные музеи. Региональная общественная организация «Ассоциация победителей олимпиад», Образовательный центр «Коалиция», Автономная некоммерческая организация «Школа ЦПМ»: опыт практической работы.

### 14. Анализ данных в образовании

Анализ данных в образовании. Рейтинги образовательных учреждений. Повышение качества образования.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Современные проблемы квантовой физики**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины является приобщение студента к научной работе, развитие навыков работы с литературой, развитие кругозора по использованию различных исследовательских методик различными научными группами, поиск научного руководителя для выполнения НИР.

#### **Задачи дисциплины:**

Развитие навыков работы с современной литературой, определение направления научной деятельности студента в будущем.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Получить опыт работы на оборудовании всех базовых лабораторий кафедры, понять основные направления исследований научных групп лабораторий. Научится работать с научной литературой, овладеть терминологией.

##### **уметь:**

Искать актуальную для исследования научную литературу. Владеть широким спектром методик, используемых в научных лабораториях. Включая численные, криогенные и оптические исследования.

##### **владеть:**

- навыками работы с литературой;
- методы получения криогенных температур;
- оптические методы исследования;
- навыками теоретического анализа реальных задач.

#### **Темы и разделы курса:**

### 1. Обсуждение современных публикаций на семинарах

В процессе обучения студентам будет предложено изучить несколько, относящихся к практическим занятиям публикаций, по которым ими готовятся доклады на семинарах. После чего студентами проводятся соответствующие исследования.

### 2. Практические занятия

Практические лабораторные работы отражающие основные направления исследований базовых лабораторий.

### 3. Обсуждение публикаций на семинарах

В процессе обучения студентам будет предложено изучить несколько, относящихся к практическим занятиям публикаций, по которым ими готовятся доклады на семинарах. После чего студентами проводятся соответствующие исследования.

### 4. Практические занятия

Практические лабораторные работы отражающие основные направления исследований базовых лабораторий.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Современные проблемы теории фундаментальных взаимодействий**

#### **Цель дисциплины:**

Ознакомление с актуальными проблемами теории фундаментальных взаимодействий, квантовой теории поля и теории гравитации.

#### **Задачи дисциплины:**

Познакомить студентов с различными современными задачами, возникающими в области теории фундаментальных взаимодействий, квантовой теории поля и теории гравитации, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что, прослушав этот курс, студенты смогут использовать методы и подходы этой области в своей научно-исследовательской работе.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия по теме дисциплины.

##### **уметь:**

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### **владеть:**

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Синглетон Дирака. Теорема Флато-Фронсдала

Синглетон Дирака как трехмерное поле в четырехмерном пространстве. Теорема Флато-Фронсдала о соответствии полей и токов как основа АдС/КТП соответствия. Интерпретация голографического соответствия на языке развернутой динамики.

2. Проблема локальности в теориях полей высших спинов. Построение спин-докальных вершин

Проблема локальности в теориях полей высших спинов. Понятие спиновой локальности. Построение спин-докальных вершин с помощью гомотопического трюка.

3. Теоремы запрета для полей высших спинов

Теоремы запрета для полей высших спинов. Низкоэнергетические теоремы Вайнберга. Теорема Виттена-Вайнберна. Роль космологической постоянной в теории высших спинов.

4. Гравитация в трехмерном пространстве-времени как точно решаемая теория

Гравитация в трехмерном пространстве-времени. Теория Черна-Саймонса. Квантование 3d гравитации.

5. БТЗ черные дыры в трехмерном пространстве-времени

Трехмерное пространство анти-де Ситтера. Векторы Киллинга и БТЗ черные дыры. Глобальная структуры и диаграмма Пенроуза для БТЗ черной дыры.

6. Чернодырные решения четырехмерной гравитации в координатно-независимом виде из интегрирующего потока развернутых уравнений

Чернодырные решения ОТО в форме Керра-Шильда и их координатно-независимое описание через интегрирующий поток развернутых уравнений.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Современные проблемы физики**

#### **Цель дисциплины:**

Дать обзор и анализ основных достижений и открытий в области физики во второй половине XX и начале XXI века, определивших направления дальнейших фундаментальных и прикладных исследований, а также показать взаимосвязь различных областей знаний.

#### **Задачи дисциплины:**

- приобретение слушателями знаний об основных достижениях и открытиях в области физики во половине XX и начале XXI века, их важности для дальнейшего развития идей;
- знакомство слушателей с основными Нобелевскими премиями по физике, особенно с премиями советских и российских ученых;
- получение знаний о состоянии современной физики в следующих областях: фундаментальные взаимодействия, космология и астрофизика, конденсированные состояния вещества и ядерно-физические методы исследования, взаимодействие излучения с атомами и молекулами, квантовая оптика и квантовая радиофизика.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- современное состояние фундаментальных и прикладных исследований в физике;
- суть Нобелевских премий по физике в следующих областях: фундаментальные взаимодействия, космология и астрофизика, конденсированные состояния вещества и ядерно-физические методы исследования, взаимодействие излучения с атомами и молекулами, квантовая оптика и квантовая радиофизика;
- главные результаты развития идей Нобелевских премий по физике;
- достижения отечественных ученых, награжденные Нобелевской премией по физике;
- актуальные задачи и направления развития современной физики;
- границы известного в современной физике.

##### **уметь:**

- ориентироваться в наиболее значимых достижениях в области физики во второй половине XX и начале XXI века, определивших направления дальнейших фундаментальных и прикладных исследований;
- анализировать условия и обстоятельства, необходимые для возникновения достижений уровня Нобелевской премии;
- оценивать перспективы развития тех или иных открытий и идей для науки, экономической и хозяйственной деятельности человека;
- выделять направления физики, находящиеся на передовом рубеже изучения;
- применять рассмотренные методы для получения качественных оценок задач, относящихся к различным областям современной физики.

**владеть:**

- методами анализа современной научной информации;
- методами учета актуальности разделов физики и открытий в процессе преподавания и организации деятельности в сфере образования.

**Темы и разделы курса:**

1. Земля и Вселенная

Анализ реликтового излучения, эффект от темной энергии и темной материи, инфляционная модель. Прямая регистрация гравитационных волн. Черные дыры.

2. Строение вещества: атомные ядра, ядерные реакции и распады, излучений

Современная ядерная физика, включая астрофизические аспекты. Современные исследования фундаментальных P и T симметрий при низких энергиях.

3. Строение вещества: элементарные частицы, фундаментальные взаимодействия и симметрии, высокие энергии

Стандартная модель. Массы и осцилляции нейтрино. Калибровочные теории и механизм Хиггса - обобщения механизма Гинзбурга-Ландау на калибровочные теории. Калибровочная теория сильных взаимодействий и асимптотическая свобода в КХД.

4. Электродинамика, электронная оптика, квантовая электроника

Полупроводниковые устройства и гетероструктуры. Графен и его свойства.

5. Квантовая оптика и квантовая радиофизика

Лазеры и лазерная спектроскопия. Когерентные и сжатые состояния. Интерпретации квантовой механики. Квантовые измерения. Проблема необратимости.

6. Строение вещества: макроскопические квантовые явления, мезоскопические и макроскопические системы, новые методы исследования конденсированных сред

Сверхпроводимость. Теория БКШ.

Сверхпроводимость. Теория Гинзбурга-Ландау, Вихри Абрикосова.

Конденсация Бозе-Эйнштейна, слабонеидеальные газы. Сверхтекучесть,  $^4\text{He}$  и  $^3\text{He}$ .

Эффект Мессбауэра.

Топологические фазовые переходы.

Ренормгруппа и теория критических явлений.

Дробный квантовый эффект Холла.

7. Квантовые системы, магнитный резонанс, квантовая химия

Компьютерные методы квантовой химии.

Теории функционала плотности и ее применения.

Ядерный магнитный и электронный парамагнитный резонанс. Ядерно-физические методы исследования вещества.

8. Физика плазмы и сильные электромагнитные поля

Создания сверхсильных фемтосекундных лазерных импульсов.

Высокотемпературная плазма. Управляемый термоядерный синтез, токамаки.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Современные средства разработки**

#### **Цель дисциплины:**

- формирование/совершенствование компетенций студентов в области решения профессиональных задач по программированию с использованием языков Python и 1С, применения основ программирования, в том числе асинхронного, на Python, проектирования программного обеспечения с помощью встроенного языка 1С.

#### **Задачи дисциплины:**

- сформировать умение использовать базовые типы и конструкции языка программирования Python;
- сформировать умение работать со стандартными структурами данных в Python, писать функции на Python, применять функциональные особенности языка, работать с файлами с помощью языка Python;
- сформировать умение применять механизмы наследования, создавать классы и работать с ними, обрабатывать исключения;
- сформировать умение искать и исправлять ошибки в программе на Python, тестировать программы на Python;
- сформировать умение писать многопоточный код на Python, писать асинхронный код на Python, работать с сетью, создать своё серверное сетевое приложение;
- изучить основные принципы, подходы и механизмы разработки бизнес-приложений на платформе 1С:Предприятие;
- изучить возможности быстрой кросс-платформенной разработки на платформе 1С:Предприятие;
- изучить возможности создания веб и мобильных приложений на платформе 1С:Предприятие.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- базовые сведения о языке, особенности организации кода на Python;
- стандартные структуры данных в Python;

- механизмы наследования, классы;
- особенности объектно-ориентированной модели в Python;
- процессы и потоки ОС;
- основные принципы, подходы и механизмы разработки бизнес-приложений на платформе 1С:Предприятие;
- возможности быстрой кросс-платформенной разработки на платформе 1С:Предприятие;
- возможности создания веб и мобильных приложений на платформе 1С:Предприятие.

**уметь:**

- использовать базовые типы и конструкции языка;
- работать со стандартными структурами данных в Python, писать функции на Python, применять функциональные особенности языка, работать с файлами с помощью языка Python;
- применять механизмы наследования, создавать классы и работать с ними, обрабатывать исключения;
- искать и исправлять ошибки в программе на Python, тестировать программы на Python;
- писать многопоточный код на Python, писать асинхронный код на Python, работать с сетью, создать своё серверное сетевое приложение;
- работать в команде;
- создавать кросс-платформенные приложения на платформе 1С:Предприятие;
- разрабатывать веб и мобильные приложения на платформе 1С:Предприятие;
- самостоятельно применяет языки программирования (в т.ч. скрипты) и настраиваемые программные инструменты для автоматизации процессов в профессиональной деятельности.

**владеть:**

- навыками разработки алгоритмов и программ, пригодных для практического применения;
- навыками освоения методик использования программных средств для решения практических задач;
- навыками написания программного кода с использованием языков программирования, оформления кода в соответствии с установленными требованиями.

**Темы и разделы курса:**

1. Основы программирования на Python

Основы программирования на Python. Структуры данных и функции. Объектно-ориентированное программирование. Углубленный Python. Многопоточное и асинхронное программирование.

## 2. Разработка на платформе 1С:Предприятие

Платформенный подход к разработке бизнес-приложений. Основные типы и элементы платформы. Основные механизмы регистрации и хранения показателей. Управляемые формы. Вывод данных. Механизмы интеграции. Механизмы коллаборации и коммуникации

Мобильная платформа. Веб-клиент. Обслуживание и эксплуатация информационной системы.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Спектроскопия твердого тела и физика наноструктур**

#### **Цель дисциплины:**

Цель дисциплины заключается в том, чтобы дать студентам знания об основных оптических явлениях в конденсированных средах, в том числе в новых материалах и наноструктурах. По окончании учебного курса студенты должны знать основные классические и квантовомеханические модели, описывающие оптические и спектральные свойства конденсированных сред, главные проявления процессов, происходящих в конденсированных средах, в оптических спектрах поглощения, люминесценции и комбинационного рассеяния, а также в информации, получаемой современными методами типа «накачка-зондирование».

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами базовых знаний в области спектроскопии и оптики твердого тела и наноструктур;
- приобретение теоретических знаний в области спектроскопии и оптики твердого тела и физики наноструктур;
- оказание консультаций и помощи студентам в решении конкретных теоретических задач в области спектроскопии и оптики твердого тела и физики наноструктур;
- приобретение навыков самостоятельной работы в области спектроскопии и оптики твердого тела и физики наноструктур.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- базовые теоретические модели физики оптических явлений в твердых телах и наноструктурах;
- основные спектроскопические методы исследования твердых тел и наноструктур;
- современные проблемы и актуальные темы в области спектроскопии твердого тела и наноструктур;
- основы физики взаимодействия электромагнитного излучения с веществом, имеющие общефизическое значение и применяемые в различных физических дисциплинах;

– теорию основных оптических эффектов в макроскопических твердых телах и наноструктурах;

**уметь:**

– правильно выбирать подходящие физические модели для решения исследовательских и прикладных задач в области спектроскопии твердого тела и физики наноструктур;

– проводить на основе выбранных моделей аналитические и численные расчеты;

– анализировать экспериментальные данные в области спектроскопии твердого тела и физики наноструктур;

– интерпретировать спектры отражения, прохождения, и комбинационного рассеяния света в твердых телах и наноструктурах;

– производить расчёт линейных объёмных и поверхностных электромагнитных волн в твердых телах и наноструктурах;

**владеть:**

– навыками работы с современной научной литературой по тематике спектроскопии твердого тела и физики наноструктур;

– методами решения задач о распространении электромагнитных волн в конденсированных средах;

– теоретическими основами оценок эффектов взаимодействия электронов и фононов с электромагнитными волнами.

**Темы и разделы курса:**

1. Теория электромагнитного отклика

Классическая теория электромагнитного отклика. Оптические константы материалов. Модели Друде и Лоренца. Плазменная частота. Общие свойства оптических констант. Причинные функции отклика, соотношения Крамерса-Кронига. Правила сумм. Квантовая теория электромагнитного отклика. Формула Кубо. Спектральное представление функции отклика. Диссипация энергии в системе. Продольная и поперечная функции отклика. Расчеты функций отклика в различных калибровках. Сила осциллятора. Поляризационная функция электронного газа. Статическое и динамическое экранирование. Приближение хаотических фаз, закон дисперсии плазмонов.

2. Спектроскопия кристаллических материалов

Межзонные переходы в изоляторах и полупроводниках. Прямые переходы. Непрямые переходы с возбуждением фононов. Экситоны и центры окраски. Металлы. Плазменные колебания в толще металлов и на их поверхности. Межзонные переходы в металлах. Методы спектроскопии: спектроскопия поглощения, комбинационное рассеяние, сверхбыстрая спектроскопия с накачкой и зондированием, фотоэлектронная спектроскопия с угловым разрешением, спектроскопия энергетических потерь электронов.



### 3. Спектроскопия графена

Безмассовые электроны в графене, эффективное уравнение Дирака. Эффект электрического поля в графене. Электронный газ в графене. Многочастичные эффекты кулоновского взаимодействия, перенормировка скорости Ферми. Экранирование кулоновского взаимодействия и скорость затухания возбуждений. Межзонные переходы и универсальная оптическая проводимость графена. Оптическое правило сумм для графена. Фононы в графене. Спектр комбинационного рассеяния в графене, его зависимость от допирования, беспорядка и натяжения. Сверхбыстрая спектроскопия графена с оптической накачкой. Термализация и остывание носителей. Сверхбыстрая фотоэлектронная спектроскопия. Терагерцовый отклик графена. Нелинейный терагерцовый отклик и зондирование фотовозбужденного графена терагерцовыми импульсами. Спектроскопия графена в магнитном поле. Уровни Ландау в графене, сканирующая туннельная спектроскопия уровней Ландау. Циклотронный резонанс и магниторамановское рассеяние. Спектроскопия плазмонов в графене. Динамическая поляризуемость графена, закон дисперсии плазмонов. Бегущие и локализованные плазмоны. Краевые магнитоплазмоны.

### 4. Современные квантовые материалы и их оптические свойства

Топологические изоляторы: классификация и основные модели. Трехмерные топологические изоляторы: дираковские электроны на поверхности и их спектроскопия. Квантованный аномальный эффект Холла и топологический магнитоэлектрический эффект. Квантованные эффекты Фарадея и Керра в магнитном поле. Трехмерные дираковские и вейлевские полуметаллы, их спектроскопия. Киральная аномалия и киральный магнитный эффект, их проявления в экспериментах. Дихалькогениды переходных металлов. Зонная структура и роль спин-орбитального расщепления. Экситоны и правила отбора для их возбуждения. Светлые и темные экситоны, трионы, межслойные экситоны. Искусственные квантовые материалы. Гетероинтерфейсы оксидов переходных металлов. Состояния Флоке и Флоке-Блоха в квантовой системе, подвергающейся действию периодического возмущения.

### 5. Уравнения Максвелла в среде. Решения уравнений Максвелла для плоской границы раздела

Уравнения Максвелла в диспергирующей среде. Отражение и преломление электромагнитных волн разной поляризации.

### 6. Поверхностные волны. Поверхностные поляритоны

Волны, локализованные вблизи поверхности. Смешивание поверхностных волн со светом и образование поляритонов в области частот оптических фононов.

### 7. Поверхностные плазмоны. Плазмоны в наночастицах и гетероструктурах

Диэлектрическая проницаемость металлов. Плазмоны в объеме и на поверхности. Плазменные колебания малых частиц. Радиационное затухание и затухание Ландау поверхностных плазмонов. Щелевые плазмоны в металлических гетероструктурах и порах.

### 8. Электромагнитные свойства полупроводников. Экситоны

Электронные зоны в полупроводниках. Электроны и дырки. Кулоновское взаимодействие и образование экситонов. Диэлектрическая проницаемость в области частот экситонных возбуждений.

9. Оптические свойства электронов в полупроводниковых гетероструктурах и сверхрешетках

Типы полупроводниковых гетероструктур: квантовые ямы, квантовые точки, сверхрешетки. Электронные зоны в полупроводниковых гетероструктурах. Поглощение света и экситонные состояния в гетероструктурах.

10. Спин-орбитальные эффекты в полупроводниковых квантовых ямах. Оптическая ориентация спинов

Поглощение циркулярно поляризованного света и фотоиндуцированная спиновая поляризация электронов. Спиновое расщепление электронных и дырочных зон в полупроводниковых квантовых ямах. Спиновая релаксация Дзяконова-Переля.

11. Комбинационное рассеяние света

Элементарная теория комбинационного рассеяния света. Комбинационное рассеяние на акустических фонах (рассеяние Мандельштам-Бриллюэна). Рассеяние на электронах проводимости. Угловая и частотная зависимость комбинационного рассеяния света.

12. Электронное комбинационное рассеяние света в полупроводниках

Роль спин-орбитальных эффектов в тензоре комбинационного рассеяния света. Рассеяние с переворотом спина электрона. Зависимость спиновых эффектов от взаимной поляризации падающего и рассеянного света.

13. Спин-орбитальные эффекты при комбинационном рассеянии света в квантовых ямах

Влияние спин-орбитального расщепления зоны проводимости на спектр электронного комбинационного рассеяния циркулярно поляризованного света. Частотная асимметрия спектра.

14. Спектр примесного центра в кристаллической матрице

Форма спектра поглощения света примесью. Спектр при сильном и слабом взаимодействии примеси с фононами матрицы.

15. Спин-гальванический эффект в полупроводниковых квантовых ямах

Сила, действующая на поляризованный газ электронов в системе с расщеплённой по направлению спина зоной проводимости. Возникновение тока в газе оптически ориентированных электронов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Спинтроника**

#### **Цель дисциплины:**

Познакомить студентов старших курсов с широким кругом фундаментальных спиновых эффектов и их приложениями.

#### **Задачи дисциплины:**

Задачами учебной дисциплины являются: формирование у обучающихся специализированных знаний о природе эффектов магнитосопротивления, свойствах электронного и магнонного спинового транспорта, природе магнитоэлектрических эффектов и их прикладном использовании, различных методах контроля намагниченности, спиновой калоритронике. Т.к. спинтроника является активно развивающейся областью физики конденсированного состояния, важнейшей задачей курса является знакомство студентов с современной литературой по данной тематике. Также в задачи курса входит обзор основных экспериментальных методик и теоретических подходов, используемых в спинтронике.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Основные теоретические подходы к описанию магнитосопротивления, основные экспериментальные результаты, основные приложения эффекта магнитосопротивления; теорию инжекции и переноса спина в металлах и полупроводниках, методы детектирования спинового разбаланса, основные экспериментальные результаты, механизмы релаксации спина; методы описания магнитной динамики, теорию управления намагниченностью и движения магнитных дефектов магнитным полем и электрическим током, основные экспериментальные результаты по перевороту магнитного момента и движению магнитных дефектов в различных системах и приложения; природу, виды и основные свойства спин-орбитальной связи в твердых телах, основные магнитоэлектрические эффекты, вызванные спин-орбитальным взаимодействием; основы спиновой калоритроники, основные экспериментальные результаты и теоретические подходы, природу и приложения гигантского термоспинового эффекта в сверхпроводящих системах; обзор современного состояния области магноники, спектры спиновых волн в различных магнитных системах, основные экспериментальные результаты по магнонному переносу спинового момента, механизмы конверсии магнонного спинового сигнала в электронный.

## **уметь:**

Применять диффузионную теорию для описания спинового разбаланса в металлах, полупроводниках и мезоскопических системах, пользоваться уравнением Ландау-Лифшица-Гильберта для описания магнитной динамики и рассчитывать с его помощью магнитную динамику и спектры возбуждений в различных магнитных системах, рассчитывать спектры квазичастиц в различных материалах со спин-орбитальным взаимодействием, рассчитывать величину магнитоэлектрических эффектов, описывать эффекты спиновой калоритроники в рамках подхода кинетического уравнения, решать задачи о взаимной конверсии электронного и магнетонного спиновых сигналов, исследовать взаимодействующие магнетонные моды в различных мезоскопических системах в рамках уравнения Ландау-Лифшица-Гильберта.

## **владеть:**

- навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях;
- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- навыками теоретического анализа реальных задач, связанных со свойствами спиновых систем.

## **Темы и разделы курса:**

### 1. GMR, TMR и родственные эффекты

Спин-зависимый транспорт в ферромагнитных металлах. Экспериментальные результаты по GMR. Теоретические подходы к описанию GMR. TMR. BMR. Другие эффекты магнитосопротивления: нормальное магнитосопротивление, анизотропное магнитосопротивление. Приложения эффектов GMR и TMR.

### 2. Спиновая аккумуляция, инжектирование и детектирование электронного спина

Спиновый ток и спиновый разбаланс. Электрическая инжекция спина через интерфейс ферромагнетик/нормальный металл. Сопротивление F/N интерфейса. Нелокальное детектирование спинового разбаланса.

### 3. Спиновые полевые транзисторы

Принцип работы спинового полевого транзистора Datta-Das.

### 4. Спиновые вращательные моменты и динамика намагниченности

Эффективное внутреннее поле магнетика. Уравнение Ландау-Лифшица-Гильберта. Вращательные моменты, создаваемые электрическим током в ферромагнетике в рамках s-d модели. Динамика намагниченности в металлическом спиновом вентиле. Индуцированное магнитным полем движение доменных стенок. Индуцированное электрическим током движение доменных стенок.

### 5. Спин-орбитальное взаимодействие

Внутреннее спин-орбитальное взаимодействие в атоме. Спин-орбитальное взаимодействие в твердом теле. Спин-орбитальное взаимодействие типа Рашбы и типа Дрессельхауса. Спектры квазичастиц в материале со спин-орбитальным взаимодействием.

#### 6. Магнитоэлектрические эффекты

Спиновый эффект Холла. Спин-гальванический эффект. Прямой магнитоэлектрический эффект. Прямой магнитоэлектрический эффект в 3D топологических изоляторах.

#### 7. Спиновая релаксация

Механизм Эллиота-Яфета. Механизм Дьяконова-Переля. Механизм Бира-Аронова-Пикуса. Механизм спиновой релаксации за счет сверхтонкого взаимодействия с ядерными спинами.

#### 8. Спиновая калоритроника

Спин-зависящий эффект Зеебека. Спиновый эффект Пельтье. Гигантский спин-зависящий эффект Зеебека в сверхпроводящих гетероструктурах. Термоиндуцированное движение магнитных дефектов в S/F гетероструктурах.

#### 9. Магноника

Магнонные спектры и магнонный спиновый ток. Взаимная конверсия электронного и магнонного спиновых токов. Обзор современных результатов в области магноники.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Стандартная модель элементарных частиц и их взаимодействий**

#### **Цель дисциплины:**

- изучение базовых аспектов "Стандартной модели физики элементарных частиц".

#### **Задачи дисциплины:**

изучение описания взаимодействий в рамках "Стандартной модели физики элементарных частиц";

овладение методами описания процессов с участием адронов;

изучение свойств элементарных частиц "Стандартной Модели физики элементарных частиц";

изучение роли симметрий в физике элементарных частиц.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

– структуру и симметрии стандартной модели физики элементарных частиц, правила Фейнмана для полей стандартной модели.

##### **уметь:**

– вычислять вероятности процессов с участием частиц стандартной модели элементарных частиц.

##### **владеть:**

– навыками освоения большого объема информации, навыками поиска информации в сети Интернет, навыками самостоятельной работы.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Лагранжиан, параметры и симметрии – общий обзор.

Скалярные, спинорные и векторные поля Стандартной модели, ее лагранжиан, параметры и симметрии.

## 2. Сильные взаимодействия и адроны.

Обзор свойств адронов на примере легчайших мультиплетов мезонов и барионов и их связь с кварковым составом адронов.

## 3. Глубоко-неупругое рассеяние.

Описание глубоко-неупругого рассеяния лептонов адронах. Партонные функции распределения и их использование при вычислении сечений процессов столкновения адронов.

## 4. Кварки и глюоны, квантовая хромодинамика.

Кварки и глюоны в Стандартной модели. Квантовая хромодинамика. Киральная симметрия. Кварки и глюоны как партонны. Уравнения Альтарелли-Паризи.

## 5. Механизм Хиггса и бозонный сектор.

Описание механизма Хиггса в Стандартной модели: спонтанное нарушение калибровочной симметрии и физические поля в бозонном секторе.

## 6. Бозон Хиггса.

Обзор свойств бозона Хиггса, его основные моды распада. Каналы рождения бозона Хиггса в столкновениях частиц на коллайдерах.

## 7. Электрослабые взаимодействия: кварки и лептоны

Описание электрослабых взаимодействий кварков и лептонов. Примеры вычислений вероятностей отдельных процессов.

## 8. Нарушение флейворных симметрий в Стандартной модели.

Процессы с нарушением флейвора в нейтральных токах. ГИМ-механизм. Осцилляции мезонов.

## 9. Нарушение CP-симметрии

Процессы с нарушением CP-симметрии в Стандартной модели. CP-нарушение в распадах и осцилляциях мезонов. Понятие о сильной CP-проблеме.

## 10. Понятие об квантовых аномалиях и их роль

Киральная аномалия и ее связь с распадом нейтрального пи-мезона. Калибровочные аномалии и их сокращение в Стандартной модели.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Статистика и кинетика критических явлений**

#### **Цель дисциплины:**

освоение студентами фундаментальных знаний в области теории фазовых переходов, изучение примеров построения новых подходов для решения нетривиальных задач теоретической физики, а также их практического применения в научных исследованиях.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование знаний в области теории фазовых переходов, как дисциплины, играющей важную роль в подготовке физиков-теоретиков и обеспечивающей теоретические основы современных инновационных научных исследований;
- обучение студентов принципам решения задач современной теоретической физики, многие из которых тесно связаны с теорией фазовых переходов;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области теоретической физики в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные примеры фазовых переходов в различных областях физики и смежных дисциплин;
- основные понятия данного курса, такие как масштабная инвариантность, универсальность, критические индексы, преобразование ренормализационной группы, самоорганизованная критичность;
- теоретические модели, используемые для анализа критических явлений в физике;

##### **уметь:**

- эффективно использовать на практике изучаемые в курсе понятия и модели;
- абстрагироваться от несущественных влияний и выделять главное при моделировании реальных физических ситуаций;



**владеть:**

- методологией выбора адекватных методов исследования (наблюдений, теоретических и экспериментальных методов исследований);
- теоретическим аппаратом физики критических явлений.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Общее представление о фазовых переходах

Магнитные системы. Критическая точка в жидкости. Теория среднего поля. Критические индексы в теории среднего поля. Магнетики с бесконечным радиусом взаимодействия. Теория Ван-дер-Ваальса перехода жидкость-газ как теория среднего поля.

## 2. Теория Ландау фазовых переходов второго рода

Параметр порядка, нарушение симметрии, функционал Гинзбурга-Ландау, корреляционная длина. Флуктуации вблизи критической точки, критерий Гинзбурга. Влияние внешнего поля на фазовый переход.

## 3. Одномерная модель Изинга

Точное решение, поведение корреляционной длины при низких температурах. Метод трансфер-матрицы. Топологические дефекты (кинки) и их роль в разрушении дальнего порядка.

## 4. Высокотемпературные разложения

Построение высокотемпературных разложений для одномерной и двумерной моделей Изинга. Анализ радиуса сходимости рядов. Паде аппроксимации. Оценка критических индексов из высокотемпературных разложений.

## 5. Двумерная модель Изинга

Дуальность Крамерса-Ванье, решение Онзагера. Метод трансфер-матрицы в двумерной модели Изинга. Эффективный одномерный гамильтониан и описание критического поведения в терминах безмассовых фермионов.

## 6. Преобразование ренормализационной группы

Масштабная инвариантность. Ренормгруппа в реальном пространстве для одномерной и двумерной моделей Изинга. Неподвижные точки и критические индексы.

## 7. Основы теории протекания

Порог протекания, гипотеза скейлинга и критические индексы. Фрактальная размерность кластеров. Преобразование ренормгруппы для одномерной задачи и для двумерной треугольной решетки.

## 8. Ренормгруппа Вильсона и эpsilon-разложение

Ренормгруппа в импульсном пространстве для эффективного полевого действия. Зависимость от размерности пространства. Гауссова неподвижная точка. Нетривиальная фиксированная точка в размерности  $d < 4$ . Вычисление критических индексов в рамках  $\epsilon$ -разложения.

## 9. Переход Березинского-Костерлица-Таулеса в двумерных системах

Двумерная XY-модель. Коррелятор спинов в гауссовом приближении. Вихри, взаимодействие вихрей. Переход Березинского-Костерлица-Таулеса. Уравнения ренормгруппы Костерлица. Поведение корреляционной длины вблизи точки перехода. БКТ-переход в сверхтекучей пленке и в двумерном кристалле.

## 10. Введение в SLE

Уравнение Лёвнера, его решение в простейших случаях. Соотношение между коэффициентом диффузии и фрактальной размерностью критических кривых. Приложение к теории протекания.

## 11. Динамика систем вблизи точки фазового перехода

Релаксация к равновесию в критической области. Глауберовская динамика и времена релаксации в одномерной модели Изинга.

## 12. Самоорганизованная критичность

Модель песчаной горки в одном и двух измерениях. Динамика лавин. Идея самоорганизованной критичности и анализ поведения сложных систем.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Статистические методы в экспериментальной физике**

#### **Цель дисциплины:**

Дать студентам знания и инструменты для работы с экспериментальными данными. А также понимание того, как разрабатывать новые инструменты.

#### **Задачи дисциплины:**

Знания будут формироваться на практических задачах с учетом большого практического опыта авторов курса.

В курсе предусмотрен ряд приглашенных лекций ведущих мировых специалистов в области обработки данных.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Основные методы обработки экспериментальных данных и обоснование этих методов.

##### **уметь:**

Использовать язык Python и среду Jupyter notebook для обработки данных и визуализации.

##### **владеть:**

Инструментами и техниками для анализа данных. Профессиональной терминологией.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Введение в теорию вероятностей
2. Непрерывные и дискретные распределения
3. Теория принятия статистических решений

4. Теория оценок

5. Теория проверки гипотез

6. Статистические и систематические ошибки

7. Использование языка Python для анализа данных

8. Методы многомерной оптимизации для построения оценок

9. Байесовские методы

10. Методы Монте-Карло для анализа данных

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Статистическое описание квантового транспорта и теория измерений в наноструктурах**

#### **Цель дисциплины:**

Дать студентам знания о методах статистического описания квантового транспорта и применения теории измерений в наноструктурах.

Эти знания охватывают использование матрицы рассеяния в когерентных проводниках для описания электронного транспорта, аппарата вторичного квантования для описания многочастичного транспорта, начальные сведения о гриновских функциях в Келдышевской технике, описание шумов и статистики переноса частиц в целом, уравнений Боголюбова – де Женна, теории измерений флуктуаций тока и характеристической функции для переноса заряда. Даются необходимые знания из квантовой теории измерений : проекционный постулат фон Неймана, понятие отложенных измерений.

#### **Задачи дисциплины:**

- овладение основами теории квантового электронного транспорта
- изучение основ теории матриц рассеяния в квантовых проводниках
- получение знаний о типах флуктуаций тока
- изучение корреляторов высших порядков и функции распределения для перенесенного заряда
- изучение электронного транспорта в гибридных (нормально/сверхпроводящих) проводниках
- изучение квантовой теории измерений применительно к флуктуациям тока в квантовых проводниках

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные принципы описания квантового транспорта
- основные принципы статистического описания флуктуаций в квантовом транспорте

-основные принципы электронного транспорта в гибридных (нормально/сверхпроводящих) проводниках

-основные принципы теории измерений применительно к квантовому транспорту

**уметь:**

-находить величины токов и корреляторов токов в квантовых проводниках

-выбирать подходящие способы статистического описания квантовой динамики

-строить теорию измерения для конкретных величин применительно к конкретным условиям эксперимента

**владеть:**

-методами вычисления средних величин и флуктуаций тока

-основными методами математического аппарата вторичного квантования и функций Грина

-методами решения уравнения Боголюбова де-Женна

**Темы и разделы курса:**

1. Описание электронного транспорта с помощью матрицы рассеяния. Формула Ландауэра.

Использование матрицы рассеяния в когерентных проводниках для описания электронного транспорта на полуклассическом уровне с применением состояний рассеяния Липпмана-Швингера. Вывод двух версий формулы Ландауэра.

2. Использование вторичного квантования и функций Грина

На базе использования матрицы рассеяния в когерентных проводниках для описания электронного транспорта объясняется использование аппарата вторичного квантования для описания многочастичного транспорта. Даются начальные сведения о гриновских функциях в Келдышевской технике, в базисе состояний Липпмана-Швингера.

3. Описание полной статистики переноса в квантовых проводниках

Дается описание шумов и статистики переноса частиц в целом. Рассмотрена теория измерений характеристической функции для переноса заряда.

Найдены корреляторы токов различных порядков для нескольких типов квантовых проводников.

4. Уравнения Боголюбова – де Женна

Изложены основные принципы электронного транспорта в гибридных (нормально/сверхпроводящих) проводниках. Подробно рассматривается вывод уравнений Боголюбова – де Женна и их свойства. Приводится описание нескольких типичных геометрий гибридных контактов.

## 5. Статистика электронного транспорта в гибридных сверхпроводящих структурах

На основе общих принципов описания электронного транспорта в гибридных (нормально/сверхпроводящих) проводниках дано расширение теории шумов и статистики переноса частиц в целом. Рассмотрены наиболее важные типы контактов, вычислены величины среднего тока и флуктуаций.

## 6. Теория измерений для квантового транспорта

Изучение квантовой теории измерений применительно к флуктуациям тока в квантовых проводниках. Изложена теория измерений флуктуаций тока с помощью квантовых точечных контактов и резонансных контуров. Также рассмотрена теория измерений характеристической функции для переноса заряда с помощью сверхпроводящего кубита.

## Аннотации к рабочим программам дисциплин.

Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность: Общая и прикладная физика

### Суперсимметричные модели в физике элементарных частиц

#### Цель дисциплины:

- освоение студентами фундаментальных знаний в области современной физики элементарных частиц, изучение теоретических концепций физики высоких энергий за пределами Стандартной Модели, а также приобретение базовых навыков самостоятельной научно-исследовательской работы.

#### Задачи дисциплины:

- формирование базовых знаний в области теоретической физики и физики элементарных частиц;
- обучение студентов современным методам теоретического описания явлений физики высоких энергий и навыкам решения сопутствующих задач;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований в области теоретической физики в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### знать:

- Преобразования суперсимметрии. Компонентные поля. Вспомогательные поля.
- Генераторы суперсимметрии.
- Алгебру суперсимметрии.
- Двух- и четырех-компонентные спиноры.
- Грассмановы переменные.
- Суперпространство и суперполя. Супермультиплеты.
- Киральные и антикиральные суперполя.
- Модель Весса-Зумино.
- Векторные суперполя.
- Калибровку Весса-Зумино.
- Лагранжиан  $\mathcal{N}=1$  суперсимметричной теории Янга-Миллса.



- Лагранжиан  $\mathcal{N}=1$  суперсимметричной теории Янга-Миллса с полями материи.
- Суперпотенциал.
- Скалярный потенциал в моделях с суперсимметрией.
- Механизм О'Райферти.
- Механизм Файе-Илиопулоса.
- МССМ – Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель.
- R-четность.
- Нарушение суперсимметрии в МССМ. Параметры мягкого нарушения суперсимметрии.
- Массовые матрицы и смешивания.
- Уравнения ренормгруппы для параметров модели.
- Ограничения на массу легчайшего хиггсовского бозона в МССМ.
- Радиационное нарушение электрослабой симметрии в МССМ.
- Спектр бозонов Хиггса в МССМ.
- Теоретические и экспериментальные ограничения на значения параметров МССМ.
- Модели с расширенным хиггсовским сектором.
- Модели с нарушенной R-четностью.
- Модели с различными механизмами нарушения суперсимметрии.
- Суперсимметричные теории Великого Объединения.
- Основные процессы рождения и каналы распадов суперпартнеров.
- Последние результаты по экспериментальному поиску суперсимметрии.
- $\mathcal{N}=2$  суперсимметричная теория Янга-Миллса.  $\mathcal{N}=2$  гипермультиплет.
- $\mathcal{N}=4$  суперсимметричная теория Янга-Миллса.

**уметь:**

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной теоретической физики высоких энергий.

**владеть:**

- техникой работы с двух- и четырех-компонентными спинорами;
- техникой работы с грассмановыми переменными;
- техникой построения суперсимметричных лагранжианов;

- техникой построения и диагонализации массовых матриц суперчастиц;
- техникой описания процессов рождения и распадов суперчастиц.

### **Темы и разделы курса:**

#### 1. Стандартная Модель фундаментальных взаимодействий

Основные положения Стандартной Модели. Электромагнитные взаимодействия. Слабые взаимодействия. Сильные взаимодействия. Симметрии Стандартной Модели. Кварки и лептоны. Калибровочные поля.  $W$ ,  $Z$  бозоны и глюоны. Лагранжиан Стандартной Модели

#### 2. Пути решения проблем Стандартной Модели с помощью суперсимметрии

Бегущие константы связи. Великое Объединение. Скалярные поля в Стандартной Модели. Проблема иерархий. Решение проблемы иерархий с помощью суперсимметрии. Проблема темной материи и ее решение в рамках суперсимметричных расширений Стандартной Модели.

#### 3. Преобразования суперсимметрии

Алгебра суперсимметрии. Понятие суперсимметрии. Преобразования суперсимметрии. Компонентные поля. Вспомогательные поля. Генераторы суперсимметрии. Алгебра суперсимметрии. Двух- и четырехкомпонентные спиноры. Грассмановы переменные.

#### 4. $N=1$ суперсимметрия

$N=1$  суперсимметрия (часть I).

Суперпространство и суперполя. Супермультиплеты. Грассмановы переменные. Киральные и антикиральные суперполя. Разложение по компонентным полям. Модель Весса -Зумино.

$N=1$  суперсимметрия (часть II).

Векторные суперполя. Разложение векторного суперполя по компонентным полям. Калибровка Весса -Зумино.  $N=1$  суперсимметричная теория Янга -Миллса. Построение инвариантов из киральных, антикиральных и векторных полей.

$N=1$  суперсимметрия (часть III).

Построение инвариантов из киральных, антикиральных и векторных полей. Построение лагранжианов.  $N=1$  суперсимметричная теория Янга -Миллса с полями материи. Суперпотенциал. Скалярный потенциал в моделях с суперсимметрией.

#### 5. Спонтанное нарушение суперсимметрии

Спонтанное нарушение суперсимметрии. Механизм О'Райферти и механизм Файе - Илиопулоса.

## 6. Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель

МССМ – Минимальная суперсимметричная Стандартная Модель. Суперпартнеры. Взаимодействия частиц Стандартной Модели и суперпартнеров. R-четность. Нарушение суперсимметрии в МССМ. Мягкое нарушение суперсимметрии за счет эффектов гравитации. Параметры мягкого нарушения суперсимметрии.

Суперпартнеры – взаимодействия и массы. Массовые матрицы и смешивания. Уравнения ренормгруппы для параметров модели.

## 7. Бозоны Хиггса в суперсимметричных теориях

Хиггсовские бозоны в суперсимметричных теориях. Ограничения на массу легчайшего хиггсовского бозона (древесное приближение и радиационные поправки). Радиационное нарушение электрослабой симметрии в МССМ. Спектр бозонов Хиггса в МССМ.

## 8. Пространство параметров МССМ

Анализ пространства параметров МССМ. Теоретические и экспериментальные ограничения на значения параметров модели.

## 9. Неминимальные суперсимметричные расширения Стандартной Модели

Неминимальные расширения Стандартной Модели. Модели с расширенным хиггсовским сектором. Модели с нарушенной R - четностью.

Модели с различными механизмами нарушения суперсимметрии. Суперсимметричные теории Великого Объединения.

## 10. Поиск суперсимметрии в неускорительных экспериментах

«Суперсимметричная» темная материя. Сравнение предсказаний суперсимметричных теорий с результатами по прямому детектированию темной материи.

## 11. Поиск суперсимметрии в ускорительных экспериментах

Поиск суперсимметрии в экспериментах на коллайдерах (Tevatron , LHC). Основные процессы рождения и каналы распадов суперпартнеров. Обсуждение последних результатов по экспериментальному поиску суперсимметрии.

## 12. Понятие о расширенной суперсимметрии

Понятие о расширенной суперсимметрии. N=2 суперсимметричная теория Янга-Миллса. N=2 гипермультиплет. N=4 суперсимметричная теория Янга-Миллса.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Теория Великого объединения**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины «Теория Великого Объединения» является формирование базовых знаний по дальнейшему развитию физики элементарных частиц для использования в дальнейшей научной работе.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся базовых знаний по Теории Великого Объединения;
- формирование навыков для решения задач.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия по теме дисциплины;
- группы Великого Объединения.

##### **уметь:**

вычислять радиационные поправки.

##### **владеть:**

математическим аппаратом квантовой теории поля.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Электрослабые радиационные поправки

Электрослабые радиационные поправки. Поляризационные операторы векторных бозонов.

2. Группы Великого Объединения

Группы Великого Объединения. Фермионы в группе SU(5).

### 3. Реликтовые частицы

Реликтовые частицы. Концентрация темной материи.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Теория сверхновых звёзд**

#### **Цель дисциплины:**

освоение студентами фундаментальных знаний в области физики сверхновых звезд, методов их исследования, а также областей практического применения этих знаний.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики сверхновых звезд как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- формирование основополагающих знаний по гидродинамике, переносу излучения, радиационной гидродинамике, моделированию кривых блеска и спектров сверхновых звезд, по сложным физическим процессам, протекающим при взрывах сверхновых;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области физики сверхновых звезд в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях; современные проблемы физики, химии, математики; теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях; принципы симметрии и законы сохранения; новейшие открытия естествознания; постановку проблем физико-химического моделирования; о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

##### **уметь:**

эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы; представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания; абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.

##### **владеть:**

планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента; научной картиной мира; математическим моделированием физических задач.

### **Темы и разделы курса:**

#### 1. Основные наблюдательные данные о сверхновых звездах

Происхождение термина "сверхновые звезды". Основные наблюдательные данные: спектры и кривые блеска. Классификация сверхновых. Статистика вспышек сверхновых.

#### 2. Остатки вспышек сверхновых

Остатки вспышек сверхновых и их эволюция. Задача о сильном взрыве. Модель стадии лучистого охлаждения. Галактические сверхновые. Крабовидная туманность.

#### 3. Звездное вещество и излучение

Основные характеристики вещества и излучения. Процессы взаимодействия излучения и вещества. Коэффициенты поглощения, излучательной способности и рассеяния. Локальное термодинамическое равновесие. Ионизационное и статистическое равновесие звездного вещества. Уравнение состояния звездной плазмы. Непрозрачность звездного вещества. Усреднение коэффициента поглощения. Росселандово среднее.

#### 4. Уравнение переноса излучения

Вывод уравнения переноса излучения. Оптическая толщина и функция источника. Формальное решение уравнения переноса. Уравнение переноса для угловых моментов. Условие лучистого равновесия. Диффузионный предел и приближение лучистой теплопроводности. Волновой предел.

#### 5. Формирование спектров сверхновых

Формирование непрерывного спектра. Коэффициент поглощения в линии. Уравнение переноса для связанно-связанных переходов. Перенос излучения в линии в расширяющихся атмосферах. Теория Соболева.

#### 6. Уравнения радиационной гидродинамики

Релятивистское уравнение переноса в сопутствующей системе отсчета. Уравнения радиационной гидродинамики. Уравнения радиационной гидродинамики в моментном приближении. Многогрупповое приближение.

#### 7. Предсверхновые звезды

Строение предсверхновых звезд. Условие устойчивого равновесия звезды.

#### 8. Основные физические стадии вспышки сверхновой

Мгновенный взрыв и медленное выделение энергии. Выход ударной волны на поверхность предсверхновой. Волна охлаждения и рекомбинации. Свойства радиоактивного распада  $Ni-56 \Rightarrow Co-56 \Rightarrow Fe-56$ .

#### 9. Гидродинамические модели сверхновых

Внутренняя и внешняя задачи гидродинамического моделирования вспышки сверхновой. Гидродинамические модели.

## 10. Моделирование сверхновых разных типов

Сверхновые типа Ia. Сверхновые типа Ib и Ic. Сверхновые типа III. Сверхновая 1993J в галактике M81.

## 11. Сверхновая 1987A в Большом Магеллановом Облаке

Сверхновая типа II 1987A: наблюдения и теория.

## 12. Эволюция массивных звезд до стадии предсверхновой

Общие сведения об эволюции массивных звезд. Причины потери устойчивости к гравитационному коллапсу железными ядрами звезд. Диаграмма центральная температура - центральная плотность и уравнение состояния звездной плазмы.

## 13. Гравитационный коллапс. Общие сведения

Гравитационный коллапс: режим свободного падения. Автомодельное решение задачи о гравитационном коллапсе.

## 14. Гидродинамическая теория сферически-симметричного гравитационного коллапса железных ядер

Гравитационный коллапс железных ядер. Начальная стадия. Стадия нейтриносферы. Гравитационный коллапс до и после отскока. Гидродинамический механизм взрыва сверхновой типа II.

## 15. Замедленный механизм нейтринного нагрева

Механизм нейтринного нагрева. Понятие о радиусе нейтринного нагрева. Характеристики нейтринного сигнала при гравитационном коллапсе.

## 16. Нейтрино-конвективный механизм взрыва сверхновой

Конвекция. Условие конвективной неустойчивости. Возникновение конвекции внутри протонейтронной звезды. Конвекция за фронтом ударной волны.

## 17. Магнито-ротационный механизм взрыва сверхновой

Роль магнитного поля и вращения при гравитационном коллапсе. Дифференциальное вращение и усиление магнитного поля. Магнито-ротационная неустойчивость.

## 18. Сценарий ротационного механизма взрыва сверхновой

Гравитационный коллапс вращающегося железного ядра звезды. Образование и эволюция двойной системы нейтронных звезд. Взрыв маломассивной нейтронной звезды с критической массой — источник энергии взрыва.

## 19. Аккреционно-струйный механизм взрыва сверхновой

Эволюция массивных звезд в интервале 25-100 масс Солнца. Механизм дисковой аккреции и нейтринное охлаждение. Формирование релятивистских струй и взрыв сверхновой. Связь с явлением гамма-вспышки.

## 20. Электронно-позитронный механизм взрыва сверхновой



Рождение электронно-позитронных пар. Потеря устойчивости к гравитационному коллапсу очень массивными звездами с массой свыше 100 масс Солнца. Электронно-позитронный механизм взрыва сверхновой.

21. Эволюция маломассивных звезд с образованием одиночных предсверхновых и в составе тесных двойных звезд

Наблюдения сверхновых типа Ia и ограничения, накладываемые ими на предсверхновые. Эволюция маломассивных (менее 10 масс Солнца) звезд с образованием одиночных предсверхновых и в составе тесных двойных звезд.

22. Термоядерный взрыв C-O ядра звезды

Два режима термоядерного горения C-O ядер: детонация и дефлаграция. Термоядерный взрыв C-O ядра с чандрасекаровской массой и с субчандрасекаровской массой.

23. Взрыв сверхновой типа Ia при слиянии двух белых карликов

Эволюция тесных двойных белых карликов. Основные стадии слияния двух белых карликов. Трудности избегания образования O+Ne+Mg звезд.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Теория сильных взаимодействий**

#### **Цель дисциплины:**

Цель освоения дисциплины состоит в формировании у студентов представления о современном состоянии КХД и калибровочных полях в контексте квантовой теории поля.

#### **Задачи дисциплины:**

Задача дисциплины состоит в обучении студентов основным принципам и методам теории калибровочных полей, подготовке студентов к проведению исследований в области КХД, калибровочных полей и смежных областях теоретической и математической физики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные принципы теории калибровочных полей, пертурбативные и, отчасти, непертурбативные методы КХД.

##### **уметь:**

вычислять древесные и однопетлевые амплитуды и функции Грина.

##### **владеть:**

диаграммной техникой.

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Тяжелые кваркони**

Адронные распады чармония и боттомония и константа сильного взаимодействия.

##### **2. Глубоконеупругое рассеяние**

Глубоконеупругое рассеяние лептонов на нуклонах. Кинематика и формфакторы. Партоновая модель.

Операторное разложение. Моменты структурных функций. Эволюция кварковых и глюонных распределений в адроне и уравнения ДГЛАП.

### 3. Эффективный киральный лагранжиан

Киральный предел. Кварковый конденсат. Пион как голдстоуновский бозон. Эффективный лагранжиан. Барион как солитон.

### 4. $1/N$ разложение

Предел 'т Хоофта. Планарные и непланарные диаграммы. Топологическое разложение и кварковые

петли. Предел Венециано. Большие  $N$  как квазиклассика.

### 5. Конфаймент

Слабый и сильный конфайнмент. Критерий Вилсона. Модель Полякова.. Модель Зайберга-Виттена.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Теория струн**

#### **Цель дисциплины:**

Цель освоения дисциплины состоит в формировании у студентов представления о теории струн, обсуждении основных методов описания и квантования в теории струн, описании связей с другими теориями и моделями.

#### **Задачи дисциплины:**

Задача дисциплины состоит в обучении студентов основным принципам и методам теории струн, подготовке студентов к ведению исследований, связанных с теорией струн и близкими областями теоретической физики и математики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Основные принципы теории струн, соответствующие свойства и методы.

##### **уметь:**

Эффективно использовать на практике теоретические понятия, решать базовые задачи, связанные с теорией струн.

##### **владеть:**

Основными методами, используемыми при решении задач, связанных с теорией струн.

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Введение**

Мотивация изучения теории струн. Проблемы квантовой гравитации (неперенормируемость, сингулярности, информационный парадокс, энтропия черных дыр, космологическая постоянная), объединение всех фундаментальных взаимодействий, дуальное описание калибровочных теорий (голография).

Следствия из теории струн и способы ее обнаружения: суперсимметрия, новые частицы,

реликтовое излучение, космические струны.

Действия для релятивистской частицы и его симметрии. Квантование систем со связями (подход Дирака). Вращающаяся точечная супер частица, супер частица Бринка-Шварца, суперсимметрия.

## 2. Классическая бозонная струна

Действие Намбу-Гото и его симметрии, уравнения движения. Действие Полякова и его симметрии, уравнения движения, сохраняющиеся величины. Классическая эквивалентность действия Полякова и Намбу-Гото.

Открытые и замкнутые струны (граничные условия Неймана/Дирихле и периодические).

Разложение струнных решений по модам. Алгебра Вирасоро.

## 3. Каноническое квантование бозонной струны

Квантование в калибровке светового конуса. Разрешение связей.

Спектр струнных возбуждений, Лоренц инвариантность, классификация Вигнера, тахион, безмассовый сектор - гравитон, поле Кальба-Рамонда (2-форма), дилатон, скаляры и векторные поля на D-бранах. Множество совпадающих D-бран, (супер) Янг-Миллс как их эффективное низкоэнергетическое описание.

## 4. Классическая фермионная струна

Спиноры в общей теории относительности.

Действие Грина-Шварца и Рамона-Навье-Шварца для суперструн.

Суперструны типа I, IIА, IIВ.

Суперсимметрия, Вейлевская и супер Вейлевская симметрии действия РНШ.

Суперконформная калибровка.

Граничные условия Рамона и Навье-Шварца для суперструны РНШ.

Супер алгебра Вирасоро.

## 5. Каноническое квантование фермионной струны

Каноническое квантование, квантование на световом конусе.

Спектр фермионной струны для типа I, IIА, IIВ, ГШО проекция.

Контрольная работа № 1.

## 6. Конформная теория поля - как релятивистски инвариантный подход к описанию струн

Операторное разложение и тождества Уорда.

Центральный заряд и алгебра Вирасоро, Вейлевская аномалия.

Соответствие между операторами теории и ее пространством состояний.

## 7. Квантование струны методом функционального интеграла

Интеграл по путям. Души Фадеева-Попова.

Критическая размерность.

Пространство струнных состояний и вершинные операторы.

Некритические струны.

8. Струнные взаимодействия

Древесные амплитуды для замкнутых струн (Вирасоро-Шапиро).

Древесные амплитуды для открытых струн (Венециано).

Однопетлевые амплитуды. Соответствие между петлевыми амплитудами для открытых струн и древесными для замкнутых.

9. Низкоэнергетические действия для полей безмассового сектора струнных возбуждений

Струна на фоне нетривиальной метрики, поля Кальба-Рамонда и дилатона.

Вейлевская инвариантность, обнуление бета функций для фоновых полей.

Уравнения и действие супергравитации.

Уравнения и действие Борна-Инфельда.

10. T- и S- дуальности в теории струн

Замкнутая и открытая струны на окружности. Симметрии спектра.

Правила Бушера.

Контрольная работа № 2.

**Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**Теория струн**

**Цель дисциплины:**

Изучение теории струн - главного кандидата для объединения всех фундаментальных взаимодействий: сильного, электрослабого и гравитационного.

**Задачи дисциплины:**

Овладение методами теории струн для использования их в физике элементарных частиц. Применение полученных знаний для вычисления физических наблюдаемых: спектра частиц и амплитуд их рассеяния.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

Основы теории струн.

**уметь:**

Вычислять амплитуды рассеяния в теории струн.

**владеть:**

Методами конформной теории поля и алгебраической геометрии в теории струн.

**Темы и разделы курса:**

1. Зачем струны?

О проблеме построения Теории Великого Объединения.

Аналогия с релятивистской частицей.

Теории со связями.

2. Струна Полякова

Релятивистская бозонная струна. Действие Гото-Намбу.

Действие Полякова. Вопрос об эквивалентности действий Гото-Намбу и Полякова.

Симметрии бозонной струны. Симметрии, сохраняющиеся токи, теорема Нетер.

Симметрии на мировой поверхности. Симметрии в физическом пространстве.

### 3. Теория струн и 2-d Конформная Теория Поля

Калибровочная симметрия. Фиксация конформной калибровки. Связи.

Основы конформной теории свободного безмассового бозонного поля.

Операторное разложение и Операторная алгебра локальных полей.

Кроссинг- симметрия операторного разложения.

Вершинные операторы в теории свободного безмассового бозонного поля.

### 4. Квантование бозонной струны

Каноническое квантование, моды, коммутационные соотношения. Фоковское пространство состояний.

Физические состояния. Связи и Алгебра Вирасоро. Определение пространства физических полей.

Физические состояния Бозонной струны. Физические состояния на уровнях 0,1 и 2.

Условия положительности норм физических состояний при  $d=26$ .

### 5. Теорема Каца и состояния Бозонной струны

Теорема Каца и алгебра Вирасоро.

Тождество Якоби и число физических состояний Бозонной струны на произвольном уровне.

### 6. Струна Невё-Шварца-Рамона.

Действие в суперконформной калибровке. NS- и R-поля. Моды. Коммутационные соотношения.

Фоковское пространство. Спинорный вакуум в R-секторе. Условия связи  $T=J=0$ .  $N=1$  Супер Вирасоро.

### 7. Физические состояния в Струна Невё-Шварца-Рамона.

Физические состояния на низших уровнях. Положительность нормы при  $a=1/2(5/8)$  в NS (R)-секторе и  $d=10$ .

Теорема Каца. Теорема Каца и алгебра супер-Вирасоро. Подсчет числа физических состояний на произвольном уровне

### 8. GSO проекция суперсимметрия в Струне Невё-Шварца-Рамона.

GSO (Глиоцци, Шерк, Олив) проекция.



GSO проекция и признаки суперсимметрии в HCP Струне.

Безмассовые состояния в суперструне Невё-Шварца-Рамона.

9. BRST квантование теории струн.

BRST квантование теории струн. Фиксация калибровочной инвариантности и BRST симметрия.

B,C-духи Фаддеева-Попова в бозонной  $d=26$  струне.

Вычисление вертекса безмассовой векторной частицы.

B- и C-духи FP и BRST оператор в NSR струне.

10. Бозонизация духов в NSR струне и Картины

Бозонизация духов в NSR струне.

Картины (pictures) и (beta, gamma)-система.

11. Рамоновский вакуум и Вертекс спинового поля.

Рамоновский вакуум.

Физические вертексы безмассовой и спинорной частиц в NSR струне.

12.  $N=2$  супер-Вирасоро на мировом листе и пространственно-временная суперсимметрия

$N=2$  Супер Вирасоро на мировом листе, генераторы, соотношения.

$U(1)$ -ток, спектральный поток. Суперсимметрия в Пространства-Времени в NSR струне.

$N=2$  Супер Вирасоро в NSR струне (продолжение). Действие спектрального потока на состояниях (вертексах).

Супер-Пуанкаре и спектральный поток. Нечетный генератор суперсимметрии и суперзаряд.

Конструкция нечетного генератора с помощью спектрального потока.

13. Физические состояния в теории замкнутой Суперструны.

Отбор физических вертексов взаимно локальных с Суперзарядом.

Ещё раз о GSO редукции. ПА- и ПВ- варианты теории замкнутой Суперструны.

Физические вертексы. Вертексы безмассовых частиц в теории замкнутой Суперструны.

14. Гетеротическая струна и самодуальные решетки

Гетеротическая струна и  $N=1$  Суперсимметрия в Пространства-Времени.

$E(8) \times E(8)$  и  $SO(32)$  варианты структуры 16-ти компактных измерений как условие самосогласованности теории.

Состояния и вертексы безмассовых частиц в теории гетеротической Суперструны.

15. Суперсимметрия в пространстве-времени при компактификации на трёхмерном пространстве Калаби-Яо и на  $N=2$  SCFT

Компактификация 6-ти из 10-ти измерений в Суперструне.

Геометрические свойства компактного подпространства, обеспечивающие появление безмассовых состояний в спектре струны.

Условие сохранения Суперсимметрии в пространстве-времени при компактификации 6-ти из 10-ти измерений.

Компактификация на многообразии Калаби-Яо. Геометрия пространств Калаби-Яо.  
Компактификация на  $N=2$  SCFT с  $c=9$  как условие сохранения симметрии Супер-Пуанкаре в Суперструне.

Альтернативная алгебраическая формулировка.

Эквивалентность двух подходов (алгебраического и геометрического).

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Теория фазовых переходов**

#### **Цель дисциплины:**

- изучение теории флуктуационных явлений, связанных с макроскопическими степенями свободы. Наряду с критическими явлениями, имеющими место вблизи фазовых переходов второго рода и критических точек, рассматриваются различные фазы конденсированного состояния, где флуктуации играют важную роль;
- изучение теории динамических флуктуаций, которая применяется как к равновесным, так и к неравновесным системам.

#### **Задачи дисциплины:**

- познакомить студентов с основными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия по теме дисциплины.

##### **уметь:**

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### **владеть:**

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Теория Ландау.

Параметр порядка. Разложение Ландау. Теория среднего поля. Низкотемпературная фаза.

## 2. Теория возмущений.

Разложение по параметру взаимодействия. Теория возмущений при температуре ниже температуры фазового перехода. Масштабирование.

## 3. Паркетные диаграммы.

Флуктуационные поправки в четырехмерном пространстве. Перенормировка величин. Тройная точка.

## 4. Ренорм-группа, эpsilon-разложение.

Интегрирование по быстрым переменным. Уравнения ренорм-группы. Масштабирование в терминах эpsilon-разложения.

## 5. Слабая кристаллизация.

Функционал Ландау. Флуктуационные явления. Фазовые диаграммы с флуктуациями.

## 6. Тепловые флуктуации в смектиках.

Функционал Ландау. Структурный фактор. Уравнения ренорм-группы. Дислокации.

## 7. Двумерные ферромагнетики.

Флуктуации направления намагниченности. Уравнения ренорм-группы. Предел большого числа компонент намагниченности.

## 8. Физика мембран.

Энергия мембраны в жидкости. Флуктуации формы мембраны. Уравнения ренорм-группы.

## 9. Фазовый переход БКТ.

Генератор для корреляционных функций вихря. Уравнения ренорм-группы. Парная корреляционная функция

вихря и теплоемкости.

## 10. Критическая динамика.

Эффективное действие и представление интеграла по траектории. Диаграммная техника Уальда. Уравнения ренорм-группы.

## 11. Проблема KPZ.

Уравнение KPZ (Kardar-Parisi-Zhang) и флуктуации. Уравнения ренорм-группы и масштабирование. Преобразование Коула-Хопфа.

## 12. Двумерная гидродинамика.

Уравнение Навье-Стокса, силы Ланжевена. Свободно подвешенные пленки. Гашение флуктуаций гидродинамических мод.

## 13. Пассивный скаляр.

Модель Крайхнана, стационарная статистика. Эволюция пассивного скаляра. Распределение вероятностей длин полимеров.

## Аннотации к рабочим программам дисциплин.

Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность: Общая и прикладная физика

### Теория фундаментальных взаимодействий

#### Цель дисциплины:

изучение студентами основных понятий и методов современной теории элементарных частиц и их взаимодействий и взаимопревращений.

#### Задачи дисциплины:

В ходе данного курса студент должен получить представление об основах квантовой теории поля, описании и расчётах процессов рассеяния и распада элементарных частиц, теории их структуры и основных принципах, на которых строится эта теория.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### знать:

- лагранжиан Стандартной модели;
- особенности квантования калибровочных теорий;
- свойства электрослабых калибровочных бозонов;
- механизм Хиггса;
- основные методы прецизионной проверки стандартной модели и поиска новых физических явлений во взаимодействиях частиц;
- лагранжиан КХД;
- методы вычисления радиационных поправок в КХД, КЭД и слабом секторе Стандартной модели;
- асимптотическую свободу в квантовой хромодинамике;
- партонную модель, партонные функции распределения и функции фрагментации.

##### уметь:

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной физики элементарных частиц.

**Владеть:**

- техникой вычисления основных характеристик процессов электрослабого взаимодействия;
- техникой вычисления основных характеристик процессов сильного взаимодействия;
- методом правил сумм в квантовой хромодинамике;
- методом дисперсионных соотношений.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Введение

В поисках «элементарных» частиц. Лептоны, фотоны, адроны, изотопическая инвариантность, силы взаимодействия. Гипотеза кварков, строение адронов, цвет, удержание цвета, скейлинг, асимптотическая свобода, партонная модель.

## 2. Релятивистская квантовая механика

Уравнение Клейна-Гордона. Уравнение Дирака, античастицы. Алгебра гамма-матриц, решения свободного уравнения Дирака, их смысл, угловой момент и спин электрона. Фермионы с нулевой массой. Уравнение Шредингера-Паули, магнитный момент электрона.

## 3. Основы квантовой электродинамики

Лагранжиан, локальная калибровочная симметрия и электродинамика. Уравнения Максвелла для потенциала. Калибровка. Теория возмущений. Диаграммы Фейнмана. Сечение рассеяния. Рассеяние электрона на мюоне, пропагатор фотона. Комптоновское рассеяние. Пропагатор электрона.

## 4. Слабые взаимодействия

Бета-распад. Теория Ферми. Нарушение четности, киральность. CP-четность. Время жизни мюона. Распад каонов. Угол Каббиво. Смешивание поколений, матрица смешивания Каббиво-Кабаяши-Маскава. Нарушение CP-четности. Нейтральные слабые токи. Глубоко неупругое рассеяние нейтрино и антинейтрино на нуклоне.

## 5. Стандартная модель электрослабого взаимодействия

Объединение электромагнитных и слабых взаимодействий на основе  $SU(2) \times U(1)$  симметрии. Угол Вайнберга, нейтральные слабые токи, W- и Z-бозоны. Неренормируемость теории с массивными бозонами. Неабелева калибровочная симметрия. Самодействие бозонов. Спонтанное нарушение симметрии. Появление массы. Голдстоуновские бозоны. Механизм Хиггса. Модель Салама-Вайнберга. Выбор поля Хиггса. Массы W- и Z-бозонов. Взаимодействие бозонов с хиггсом. Массы фермионов. Взаимодействия фермионов с хиггсом. Понятие о перенормируемости теории. Лептон-кварковая аналогия. Экспериментальный статус теории.

## 6. Цвет и цветовая калибровочная симметрия

Экспериментальные указания на цвет кварков. Цветовая калибровочная симметрия и уравнения Янга-Миллса для глюонного поля. Группа  $SU(3)$ . Матрицы Гелл-Манна и их свойства. Тождества Фирца. Операторы Казимира в фундаментальном и присоединенном представлении.

#### 7. Квантование КХД и асимптотическая свобода

Поперечность амплитуд в КЭД и КХД. Самодействие глюонов. Правила Фейнмана для КХД. Дисперсионные соотношения и оптическая теорема. Понятие о расходимостях, вычитаниях, регуляризации и перенормировке. Эффективный заряд в КЭД. Понятие о ренормгруппе. Нуль заряда в КЭД, его связь с оптической теоремой и дисперсионными соотношениями. Эффективный заряд в КХД. Асимптотическая свобода.

#### 8. Кварк-адронная дуальность и адронные процессы

Электрон-позитронная аннигиляция в адроны.  $R$ -отношение. Кварк-адронная дуальность. Вакуумные конденсаты и «правила сумм» КХД. Киральная инвариантность.

#### 9. Факторизация и модификация партонной модели

Факторизация в КХД и жесткие процессы. Глубоко неупругое рассеяние. Партонные функции распределения и их моменты. Структурные функции. Соотношение Каллана-Гросса. Сохраняющиеся операторы и их свойства. Правила сумм. Уравнения эволюции. Глубоко неупругое рассеяние поляризованных частиц. Спиновый кризис. Процесс Дрелла-Яна.

#### 10. Экспериментальный статус КХД и Что дальше?

Экспериментальный статус КХД. Применение КХД к процессам на Большом Адронном Коллайдере. Образование бозонов Хиггса в адронных соударениях. Движение к Великому Объединению.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Технология изготовления наноструктур**

#### **Цель дисциплины:**

ознакомление с современным состоянием исследований и разработок в области технологий тонких пленок и тонкопленочных устройств.

#### **Задачи дисциплины:**

познакомить студентов с основными идеями и техническими решениями в этой области, с постановкой задач и исследовательскими подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут выбирать лабораторные технологии, оптимальные для конкретных исследовательских задач.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные принципы тонкопленочных технологий и управления ими на основе количественных физических соотношений.

##### **уметь:**

пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

##### **владеть:**

математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Физическое осаждение из газовой фазы.

- условия и режимы испарения

- вакуумные камеры



- примеры реализации лабораторных технологий

## 2. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

- монокристаллические подложки
- напряжения, mismatch, строение границ
- переходные слои
- примеры реализации технологий гетероструктур

## 3. Магнетронное и электронно-лучевое напыление.

- режимы и дополнительные контролируемые параметры
- сравнение с возможностями термического осаждения
- примеры реализации технологий магнетронного напыления
- примеры реализации технологий электронно-лучевого напыления

## 4. Химическое осаждение из газовой фазы.

- реакционная способность газообразных прекурсоров
- гомогенные и гетерогенные реакции
- принципы конструкции реакторов
- примеры реализации технологий химического осаждения из газовой фазы

## 5. Мониторинг и контроль процессов.

- кварцовое микровзвешивание
- оптический мониторинг
- структурная характеристика пленок после осаждения

## 6. Инженерные аспекты тонкопленочных технологий.

- нагреватели, испарители
- системы охлаждения
- насосы
- проточные системы

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Томография и сжатые состояния в квантовой оптике и квантовой механике**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение основ квантовой механики и квантовой теории информации.

#### **Задачи дисциплины:**

Изучение понятий квантовой оптики и статистических основ квантовой теории информации.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Свойства энтропии, свойства информации классических квантовых систем;
- соотношение неопределенностей для энергии - энтропии и других квантовых наблюдаемых.

##### **уметь:**

- Пользоваться аппаратом гильбертовых пространств и операторов плотности, а также других наблюдаемых;
- пользоваться аппаратом дифференциальных форм;
- уметь представлять тензоры кривизны и кручения при помощи аппарата дифференциальных форм (уравнения Картана);
- свободно владеть основными уравнениями ОТО;
- решать задачи про излучение гравитационных волн в квадрупольном приближении, т.е. в нерелятивистском случае;
- решать уравнения ОТО в центрально-симметричном случае (черная дыра), а также в случае однородного и изотропного пространства (модели Вселенной по Фридману).

##### **владеть:**

Основными методами математического аппарата квантовой теории поля, статистической и математической физики.

### **Темы и разделы курса:**

1. Матрица плотности (оператор плотности). Соотношения неопределенностей Гайзенберга и Шредингера .

Определение и свойства оператора плотности. Явное выражение в виде неравенств.

2. Волновые пакеты, сжатые состояния. Когерентные состояния. Коррелированные состояния.

Определение и свойства сжатых состояний. Определение и свойства этих состояний.

3. Интегралы движения, зависящие от времени, для стационарных и нестационарных квантовых систем. Пропагатор (функция Грина) и его связь с интегралами движения.

Определение интегралов движения и их свойства. Уравнение связи интегралов движения с пропагатором.

4. Соотношения субаддитивности и положительность информации.

Соотношение между инвариантами и операторами Гейзенберга. Матрица оператора эволюции в указанных представлениях.

5. Матрица плотности в представлении Вигнера–Вейля. Символ оператора. Глауберовское представление.

Функция Вигнера и волновая функция. Функция Глаубера-Сударшана и ее связь с оператором плотности.

6. Уравнения типа Фоккера–Планка для матрицы плотности в представлениях: координатном, импульсном, когерентных состояний, сжатых состояний, Вигнера–Вейля. Нестационарный осциллятор с переменной частотой под действием возбуждающей силы как модель генерации когерентных, сжатых и коррелированных состояний.

Квантовые кинетические уравнения в разных представлениях. Инварианты параметрического осциллятора и их свойства

7. Функция распределения фотонов в сжатых и коррелированных состояниях. Фейнмановский интеграл по траекториям в квантовой механике и квантовой оптике.

Неклассические состояния фотонов и свойства их функций распределения. Пропагатор и интеграл по траекториям.

8. Группы Ли  $SU(2)$ ;  $SU(1;1)$ ;  $SU(n)$ ;  $ISP(2n;R)$  в задаче о многомодовых сжатых и корелированных состояниях. Трение и диссипация в квантовой механике, влияние на сжатые состояния.

Представления групп Ли и симметрии квантовых систем. Уравнение осциллятора с трением

9. Электрон в магнитном поле, когерентные и сжатые состояния. Вероятности переходов при параметрическом возбуждении многомодовой системы фотонов.

Траектория электрона в магнитном поле. Правило Борна для вероятностей.

10. Функция распределения в сжатом многомодовом состоянии фотонов и полиномы Эрмита многих переменных. Оптическая томография и измерение квантовых состояний.

Факторы Франка-Кондона для осцилляторных систем. Томограмма как функция распределения вероятностей. Примеры осциллятора и спина половина.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Топологические эффекты и новая сверхпроводимость**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами фундаментальных знаний в области топологических свойств сверхпроводящих систем, фундаментальных эффектов, проявляющихся в современных сверхпроводящих системах.

#### **Задачи дисциплины:**

- Формирование базовых знаний в области квантовой физики топологически нетривиальных систем как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- понимание ключевых физических экспериментов и теоретических результатов, лежащих в основе проявления топологических свойств сверхпроводящих систем;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований в области свойств современных топологически нетривиальных сверхпроводящих систем в рамках выпускных работ на степень магистра, формирование базовых знаний и умений для дальнейших исследований в рамках выпускных квалификационных работ.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

1. Современные проблемы физики конденсированного состояния.
2. Новейшие открытия в физике, в т.ч. в квантовой физике твердого тела.
3. О взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.
4. Теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния.
5. Принципы симметрии и законы сохранения.
6. Основные принципы функционирования устройств наноэлектроники и спинтроники.
7. Научные задачи, над которыми работают в лабораториях - партнерах образовательной программы.

8. Технику безопасности и правила работы в низкотемпературных физических экспериментах и в экспериментах с сильными магнитными полями.

**уметь:**

1. Эффективно использовать на практике теоретические знания: понятия, результаты, гипотезы, законы.
2. Представить панораму универсальных методов и законов современной квантовой физики современных сверхпроводящих и топологически нетривиальных систем.
3. Абстрагироваться от несущественных факторов при моделировании реальных физических процессов и явлений.
4. Делать численные оценки масштаба ожидаемых эффектов.
5. Планировать оптимальное проведение экспериментов для решения поставленных задач.

**владеть:**

1. Теоретическими основами экспериментальных методов проведения измерений в области квантовой физики современных сверхпроводящих и топологически нетривиальных систем с использованием транспортных, туннельных, термодинамических и резонансных методов.
2. Информацией о современном состоянии исследований в области квантовой физики твердого тела.
3. Теоретическими моделями фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния
4. Методами анализа и обработки экспериментальных данных.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение и обзор. Что такое топология.

Основные понятия. Зачем она нужна в физике. Что мы будем изучать. Основные математические понятия, с которыми мы будем иметь дело. Аффинные преобразования и топологические инварианты. Фаза Берри и эффект Аронова-Бома.

2. Основные математические понятия (продолжение).

Кривизна Берри (Berry curvature and Berry connection). Числа Черна. Операторы симметрии в квантовой механике. «Топологические» квантовые числа и «топологические» токи. Спиновые и псевдо-спиновые операторы и токи. Понятие топологической защищенности в квантовой механике. Топологические эффекты в оптике: аналогия квантовой механики и оптики.

3. Дираковские системы.

Причины, по которым возникает дираковский спектр в кристаллах: специфическая симметрия решетки, сильное спин-орбитальное взаимодействие. Spin-momentum locking. Квантование Ландау и квантовые осцилляции в дираковских системах: отличие от «обычных» электронных систем. Графен. Кристаллическая структура. Конуса Дирака. Киральность.

#### 4. Графен (продолжение).

Однослойный и двухслойный графен (структуры типа AB, AA, скрученный). Киральность и долинный индекс. Особенности квантования Ландау и квантового эффекта Холла в однослойном графене и двухслойном графене. Нарушения симметрии в графене и возможные параметры порядка.

Вейлевские и дираковские полуметаллы (semi-metals). Основные понятия и свойства.

#### 5. Топологические диэлектрики.

Аналогия с квантовым эффектом Холла. Существующие в настоящее время топологические диэлектрики. Их структура. Сильное спин-орбитальное взаимодействие. Поверхностные состояния и их топологическая защищенность: чем поверхностные состояния в топологических диэлектриках отличаются от обычных таммовских поверхностных состояний. Электронные состояния в объеме топологических диэлектриков.

#### 6. Топологические диэлектрики (продолжение).

Основные свойства топологических диэлектриков. Квантование Ландау и квантовые осцилляции в сильных магнитных полях. Аномальное продольное и поперечное магнитосопротивление. Квантовый спин-Холл эффект. Гигантские спиновые токи.

#### 7. Электрон-электронное взаимодействие, волны спиновой и зарядовой плотности, параметры порядка.

Топологическая классификация параметров порядка. Примеры: графен, двухслойный (AB, AA и скрученный) графен, топологические диэлектрики. Нематичность.

#### 8. Топологическая классификация параметров порядка (продолжение).

«Экзотические» симметрии в однослойном и двухслойном (AB, AA и скрученном) графене. Топологические фазовые переходы.

Полуметаллы (half-metal).

#### 9. Топологическая сверхпроводимость.

Симметрии параметра порядка (s, d, p). Многокомпонентные параметры порядка. Где наблюдается топологическая сверхпроводимость. Сверхпроводимость, возникающая из-за эффекта близости на поверхности топологического диэлектрика. Сверхпроводимость в материале с сильным спин-орбитальным взаимодействием, сверхпроводимость в объеме допированного топологического диэлектрика. Нематическая сверхпроводимость. Сверхпроводимость в графене, в том числе в скрученном двухслойном графене.

## 10. Топологическая сверхпроводимость (продолжение).

Фермион Майораны в теории поля и физике конденсированного состояния. Топологически защищенные квантовые вычисления и фермион Майораны. Модель Китаева. Возможные физические реализации фермиона Майораны в твердом теле: топологические сверхпроводники и нанопроволоки, магнитные цепочки.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Транспорт в мезоскопических системах**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины является формирование базовых знаний по разделу современной физики твердого тела, связанному с изучением переноса заряда (токовых состояний) в мезоскопических структурах.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний о ряде актуальных задач физики мезоскопического квантового транспорта;
- формирование базовых знаний об экспериментальных результатах в данной области;
- формирование базовых знаний о теоретическом способе описания задач в данной области;
- формирование базовых навыков решения теоретических задач в данной области.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Эффект квантования проводимости (кондактанса) в контактах типа плавного сужения. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения;
- эффект кулоновской блокады в одноэлектронном транзисторе. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения;
- эффект слабой локализации в неупорядоченных системах. Упрощенное теоретическое описание интерференции на возвратных траекториях и вычисления поправок к проводимости. Методы экспериментального изучения;
- эффекты андреевского отражения и андреевской проводимости. Их физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях;
- эффект возникновения андреевских уровней в SNS-контакте. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Эффект Джозефсона в этой системе;

- эффект многократного андреевского отражения в идеальном SNS-контакте. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях. Методы экспериментального изучения;
- стационарный эффект Джозефсона в SIS- и SINIS-контактах. Его физическое происхождение, теоретическое описание в простейших случаях.

#### **уметь:**

- Применять подход Ландауэра для описания транспортных свойств низкоразмерных электронных систем;
- применять ортодоксальный метод для описания переноса электронов в одноэлектронном транзисторе с кулоновской блокадой;
- применять уравнения Боголюбова – де Жена для описания андреевского отражения на NS-границе;
- применять подход Блондера-Тинкхама-Клапвайка для описания андреевской проводимости неидеальной NS-границы;
- применять уравнения Гинзбурга-Ландау для описания эффекта близости и эффекта Джозефсона в SINIS-контакте.

#### **владеть:**

- Базовыми методами теоретического описания мезоскопического квантового транспорта.

#### **Темы и разделы курса:**

##### 1. Квантовые контакты.

Квантование проводимости (кондактанса) в контактах типа плавного сужения. Аналогия с волноводами. Подход Ландауэра: проводящие каналы, матрица рассеяния, transmission eigenvalues. Формула Шарвина.

##### 2. Кулоновская блокада

Одноэлектронное туннелирование через конденсатор. Одноэлектронный транзистор (SET), управление зарядом островка с помощью затвора, точки вырождения. Кулоновские алмазы (Coulomb diamonds) при нулевой температуре. Ортодоксальный метод (orthodox theory) и вычисление линейного кондактанса при малых температурах вблизи точек вырождения.

##### 3. Квантовая интерференция.

Слабая локализация в неупорядоченных системах. Интерференция на возвратных траекториях, удвоение вероятности возврата. Поправки к проводимости в трёхмерном, двумерном и одномерном случаях. Подавление слабой локализации магнитным полем, отрицательное магнетосопротивление. Экспериментальные результаты для тонких плёнок.

##### 4. Андреевское отражение.

Основные факты про сверхпроводимость и теорию БКШ. Уравнения Боголюбова – де Жена. Андреевское отражение от идеальной NS границы. Тезисно: перекрёстное андреевское отражение, нелокальная проводимость, point-contact Andreev reflection spectroscopy и измерение спиновой поляризации. Андреевская проводимость неидеальной NS-границы, подход ВТК (Blonder, Tinkham, Klarwijk). Андреевские уровни в коротком SNS-контакте (метод матрицы рассеяния). Джозефсоновский ток в этой системе. Общие факты об эффекте Джозефсона. MAR (многократное андреевское отражение) в идеальном SNS-контакте. Диссипативный ток и ВАХ.

5. Стационарный эффект Джозефсона. Уравнения Гинзбурга-Ландау.

Граничные условия. Туннельный SIS-контакт. Эффект близости в SINIS-контакте. Эффект Джозефсона в SINIS-контакте. Теория Асламазова-Ларкина для контакта с сужением.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Турбулентность в космической плазме**

#### **Цель дисциплины:**

Знакомство студентов с основными идеями, методами и результатами в теории турбулентности плазмы.

#### **Задачи дисциплины:**

Приобретение студентами способности параметрического анализа процессов турбулентности плазмы и выбора подхода для решения конкретных задач в космической плазме.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основы теории линейных и нелинейных волновых процессов в магнитоактивной плазме.

##### **уметь:**

анализировать спутниковые данные по измерениям волн и потоков заряженных частиц, формулировать и решать соответствующие волновые задачи.

##### **владеть:**

основными методами и подходами к решению линейных и нелинейных волновых задач физики космической плазмы.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Волны в холодной магнитоактивной плазме

1. Тензор проводимости и тензор диэлектрической проницаемости холодной магнитоактивной плазмы. Общая система уравнений для электромагнитного поля в холодной магнитоактивной плазме в линейном приближении.

2. Общее дисперсионное соотношение и поляризационные коэффициенты. Дисперсионное соотношение и поляризация волн в случае продольного распространения. Резонансные

частоты и частоты отсечки для различных соотношений между плазменной ( $\omega_p$ ) и циклотронной ( $\omega_c$ ) частотами.

3. Волновые моды в холодной магнитоактивной плазме: альвеновские волны, магнитозвуковые волны, свистовые волны, Z-мода, обыкновенная и необыкновенная волны. Свистовые волны в приближении  $\omega_p^2 \gg \omega_c^2$ . Угол Жандрэна. Теорема Стори.

4. Квазиэлектростатические (продольные) волны в холодной магнитоактивной плазме. Дисперсионные соотношения для квазиэлектростатических ниже-гибридных и выше-гибридных волн.

## 2. Нелинейные волновые процессы в однородной плазме

1. Основные предположения и уравнения квазилинейной теории. Система уравнений квазилинейной теории для ленгмюровских волн.

2. Нелинейная теория затухания Ландау для ленгмюровской волны: приближение заданного поля, теория О'Нила. Теория резонансного взаимодействия волн и частиц в магнитоактивной плазме в случае продольного распространения: уравнение для энергии волны, кинетическое уравнение для резонансных частиц и его решение, вычисление инкремента.

3. Резонансное взаимодействие волн и частиц в случае распространения волны под углом к внешнему магнитному полю. Приближение изолированных резонансов. Перекрытие резонансов, критерий Чирикова возникновения стохастичности.

## 3. Резонансное взаимодействие волн и частиц в неоднородной плазме

1. Движение частиц во внешнем слабо неоднородном магнитном поле. Поперечный адиабатический инвариант (магнитный момент). Дипольное магнитное поле. Дипольные координаты и коэффициенты Ламэ. Движение частиц в дипольном магнитном поле. Питч-угол и питч-угол конуса потерь.

2. Основные уравнения теории резонансного взаимодействия волн и частиц в неоднородной плазме: уравнение для амплитуды волнового пакета, уравнения движения и функция распределения резонансных частиц, уравнение для инкремента волны.

3. Аналогия в теории резонансного взаимодействия частиц с ленгмюровскими волнами и свистовыми волнами, распространяющимися вдоль внешнего магнитного поля. Случай сильной и слабой неоднородности. Решение уравнений движения резонансных электронов в случае сильной неоднородности. Качественный анализ движения резонансных электронов в случае слабой неоднородности. Ускорение электронов свистовыми волнами в магнитосфере.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Тяжелые адроны**

#### **Цель дисциплины:**

Данный курс знакомит студента с основными экспериментальными открытиями, создавшими основу современной теории элементарных частиц, а также экспериментами, нацеленными на доскональную проверку существующей и поиск последующей теории. Он создает необходимую базу для формирования знаний по экспериментальной физике высоких энергий, важнейших экспериментах в этой области, и логике создания теории на основе экспериментальных знаний, об устройстве и работе основных экспериментальных установок.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование знаний по истории и логике построения Стандартной модели на основе экспериментальных открытий XX века;
- формирование знаний по современной физике ароматов и экспериментам в этой области;
- формирование знаний по основным результатам, полученным в экспериментах по прецизионной проверке Стандартной модели (LEP, B-фабрики, лептонные эксперименты) и поиску новой физики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

содержание предмета курса «Тяжелые адроны», соответствующую терминологию и понятийный аппарат. Основные эксперименты в физике частиц, послужившие развитию теории, их мотивировку, постановку, методику обработки данных, результаты и их интерпретацию. Иметь представление об истории и логике постановки экспериментов.

##### **уметь:**

интерпретировать экспериментальные результаты в области физики слабого и сильного взаимодействий, тяжелых кварков, интерпретировать экспериментальные результаты, полученных на LEP, B-фабриках, других экспериментов при промежуточных энергиях (CPLEAR, kTeV, Argus, CLEO).

**владеть:**

методикой анализа данных, набираемых при промежуточных энергиях и LEP.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Слабые взаимодействия

Неделя 1. Открытие beta-распада, определение природы излучения в beta-распаде, открытие непрерывного спектра beta-электронов, гипотеза нейтрино, 4-х фермионный лагранжиан слабого взаимодействия.

Неделя 2. Эксперименты, определившие тензорную (векторную и аксиальную) структуру слабых токов. Пространственная четность. Открытие нарушения пространственной четности в слабых распадах. V-A теория. Сохранения векторного тока.

## 2. Сильные взаимодействия

Неделя 3. Зарядовая независимость ядерных сил. Изоспин. Теория Юкавы. Открытие пи-мезонов. Определение их свойств (спин, четность).

Неделя 4. Классификация мезонов и барионов в SU(2) и SU(3). Формула Гелл-Манна-Нишиджимы. Кварки. Цвет.

## 3. Странные частицы

Неделя 5. Зарядовая четность. K<sup>0</sup>-анти-K<sup>0</sup>-осцилляции. Открытие KL мезона. Регенерация KS в веществе. Лептонные, полулептонные и адронные распады странных частиц. Открытие CP-нарушения в K<sup>0</sup>-мезонах.

Неделя 6. Непрямое и прямое CP-нарушение в распадах K<sup>0</sup>-мезонов. Измерение параметров непрямого CP нарушения,  $\epsilon$  и  $\phi$ , и параметра прямого нарушения,  $\epsilon'$ , в экспериментах CPLEAR, KTeV, NA-48.

## 4. Стандартная модель

Неделя 7. Обнаружение нейтральных токов в экспериментах по рассеянию нейтрино. Обнаружение промежуточных векторных бозонов в эксперименте UA1. Свойства W- и Z-бозонов.

Неделя 8. Эксперименты на ускорителе LEP. Измерение параметров Z-бозона. Глобальный фит Стандартной модели. Поиск хиггсовского бозона и явлений за пределами Стандартной Модели в экспериментах на LEP.

## 5. Лептоны

Неделя 9. Аномальный магнитный момент мюона. Вычисление электрослабых поправок к g мюона. Экспериментальное определение сильных поправок. Эксперимент по измерению g-2 мюона. Обсуждение результатов измерения. Будущие эксперименты. Измерение параметров Мишеля в распадах мюона. Поиск распадов мюона с нарушением лептонного числа.

Неделя 10.  $\tau$ -лептон. Основные методы, регистрации и выделения  $\tau$ -лептонов. Рождение  $\tau$ -лептонов в  $e^+e^-$  аннигиляции. Проверка лептонной универсальности в распадах  $\tau$ -лептонов. Лептонные и адронные распады. Адронные распады  $\tau$ -лептона.  $\tau$ -нейтрино. Верхний предел на его массу.

## 6. Кварконий

Неделя 11. Эксперименты, исследовавшие  $J/\psi$  и  $\Upsilon$ -резонансы. Измерение массы, электронной и полной ширины резонансов. Спектроскопия и распады тяжелого кваркония. Новые мезоны со скрытым очарованием ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  и др.).

## 7. Тяжелые адроны

Неделя 12. Очарованные адроны, основные и возбужденные состояния. Диаграммы распадов. Измерение времен жизни очарованных адронов Лептонные распады  $D$ -мезонов, определение констант распада. Полулептонные и адронные распады. Измерения абсолютных вероятностей распадов  $D$ -мезонов.

Неделя 13.  $B$ -мезоны, основные состояния и состояния с  $L=1$ . Измерения массы, времени жизни. Полулептонные и адронные распады  $B$ -мезонов. Измерение элементов  $V_{cb}$  и  $V_{ub}$ . Методы неполного восстановления  $B$ -мезона. Изучение распадов  $B$ -мезонов, идущих через пингвинные диаграммы. Барионы, содержащие  $b$ -кварк.

Неделя 14. Смешивание в системе нейтральных  $B$ -мезонов и  $B_s$ -мезонов. Изучение осцилляций на  $e^+e^-$  машинах в области  $\Upsilon(4S)$  и при высоких энергиях; на адронных машинах. CP-нарушение в  $B$ -мезонах. Треугольник унитарности. Измерение параметров СКМ матрицы.

Неделя 15. Поиск Новой физики в распадах  $B$ -мезонов. Будущие эксперименты и их чувствительность к Новой физике. Обзор курса.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Упорядоченные многочастичные состояния в конденсированных средах**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами фундаментальных знаний об упорядоченных многочастичных состояниях, спонтанно возникающих в кристаллических телах, а также изучение базовых подходов и методов теоретического анализа таких состояний, ознакомление с экспериментальными методами изучения упорядочения в конденсированных средах.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний и представлений о современном состоянии исследований упорядоченных состояний в конденсированных средах;
  - на основе общефизической и общетеоретической подготовки студентов выработать единый подход к пониманию спонтанного нарушения симметрии в многочастичных системах;
  - изучить основные механизмы возникновения спонтанного упорядочения;
  - обучение студентов навыкам применения полученных знаний для решения базовых задач, связанных с упорядоченными электронными состояниями;
  - формирование подходов к выполнению студентами своих исследований в рамках выпускных работ на степень магистра, расширение общенаучного кругозора.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- современное состояние экспериментальных исследований упорядоченных состояний в твердых телах;
- наиболее активно исследуемые виды упорядоченных состояний и методы их регистрации;
- наиболее распространенные теоретические модели упорядоченных состояний;
- понятийный аппарат, используемый для описания спонтанного нарушения симметрии.

##### **уметь:**

- анализировать экспериментальные фазовые диаграммы;

- анализировать модели описания упорядоченных состояний;
- строить фазовые диаграммы для многопараметрических систем.

**владеть:**

- базовыми навыками работы с профессиональной информацией.

**Темы и разделы курса:**

1. Спонтанное нарушение симметрии на примере волны зарядовой плотности. Многообразие систем с волной зарядовой плотности.

На примере волны зарядовой плотности проиллюстрировать сущность спонтанного нарушения симметрии. Установить связь между формальной теоретико-групповой и общефизической сторонами явления. Привести и обсудить примеры волны зарядовой плотности в кристаллах.

2. Общее понятие спонтанно нарушенной симметрии.

Формально ввести математический аппарат, применяемый для описания спонтанного нарушения симметрии. Ввести понятия основного состояния гамильтониана, группы симметрий гамильтониана, группы симметрий основного состояния. Проиллюстрировать неэквивалентность групп симметрий гамильтона и основного состояния.

3. Упорядоченные состояния в конденсированных средах.

Привести примеры различных типов спонтанного нарушения симметрии, а также примеры наиболее очевидных экспериментальных проявлений нарушения симметрии. Рассмотреть волны зарядовой и спиновой плотности, ферромагнетизм, нематичность, сверхпроводимость.

4. Экспериментальные методы изучения упорядоченных состояний.

Привести примеры различных методов экспериментальных исследований состояний со спонтанно нарушенной симметрией (дифракционные спектроскопии, термодинамические измерения, транспортные измерения, одноэлектронные спектроскопические методы, и другие). Прямые и непрямые методы регистрации нарушения симметрии.

5. Теория Ландау фазовых переходов второго рода.

Ввести понятие параметра порядка, свободной энергии Ландау. Установить связь между теорией Ландау и теоретико-групповым формализмом. Проанализировать простейшие свойства фазового перехода, описываемого теорией Ландау.

6. Свободная энергия Ландау для множественных упорядоченных фаз. Понятие конкурирующих и сосуществующих фаз.

Обобщить теорию Ландау для случая нескольких параметров порядка. Изучить возможные типы взаимодействия между неэквивалентными параметрами порядка. Конкуренция и сосуществование фаз. Понятие кроссовера.

7. Краткий обзор микроскопической теории и соответствующего понятийного аппарата.

Опираясь на знания, полученные студентами в рамках курса статистической физики, проиллюстрировать возникновение волн плотности в системах со сложной поверхностью Ферми. Ввести понятие нестинга.

8. Современное состояние исследований упорядоченных состояний.

Используя современную исследовательскую литературу, рассказать о современных тенденциях в области исследований упорядоченных состояний в конденсированных средах, о новых методах и задачах.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Управляемый термоядерный синтез**

#### **Цель дисциплины:**

- изучение основ физики высокотемпературной плазмы и ядерных реакций синтеза с приобретением навыков применения полученных знаний в исследовательских работах. Основные работы ведутся в направлении решения энергетических проблем современного общества, но следует также отметить и бурное развитие целого ряда важнейших прикладных задач, базирующихся на создании высокотемпературной плазмы в земных лабораториях для всестороннего исследования поведения веществ в экстремальных условиях. Полученные знания, подкрепленные выполнением магистерской диссертации на действующих плазменных термоядерных установках с самыми современными средствами диагностики.
- развитие творческой активности молодых магистров в областях физики высокотемпературной плазмы и ее применениями.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами базовых знаний в областях физики и техники высокотемпературной плазмы применительно к термоядерным системам с магнитным и инерциальным удержанием горячей плазмы;
- приобретение знаний о состоянии и перспективах развития различных подходов к реализации демонстрационного термоядерного реактора и ознакомление с применяемыми диагностическими методами и средствами; обсуждение на семинарах наиболее интересных новых результатов и предложений, публикуемых в научных журналах;
- приобретение навыков применения полученных знаний в смежных и междисциплинарных научных областях (плазменные двигатели, рентгеновские лазеры, мощные источники нейтронов).

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- порядки численных величин, характерные для физики горячей плазмы и атомной физики;
- современные проблемы физики;

- общие подходы к решению прикладных и теоретических задач УТС.

**уметь:**

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных и технологических задач;
- делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области, теоретические подходы и экспериментальные методики;
- получать наилучшие значения параметров термоядерных плазменных и иных электрофизических установок различного назначения и правильно оценивать степень их достоверности;
- эффективно использовать полученные знания, имеющиеся методы решения задач экспериментальной физики для достижения необходимых теоретических и прикладных результатов.

**владеть:**

- навыками освоения большого объема информации;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления с теоретическими данными;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач.

**Темы и разделы курса:**

1. Энергетические проблемы современного Мира.

Энергетические проблемы современного Мира. Роль и место ядерной энергетики с реакциями синтеза ядер легких элементов.

2. Зависимость сечений DD и DT реакций от энергии.

Зависимость сечений DD и DT реакций от энергии. Создание горячей (термоядерной) плазмы.

### 3. Термоядерный реактор с нулевой полезной мощностью.

Термоядерный реактор с нулевой полезной мощностью. Критерий Лоусона и классификация т/я систем по способам удержания плазмы и методам ее нагревания.

### 4. Управляемый т/я синтез (УТС) с инерционным удержанием плазмы.

Управляемый т/я синтез (УТС) с инерционным удержанием плазмы. Общие принципы. Мощные лазеры и генераторы сильноточных пучков заряженных частиц.

### 5. Физические проблемы лазерного т/я синтеза.

Физические проблемы лазерного т/я синтеза. Режимы сжатия и нагревания т/я топлива. Реализация т/я горения в мишенях прямого и непрямого облучения.

### 6. Z-пинч и тета-пинч разряды.

Z-пинч и тета-пинч разряды. Нейтронное и жесткое рентгеновское излучение мощных импульсных разрядов. Лайнерные системы.

### 7. Адиабатические магнитные ловушки с магнитными пробками.

Адиабатические магнитные ловушки с магнитными пробками. Общие принципы, заполнение ловушек плазмой, гидродинамич. и кинетические неустойчивости и ловушки с минимумом В.

### 8. Магнитные ловушки с замкнутыми силовыми линиями.

Магнитные ловушки с замкнутыми силовыми линиями. Вращательное преобразование магнитного поля. Стелларатор и токамак- основные принципы равновесия и устойчивости тороидального плазменного столба.

### 9. Общие принципы, устройство и назначение основных элементов и узлов установки токамак.

Общие принципы, устройство и назначение основных элементов и узлов установки токамак. Применяемые методы диагностики и полученные результаты.

### 10. Инженерные проблемы т/я реакторов на основе токамака и систем с инерционным удержанием плазмы.

Инженерные проблемы т/я реакторов на основе токамака и систем с инерционным удержанием плазмы. Данные по сооружаемому Международному экспериментальному реактору токамаку ITER и результаты, полученные на крупнейшей лазерно термоядерной установке NIF (США).

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Фазовые переходы и критические явления**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний в области современной теории фазовых переходов и критических явлений, основанной на точных результатах для модельных систем и на применении методов ренормализационной группы и конформной теории поля. Будут представлены теории термодинамического и конечномерного подобия, статистико-механического эффекта Казимира.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области статистической физики классических и квантовых систем многих, сильно взаимодействующих частиц;
- обучение студентов современным методам теоретического описания фазовых переходов и критического состояния вещества;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований в области статистической физики в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- феноменологию фазовых переходов;
- определение параметра дальнего порядка в микроскопической теории;
- определение критических показателей при фазовом переходе второго рода;
- основы подхода ренормализационной группы к критическим явлениям;
- масштабные преобразования корреляционных функций;
- гипотезы универсальности и скейлинга;
- особенности перехода от решеточных к континуальным моделям;
- определения и свойства группы конформных преобразований;
- конформные преобразования метрического тензора;
- определение тензора напряжений и его свойства;

- коммутационные соотношения алгебры Вирасоро;
- определение образующих алгебры Вирасоро через действие тензора напряжений;
- определение и свойства первичных полей;
- структуру операторной алгебры локальных полей;
- разложения операторных произведений и их свойства;
- конформное тождество Уорда;
- условие существования минимальных конформных теорий поля и их свойства;
- первичные поля для двумерной модели Изинга в скейлинговом пределе;
- эффекты конечных размеров на свободную энергию системы.

**уметь:**

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной статистической физики - теории фазовых переходов и критических явлений.

**владеть:**

- методом масштабных преобразований в реальном пространстве;
- техникой вычисления основных критических показателей;
- методом ренормализационной группы в реальном пространстве;
- методом перехода от решеточной к континуальной теории;
- техникой конформных преобразований корреляционных функций;
- техникой преобразования классического действия при произвольном преобразовании координат.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение. Фазовые переходы.

Корреляционные функции равновесных систем. Связь корреляционных функций с макроскопическими характеристиками системы. Цепочка уравнений Боголюбова.

Термодинамические фазы и переходы между ними. Метод квазисредних и его обобщения. Классификация сингулярностей термодинамических функций.

2. Критические показатели. Теория Ли и Янга.

Выбор параметра дальнего порядка. Критические показатели и соотношения между ними.



Распределение нулей статистической суммы для моделей типа Изинга в плоскости комплексного поля. Электростатическая аналогия.

### 3. Теория конечномерного подобия. Критический эффект Казимира.

Эффекты конечных размеров в окрестности критической точки. Феноменологическая теория конечномерного подобия.

Асимптотика плотности свободной энергии для слоя конечной толщины в окрестности критической точки. Эффект Казимира для скалярного и векторного параметра порядка.

### 4. Метод ренормализационной группы.

Основы метода ренормализационной группы – масштабные преобразования Каданова и их применение к одномерной модели Изинга.

Общая формулировка метода ренормализационной группы для исследования критических явлений. Поток критических траекторий в неподвижную точку. Классификация переменных. Гипотезы универсальности и скейлинга.

### 5. Конформные преобразования. Тензор напряжений.

Преобразование метрического тензора. Определение конформной группы. Конформные преобразования в пространстве с размерностью больше двух.

Определение тензора напряжений и его свойства.

### 6. Алгебра Вирасоро. Структура операторной алгебры локальных полей.

Определение образующих алгебры Вирасоро через действие тензора напряжений на локальные поля. Коммутационные соотношения алгебры. Центральный заряд.

Определение и свойства первичных полей. Конформные блоки, конформные веса вторичных полей, выбор базиса. Структура операторной алгебры локальных полей.

### 7. Разложения операторных произведений. Конформное тождество Уорда.

Разложения операторных произведений и их свойства. Сингулярное поведение структурных констант.

Преобразование корреляционных функций первичных полей при бесконечно малом преобразовании координат. Конформное тождество Уорда.

### 8. Минимальные конформные теории поля. Первичные поля для двумерной модели Изинга.

Условие существования минимальных конформных теорий поля и их свойства. Спектр Каца. Параметризация центрального заряда и конформных весов.

Модель Изинга как минимальная модель  $M(3/4)$ . Её первичные поля, их конформные веса и физическая интерпретация. Поведение парных корреляционных функций для этих полей.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Фемтосекундные лазеры в науке, технике и биомедицине**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины «Фемтосекундные лазеры в науке, технике и биомедицине» является формирование базовых знаний по фемтосекундной лазерной технике, а также областей их практического применения для дальнейшего использования в других областях физического знания и дисциплинах естественнонаучного содержания; формирование физической культуры, исследовательских навыков и способности применять знания на практике.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся базовых знаний по фемтосекундной лазерной технике и областям ее применения;
- формирование общефизической культуры;
- формирование умений и навыков применять полученные знания для решения физических задач и разработки новых технологий, самостоятельного анализа полученных результатов.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- принципы работы фемтосекундных лазерных систем;
- особенности взаимодействия фемтосекундных лазерных импульсов с веществом;
- основы применения излучения фемтосекундных лазеров в науке, технике, биомедицине.

##### **уметь:**

- объяснять принципы построения фемтосекундных лазерных систем;
- представлять панораму применения излучения фемтосекундных лазеров в науке, технике, биомедицине;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

##### **владеть:**

– различными методиками диагностики быстропротекающих процессов.

## **Темы и разделы курса:**

### **1. Фемтосекундные лазеры, мощные фемтосекундные лазерные системы**

Генерация фемтосекундных лазерных импульсов (ФЛИ), импульсно-периодические фемтосекундные лазеры с высокой частотой повторения, мощные фемтосекундные лазерные системы, принцип действия и устройство. Распространение лазерного излучения через оптическую систему. Генерация оптических гармоник. Преобразование мощных ФЛИ в когерентные импульсы терагерцового излучения. Филаментация фемтосекундного лазерного излучения в атмосфере.

### **2. Приборы и методы исследования быстропротекающих процессов с фемтосекундным временным разрешением**

Измерение параметров ФЛИ. Метод «pump-probe» измерений. Оптическая микроскопия, эллипсометрия, интерференционная микроскопия с фемтосекундным временным разрешением

### **3. Физика процессов взаимодействия мощного фемтосекундного лазерного излучения с конденсированными средами**

Неравновесный нагрев и релаксация электронов и решётки в металлах при воздействии ФЛИ. Явления, происходящие при образовании двухтемпературного состояния электронов и решётки (тепловое излучение горячих электронов металла). Сверхбыстрые фазовые превращения в металлах, полупроводниках и графите. Образование и релаксация электрон-дырочной плазмы в полупроводниках. Субпикосекундная лазерная абляция. Генерация ультракоротких ударных волн. Сдвиговая и откольная прочность металлов при экстремально высоких скоростях деформации.

### **4. Динамика образования и разлёта неидеальной лазерной плазмы**

Образование плазмы при воздействии ФЛИ на твердотельные мишени. Параметр неидеальности. Генерация характеристического и тормозного рентгеновского излучения. Лазерное ускорение ионов.

### **5. Фемтосекундные лазерные технологии**

Фемтосекундная лазерная технологическая система для прецизионной обработки материалов. Технологии поверхностной микрообработки: резка и профилирования различных материалов, наноструктурирование поверхности. Технологии объемной микрообработки: создание полных каналов и волноводов в диэлектриках.

### **6. Фемтосекундные лазеры в биологии и медицине**

Лазерные пинцеты и фемтосекундные скальпели, принцип действия и устройство. Методы калибровки силы захвата и жесткости оптической ловушки. Лазерная микро- и нанохирургия в эмбриологии. Лазерное слияние (гибридизация) клеток. Лазерная микроинъекция, оптическая трансфекция. Применение оптических пинцетов для исследования транспортных процессов в клетках.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Феноменология радиационных аварий**

#### **Цель дисциплины:**

- изучение радиационных аварий в Пенсильвании, ЧАЭС, ФУКУСИМА;
- изучение наиболее значимых радиационных инцидентов с закрытыми радионуклидными источниками, их радиологические, социальные и экономические последствия.

#### **Задачи дисциплины:**

- изучение общих закономерностей в причинах, протекании и последствиях радиационных аварий;
- осуществление сравнительного анализа рисков воздействия на здоровье населения радиации и химических канцерогенов;
- изучение опыта реагирования на радиационные аварии;
- изучение базовых моделей воздействия радиации на человека, флору и фауну.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- физические закономерности процессов переноса радионуклидов в атмосфере, гидросфере и литосфере и математические модели, описывающие эти процессы;
- методы оценки концентраций загрязнителей и их воздействия на человека;
- источники радиации в биосфере и радиоактивное загрязнение окружающей среды при использовании искусственных источников радиации;
- методики оценки дозовых нагрузок на население при использовании радиации в медицине и при получении энергии на АЭС.

##### **уметь:**

- использовать существующие методы расчетов миграции радионуклидов в окружающей среде и оценки дозовых нагрузок на население при выбросах и сбросах радионуклидов;

- оценивать ущерб и пользу применения радиационных технологий;
- определять целесообразность применения радиации в различных сферах деятельности;
- убедительно доказать экономическую и экологическую безопасность развития атомной энергетики.

**владеть:**

- способностью использовать полученные знания при оценке радиационной обстановки в окружающей среде для любого источника радиации;
- методами анализа уровня проектной документации с точки зрения оценки радиационного воздействия на объекты биосферы;
- умением разрабатывать оптимальные варианты использования радиационных технологий с точки зрения экологического состояния окружающей среды;
- способами оценки ущерба и пользы применения радиационных технологий.

**Темы и разделы курса:**

1. Авария на АЭС в Пенсильвании 1979 г.

Предпосылки и технические причины аварии.

Ошибки персонала.

Ход аварии.

Характеристики выброса радиоактивности в окружающую среду.

Радиационное загрязнение окружающей среды.

2. Авария на АЭС Фукусима-1 в 2011 г.

Предпосылки и технические причины аварии.

Ошибки персонала.

Ход аварии.

Характеристики выброса радиоактивности в окружающую среду.

Радиационное загрязнение окружающей среды.

3. Авария на ЧАЭС в 1986 г.

Предпосылки и технические причины аварии.

Ошибки персонала.

Ход аварии.

Характеристики выброса радиоактивности в окружающую среду.

Радиационное загрязнение окружающей среды.

4. Базовые модели воздействия радиации на человека, флору и фауну.

Данные эпидемиологических исследований когорт персонала и населения, облученных в результате аварий и инцидентов.

Японский регистр облученных в результате бомбардировок Хиросимы и Нагасаки.

Основные модели радиологических рисков (НКДАР ООН, МКРЗ). Половозрастные коэффициенты канцерогенных рисков.

5. Наиболее значимые радиационные инциденты с закрытыми радионуклидными источниками.

Радиационные инциденты с радионуклидными источниками в Бразилии и России.

Радиологические последствия.

Социально-экономические последствия инцидентов.

6. Общие данные по пострадавшим в радиационных авариях и инцидентах.

Регистры по радиационным инцидентам и авариям.

Пострадавшие в результате радиационных аварий и инцидентов в атомной энергетике, медицине, научно-исследовательских учреждениях и промышленности.

Инциденты с утерянными источниками.

7. Радиологические, социальные и экономические последствия аварии на Фукусима-1.

Дозы облучения персонала, участников ликвидации последствий аварии и населения.

Последствия радиационного облучения для персонала и населения.

Социальные и экономические последствия. Причины масштабирования негативных социально-экономических последствий.

8. Радиологические, социальные и экономические последствия аварии на ЧАЭС.

Дозы облучения персонала, участников ликвидации последствий аварии и населения.

Последствия радиационного облучения для персонала и населения.

Социальные и экономические последствия в России, Беларуси и на Украине. Причины масштабирования негативных социально-экономических последствий.

9. Реагирование на радиационные аварии. Опыт и уроки.

Опыт реагирования на Чернобыльскую аварию. Ошибки и уроки.

Опыт реагирования на аварию на АЭС Фукусима-1. Ошибки и уроки.

Роль научно-технического обеспечения реагирования на радиационные аварии.

10. Сравнительный анализ рисков воздействия на здоровье населения радиации и химических канцерогенов.

Исследования по сравнительному анализу канцерогенных рисков, связанных с облучением населения и химическим загрязнением окружающей среды.

Сопоставительный анализ канцерогенных рисков радиационной и химической природы по территориям размещения объектов атомной энергетики.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физика быстропротекающих газодинамических процессов**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний по гидродинамике, процессам горения и детонации газовых смесей применительно к проблеме водородной безопасности АЭС;
- изучение физических основ и механизмов разных режимов распространения горения в пространстве и выявление наиболее опасных с точки зрения безопасности АЭС.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение студентами базовых знаний в области химической кинетики, физики и химии горения газовых смесей;
- приобретение теоретических знаний в области гидродинамики – ударные волны, сверхзвуковые, дозвуковые течения;
- приобретение студентами знаний и навыков качественного анализа в задачах гидродинамики и теплофизики применительно к проблеме безопасности атомных станций.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- современные проблемы физики, химии, математики;
- порядки численных величин, характерные для различных разделов физики;
- порядки теплофизических параметров веществ;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и приложениях;
- фундаментальные понятия, законы, теории классической и современной физики;
- физические аспекты процессов горения и детонации газовых смесей;
- характерные значения теплофизических параметров материалов, используемых на АЭС.

##### **уметь:**

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных, прикладных задач и технологических задач;
- производить численные оценки по порядку величины;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- осваивать новые предметные области и теоретические подходы;
- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы.

#### **владеть:**

- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- методами оценки характерных параметров процессов;
- методами проверки с помощью анализа размерностей;
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач, относящихся к проблеме безопасности атомной энергетики;
- методами исследования гидродинамических течений реагирующих газов;
- методами анализа пределов существования детонации в газах.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Введение.

Водородная безопасность АЭС.

2. Горение газовых смесей.

Реакции окисления водорода. Цепной механизм. Период индукции.

Химическая кинетика. Скорости реакций, химическое равновесие.

Зависимость скорости реакции от температуры. Упрощенная кинетика реакции, «брутто-реакция». Характерные параметры, отличающие реакции горения.

Распространение горения в пространстве, дефлаграция. Нормальная скорость распространения пламени, отношение к скорости звука.

Законы сохранения для стационарного фронта пламени. Параметры газа за фронтом пламени.

Структура фронта пламени.

Распространение пламени в конечных объемах.

Наклонный фронт горения.

Самоускорение пламени. Неустойчивость фронта горения.

### 3. Ударные волны.

Образование ударных волн при эволюции больших возмущений. Ширина ударного фронта.

Соотношения Гюгонио.

Ударные волны малой интенсивности. Направление изменения величин в ударной волне. Ударная адиабата.

Асимптотическое поведение ударных волн. Волна разрежения.

### 4. Детонация газовых смесей.

Ударные волны в реагирующем газе. Структура фронта детонации.

Решение уравнений для стационарного потока с нагревом. Режим Чепмена-Жуге и пересжатые режимы.

Параметры детонации в политропном газе. Детонационная адиабата.

Распространение детонационной волны. Асимптотическая структура.

Концентрационные пределы распространения пламени и детонации. Скорость распространения на пределе.

Неустойчивость детонации. Трехмерная структура детонации.

Критическая энергия инициирования.

### 5. Детонация в двухфазной газокапельной системе.

Основные уравнения.

Замыкающие соотношения.

Условия существования детонации в двухфазной системе.

Медленные детонационные режимы в двухфазных средах.

**Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**Физика горных пород и математическое моделирование физических полей в геологической среде**

**Цель дисциплины:**

Знакомство с основами теории эффективных сред и методами расчета эффективных физических (в основном, упругих) свойств горных пород.

**Задачи дисциплины:**

1. Получение студентами опыта использования аппарата теории эффективных сред для решения прикладных задач, связанных с определением эффективных физических свойств горных пород в различных масштабах, с учетом возможной анизотропии этих свойств.

2. Ознакомление студентов с основными этапами построения математических моделей эффективных физических свойств горных пород.

**Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

базовые теоретические положения теории эффективных сред; основные этапы и принципы построения математических моделей эффективных физических свойств (в основном, упругих) горных пород с учетом их разномасштабного строения; основные методы расчета эффективных физических свойств горных пород.

**уметь:**

строить разномасштабные математические модели эффективных упругих свойств горных пород с учетом их анизотропии.

**владеть:**

математическим аппаратом теории эффективных сред; основными методами определения разномасштабных эффективных упругих свойств горных пород.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Введение

Предмет теории эффективных сред. Понятия микро- и макромасштаба, представительного объема, статистической однородности. Понятие эффективной среды и эффективных физических свойств. Горная порода как микронеоднородная и макроскопически однородная среда. Разномасштабное строение горных пород. Основные масштабы изучения физических свойств горных пород – коллекторов углеводородов. Анизотропия и неоднородность. Причины анизотропии физических свойств горных пород в разных масштабах. Понятие математической модели эффективных физических свойств горных пород. Примеры построения разномасштабных математических моделей эффективных упругих свойств пород-коллекторов углеводородов.

## 2. Основы тензорной алгебры и основные понятия теории упругости

Понятие тензора. Ранг тензора. Примеры тензоров различного ранга. Свободные и немые индексы. Основные правила тензорной алгебры. Понятие тензорной свертки, примеры. Тензоры напряжений, деформаций. Тензоры упругости и податливости. Закон Гука для произвольной анизотропной среды. Симметрия тензоров напряжений, деформаций, упругости и податливости. Матричная запись тензора упругости. Типы упругой симметрии и примеры геофизических сред различных типов симметрии. Преобразование компонент тензора при повороте декартовой системы координат.

Тема самостоятельной работы студентов: запись свертки тензоров упругости и податливости через компоненты матриц упругости и податливости различного типа симметрии.

## 3. Основы построения решения для эффективных упругих свойств микронеоднородных сред

Общий подход к построению решения для эффективных упругих свойств. Физические основы методов Фойгта и Ройсса. Границы для эффективных модулей упругости произвольной анизотропной среды. Метод Фойгта-Ройсса-Хилла. Углы Эйлера. Эффективные упругие свойства поликристаллов.

## 4. Методы математического моделирования эффективных упругих свойств порово-трещиноватых сред

Методы моделирования эффективных упругих свойств изотропных порово-трещиноватых сред, включая породы – коллекторы углеводородов. Методы моделирования, основанные на решении Эшелби, применимые для общего случая анизотропных сред. Специальные методы для моделирования эффективных анизотропных упругих свойств пород с ориентированными флюидонасыщенными трещинами. Параметры Томсена. Расчет скоростей упругих волн в анизотропных средах.

Тема самостоятельной работы студентов: расчет границ эффективных модулей упругости и скоростей упругих волн для моделей коллекторов-углеводородов методами Фойгта и Ройсса. Расчет эффективных модулей упругости и скоростей упругих волн для моделей изотропных пород – коллекторов углеводородов различными методами.

## 5. Математическое моделирование эффективных упругих свойств горных пород в масштабе сейсмических работ

Тонкослоистые среды. Метод Бейкуса. Решение задачи флюидозамещения: методом Гассмана для изотропных пород, методом Брауна-Корринги для анизотропных пород.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физика за пределами Стандартной Модели**

#### **Цель дисциплины:**

Дать представление об основных направлениях возможного развития физики элементарных частиц за пределы стандартной модели.

#### **Задачи дисциплины:**

Основные подходы к расширению стандартной модели, их особенности и проблемы, возможные феноменологические проявления.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Основы теории представлений групп Ли, в частности групп Лоренца и Пуанкаре.

Основы стандартной модели.

##### **уметь:**

Работать с неприводимыми представлениями групп (произведение, разложение на неприводимые).

Определять уравнения движения для заданного лагранжиана и исследовать свойства симметрии.

##### **владеть:**

методами построения конечномерных представлений алгебры;

техникой работы со спинорными обозначениями.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Стандартная модель

Классификация адронов (цвет, изоспин, гиперзаряд, кварковая модель)

Теории Янга-Миллса

Треугольные аномалии и их отсутствие в СМ

Спонтанное нарушение калибровочной симметрии

Вопросы к стандартной модели

2. Лево-право симметричные модели

Зеркальные фермионы

Простейшая лево-право симметричная модель

Модель Пати-Салама (лептоны как четвертый цвет)

3. Теории великого объединения

Модель SU(5)

Модель SO(10)

4. Глобальные суперсимметрии

Понятие супермультиплетов

Примеры суперсимметричных моделей

Спонтанное нарушение суперсимметрии

Минимальная суперсимметричная стандартная модель

Мягко нарушающие суперсимметрию члены

5. Локальные суперсимметрии

Безмассовая частица со спином 2 и гравитация

Безмассовая частица со спином 3/2 и супергравитация

Спонтанное нарушение локальной суперсимметрии и генерация мягко нарушающих членов

Попытка построения суперединых теорий в рамках расширенных супергравитаций

6. Высшие размерности

Размерная редукция

Спонтанная компактификация

Калибровочные симметрии из геометрии

Многомерные супергравитации

Гравитация на ускорителе?

Жизнь на "бране"



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физика лазеров**

#### **Цель дисциплины:**

– дать студентам 1 курса магистратуры представление о классической газодинамике и о влиянии газодинамических процессов на характеристики газовых лазеров.

#### **Задачи дисциплины:**

Формирование базовых знаний в области физики лазеров.

Ознакомить будущих специалистов с экспериментальными исследованиями газодинамических и химических кислород-йодных лазеров.

Сформировать умение решения задач газодинамики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- законы сохранения в рамках одномерной газодинамики;
- устройство и характеристики газодинамических лазеров гомогенного и смесового типов;
- устройство и характеристики химических кислород-йодных лазеров;
- иметь представление о соотношениях параметров течения газа и жидкости в рамках одномерной газодинамики;
- иметь представление о кинетике релаксационных процессов;
- иметь представление об экспериментальных установках и методах исследований газодинамических лазеров и химических кислород-йодных лазеров.

##### **уметь:**

- оценивать параметры газовых течений в рамках одномерной газодинамики;
- выбирать параметры для экспериментальных установок;
- проводить экспериментальные измерения;

- излагать результаты экспериментов в виде научно-технического отчета.

**владеть:**

- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей;
- математическим моделированием физических задач.

**Темы и разделы курса:**

1. Газодинамика - наука о движении газов

Введение. Газодинамика - наука о движении газов. История создания классической газодинамики. Современная «физическая» газодинамика.

2. Газовые лазеры, их типы

Роль газодинамики в лазерных процессах. Схема газодинамического лазера. История газодинамического лазера.

3. Одномерная газодинамика, законы сохранения

Уравнение сохранения массы. Уравнение сохранения энергии.

4. Некоторые формулы термодинамики

Соотношение Роберта Майера. Адиабатический процесс. Уравнение Пуассона. Адиабатические соотношения. Выражение для скорости звука.

5. Уравнение энергии в безразмерном виде

Уравнение энергии в безразмерном виде. Число Маха. Коэффициент скорости. Изэнтропическое течение. Газодинамические функции.

6. Уравнение энергии в механической форме, уравнение Бернулли

Уравнение энергии в механической форме, уравнение Бернулли. Функция приведенного расхода. Формула расхода. Измерение скорости потока с помощью трубки Пито. Применение формулы для давления в потоке.

7. Общая формула расхода

Общая формула расхода. Закон сохранения импульса. Его применение.

8. Соотношения на скачках уплотнения (ударных волнах)

Соотношения на скачках уплотнения (ударных волнах). Потери полного давления в прямом скачке.

#### 9. Соотношения на косом скачке

Соотношения на косом скачке. Потери полного давления в косом скачке. Сопла для ускорения газового потока. Течение подогреваемого газа по трубе постоянного сечения.

#### 10. Принцип действия газодинамических лазеров

Принцип действия газодинамических лазеров. Типы газодинамических лазеров. Газодинамические лазеры с заранее перемешанной смесью. Требования к соплам газодинамических лазеров. Представления о кинетике газодинамических лазеров на  $\text{CO}_2$ .

#### 11. Энергетические характеристики газодинамических лазеров

Характеристики лазеров с заранее перемешанной смесью. Принцип действия смесевых газодинамических лазеров. Требования к системам смешения и смесевым соплам.

#### 12. Энергетические характеристики газодинамических лазеров на $\text{N}_2\text{O}$

Энергетические характеристики газодинамических лазеров смесевого типа. Другие излучающие молекулы.

#### 13. Химико-газодинамические лазеры

Химико-газодинамические лазеры. Использование газодинамических процессов в химических лазерах. Принцип действия химического кислород-йодного лазера. Представление о кинетике.

#### 14. Генераторы синглетного кислорода

Генераторы синглетного кислорода. Принцип действия. Требования к генераторам синглетного кислорода.

#### 15. Энергетические характеристики генераторов синглетного кислорода

Схемы организации потоков жидкости и газов.

#### 16. Организация смешения потоков в химических кислород-йодных лазерах

Организация смешения потоков в химических кислород-йодных лазерах. Влияние способов смешения на энергетические характеристики. Требования к организации смешения.

#### 17. Энергетические характеристики химических кислород-йодных лазеров

Энергетические характеристики химических кислород-йодных лазеров. Зависимости лазерных характеристик от давления. Общие требования к конструкции химического кислород-йодного лазера.

#### 18. Перспективы развития химических йодных лазеров

Применения и перспективы химических йодных лазеров.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физика легких кварков и киральная динамика**

#### **Цель дисциплины:**

Дать представление о современных проблемах физики частиц и методах исследования этих проблем, выходящих за рамки стандартной квантовополевой теории возмущений по перенормированной константе связи. Курс построен так, чтобы создать надежный базис для самостоятельного углубленного изучения этих проблем.

Курс рассчитан на студентов, специализирующихся в физике высоких энергий. Для усвоения курса студенты должны быть знакомы с основами квантовой теории поля, элементами теории групп и теории обобщенных функций. Многие математические вопросы, связанные с излагаемой тематикой, обсуждаются в самом курсе.

#### **Задачи дисциплины:**

– формирование у обучающихся базовых знаний по непертурбативные проблемы физики частиц.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

– основные черты динамики легких кварков и основные модели киральной динамики.

##### **уметь:**

– использовать аппарат киральной динамики для описания свойств легких кварков.

##### **владеть:**

– методом эффективного потенциала для описания спонтанного нарушения симметрии.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Глобальные симметрии квантовой хромодинамики и легкие кварки.

Симметрии лагранжиана КХД и киральный предел

Киральная симметрия сильных взаимодействий и ее спонтанное нарушение

2. Функциональный формализм квантовой теории поля.

Корреляционные функции и производящий функционал.

Эффективное действие и эффективный потенциал.

Квазиклассическое разложение и спонтанное нарушение симметрии.

3. Динамика спонтанного нарушения киральной симметрии.

Пион как квазиголдстоуновский бозон.

Динамическое нарушение симметрии и кварковый киральный конденсат.

Сигма – модель как эффективная модель КХД.

Частичное сохранение аксиального тока и теоремы о мягких пионах.

Соотношение Гольдбергера – Треймана.

Нелинейная сигма – модель и пион – пионное рассеяние.

Кварковая модель Намбу – Иона-Лазинио как эффективная динамическая модель КХД для легких кварков.

Псевдоскалярный нонет и  $U(1)$  – проблема.

4. Аксиальные аномалии.

Проблема кирального предела в распаде  $\pi \rightarrow \gamma\gamma$ .

Аномалия аксиального тока.

Аксиальная аномалия в КХД и  $U(1)$  – проблема.

Сокращение аномалий в теории электрослабых взаимодействий.

5. Монополи.

Монополь Дирака.

Монополь 'т Хоофта – Полякова.

Эффект Рубакова.

Вакуум КХД как сверхпроводник магнитных монополей.

Конфайнмент цвета как дуальный эффект Мейсснера.

## Аннотации к рабочим программам дисциплин.

Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность: Общая и прикладная физика

### Физика мощных лазеров

#### Цель дисциплины:

освоение студентами физики работы мощного йодного фотодиссоциационного лазера и других мощных лазеров.

#### Задачи дисциплины:

формирование базовых знаний в области физики лазеров. Предполагается, что после изучения вопросов спектроскопии лазерного перехода, особенностей рабочих газовых сред, способов и источников накачки, структуры уровней йода в магнитном поле, кинетики химических реакций, протекающих в газовой среде студент овладеет навыкам применения полученных знаний для решения практических задач, связанных проведением исследований на мощных лазерных установках.

Сформировать умение по методам управления параметрами мощных лазеров.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### знать:

- спектроскопию лазерного перехода  $2p_{1/2} - 2p_{3/2}$  атома йода и его сверхтонкую структуру, влияние магнитных полей на характеристики перехода;
- рабочие вещества, используемые в йодных фотодиссоциационных лазерах, их особенности при применении;
- назначение и характеристики и особенности применения буферных газов;
- способы и источники накачки;
- кинетику химических реакций и их классификацию;
- методы определения запасенной энергии, режим свободной генерации, как один из методов определения запасенной энергии;
- различные способы модуляции добротности резонатора, применяемые в йодных фотодиссоциационных лазерах;
- задающий генератор с активной синхронизацией мод;
- режим усиления, балансное приближение, формула Франца-Нодвика;

- понятие отполяризации излучения, способы управления поляризацией излучения (фазовые пластинки, явления Поккельса, Керра, Фарадея);
- деполяризацию излучения в йодном лазере (двойное лучепреломление в оптических деталях, кубическая нелинейность воздуха и стекла, наличие магнитных полей, порожденных токами в источниках накачки);
- контраст излучения, методы и устройства для получения высокого контраста излучения;
- от чего зависят качество пучка, его пространственно-угловые характеристики, методы получения высокой яркости излучения в йодном лазере;
- принципы построения крупномасштабной лазерной установки, ее основные системы (на примере установки "Искра-5").

**уметь:**

- выбирать газовые смеси и резонатор для оценки запасенной энергии методом сводной генерации, оценивать запасенную энергию по величине энергии свободной генерации;
- по составу газовой смеси вычислять сечение усиления и по известному значению плотности запасенной энергии коэффициент усиления слабого сигнала лазерного усилителя;
- оценить допустимые паразитные отражения в ждущем режиме (в режиме накопления инверсной населенности);
- в балансном приближении рассчитать выходную энергию усилителя при известной запасенной и составе газовой смеси и заданной входной энергии усилителя;
- оценить необходимый вакуум в кюветы в зависимости от времени накачки.

**владеть:**

- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории и Интернете;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- основными навыками представления своих результатов на семинарах, конференциях;
- навыками освоения большого объема информации, включая работу с научной литературой;
- основными навыками написания научных статей.
- математическим моделированием физических задач.
- практикой исследования и решения теоретических и прикладных задач;
- методами управления параметрами мощных лазеров.

**Темы и разделы курса:**

1. Фотодиссоциация как способ получения инверсной населённости. Рабочие вещества для йодного лазера. Спектроскопия лазерного перехода. уровней йода в магнитном поле (эффект Зеемана).

Введение в курс. Историческая справка. Фотодиссоциация как способ получения инверсной населённости. Рабочие вещества для йодного лазера.

Спектроскопия лазерного перехода. Ширина линии люминесценции. Роль буферных газов. Время жизни атома йода в возбужденном состоянии. Структура уровней йода в магнитном поле (эффект Зеемана).

2. Способы накачки активной среды йодного лазера.

Способы накачки активной среды йодного лазера. Источники накачки (импульсные лампы, открытый разряд и т.д.) их характеристики. Пиролиз. Роль буферных газов.

3. Кинетика химических процессов в йодных лазерах.

Кинетика химических процессов в йодных лазерах. Классификация химических реакций. Реакции тушения и рекомбинации. Скорость химических реакций. Константа скорости.

4. Режим свободной генерации в йодном лазере.

Режим свободной генерации в йодном лазере. Энергия генерации и временная форма импульса.

Режим свободной генерации, как способ оценки запасенной энергии

5. Поляризация излучения. Распространение света в анизотропных средах. Методы управлением поляризацией света.

Поляризация излучения. Изотропные и анизотропные среды Распространение света в анизотропных средах. Методы управлением поляризацией света. Фазовые пластинки как элементы, изменяющие состояние поляризации светового излучения. Примеры применения поляризационных устройств в лазерных установках.

6. Способы модуляции добротности в йодном лазере. Задающие генераторы нано- и субнаносекундных импульсов.

Способы модуляции добротности резонатора в йодном лазере. Активная модуляция добротности резонатора. Электрооптические модулирующие затворы на основе эффектов Погкельса и Керра. Модуляция добротности магнитным полем Задающие генераторы с модуляцией коэффициента усиления среды магнитным полем.

Задающий генератор с активной синхронизацией мод. Особенности ЗГ с активной синхронизацией мод йодного фотодиссоциационного лазера.

7. Режим усиления в балансном приближении.

Насыщение усиления. Балансное приближение. Энергия насыщения. Формула Франца-Нодвика.



## 8. Параметры лазерного импульса.

Контраст излучения. Способы получения высокого контраста. Контраст по мощности. Вырезающие ячейки Поккельса и Керра. Энергетический контраст. Активные и пассивные затворы, используемые в йодных лазерах. Затвор Фарадея. Пространственные фильтры, как средство борьбы с самовозбуждением на обратных паразитных связях

Качество пучка. Расходимость излучения и распределение плотности энергии в ближнем поле. Неоднородность рабочей среды, вызванная поглощением света накачки на стенках лазерной кюветы.

Градиенты показателя преломления, вызванные неоднородным поглощением света накачки внутри объема активной среды. Наведенные лазерным импульсом неоднородности показателя преломления. Самофокусировка. Интеграл распада.

Деполаризация излучения в йодном лазере. Деполаризация излучения из-за двойного лучепреломления в оптических деталях осевой симметрии, качество стекла по однородности и двойному лучепреломлению. Деполаризация из-за кубической нелинейности воздуха и оптического стекла. Деполаризация излучения из-за наличия магнитных полей токов источников накачки.

## 9. Принципы конструирования крупномасштабных йодных лазеров наносекундных импульсов.

Основные технические требования к установкам для ЛТС. Структурная схема установки.

Назначение и характеристика основных систем установки. Крупномасштабные установки йодных лазеров ("Искра-5", Perun, Asterix) .

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физика наноструктур**

#### **Цель дисциплины:**

Цель курса состоит в обучении студентов старших курсов МФТИ основным теоретическим подходам, используемым при описании процессов взаимодействия света со структурами нанометрового масштаба. Успешное освоение материалов данного курса должно позволить выпускникам свободно ориентироваться в наиболее актуальных вопросах спектроскопии наноразмерных систем.

#### **Задачи дисциплины:**

- 1) Переход от рассмотрения отдельных атомов и простейших молекул к изучению процессов, происходящих при взаимодействии света с системами, состоящими из большого числа атомов.
- 2) Изучение подходов к описанию оптических свойств кластеров и наночастиц.
- 3) Описание теоретических методов изучения процессов, происходящих при взаимодействии света с тонкими пленками и наноструктурированными поверхностями.
- 4) Обзор наиболее актуальных вопросов нанооптики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Основные направления развития нанофизики;
- Специфику физических явлений, происходящих на нанометровых масштабах;
- Спектральные свойства полупроводниковых и металлических частиц, нанотрубок, гетероструктур с квантовыми ямами;
- Основные физические закономерности, определяющие оптические свойства основных видов наноструктур;
- Методы исследования спектральных свойств наночастиц;
- Основные теоретические методы исследования систем, состоящих из большого числа частиц.

**уметь:**

- Выбирать оптимальный путь для определения электронных и спектральных свойств наноструктур;
- Использовать полученные знания для быстрого освоения новых методов исследования систем нанометрового масштаба.

**владеть:**

- Методом Хартри-Фока и его обобщениями;
- Основами теории функционала плотности;
- Методом линейной комбинации атомных орбиталей;
- Теоретическими основами экспериментальных методов исследования оптических свойств наносистем.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Фуллерены и кластеры.

Фуллерены и кластеры: строение, методы получения, механические и электронные свойства, области применения.

## 2. Метод Хартри-Фока и его обобщения.

Метод Хартри-Фока. Использование псевдопотенциалов. Обобщения метода Хартри-Фока.

## 3. Теория функционала плотности.

Теория функционала плотности. Уравнения Кона - Шэма. Приближение локальной плотности. Модель желе и ее применимость в случае кластеров и фуллеренов.

## 4. Углеродные нанотрубки.

Строение нанотрубок. Хиральность. Трубки типа «кресло» и «зигзаг». Физические и электронные свойства нанотрубок. Многослойные нанотрубки. Связь хиральности однослойных трубок с их проводимостью. Способы получения нанотрубок.

## 5. Метод линейной комбинации атомных орбиталей.

Метод ЛКАО. Использование метода ЛКАО для определения электронных уровней энергии молекулярных систем.  $\sigma$ - и  $\pi$ -орбитали. Применение метода ЛКАО к простейшим углеводородам. Теорема Блоха. Функции Блоха. Понятие об обратной решетке. Применение метода ЛКАО к цепочкам атомов. Дисперсионные соотношения для водородной и углеродной цепочки атомов.

## 6. Дисперсионные соотношения для углеродных нанотрубок.

$\pi$ -орбитали нанотрубок  $(n,n)$  и  $(n,0)$ . Учет принципа Паули. Зависимость проводимости от хиральности.

## 7. Оптические свойства полупроводниковых гетероструктур.

Оптические свойства полупроводников. Экситоны Мотта и Френкеля. Уровни энергии экситонов. Время жизни экситонов и способы его повышения. Экситоны в дву-, одно- и нуль-мерных системах.

#### 8. Плазмоны.

Объемные плазмоны. Плазменная частота. Спектр плазмонов. Дисперсионное соотношение для объемных плазмонов.

#### 9. Поверхностные плазмоны.

Поверхностные плазмоны. Условия возникновения поверхностных плазмонов. Спектр поверхностных плазмонов. Дисперсионные соотношения для поверхностных плазмонов. Получение поверхностных плазмонов.

#### 10. Методы получения наночастиц.

Обзор физических и химических методов получения наночастиц различного состава, формы и размеров.

#### 11. Квантовые точки.

Квантовые точки. Энергетический спектр экситонов в полупроводниковых наночастицах. Квантово-размерный эффект. Спектральные свойства полупроводниковых наночастиц. Наночастицы типа «core-shell».

#### 12. Явление мерцающей флуоресценции.

Явление мерцающей флуоресценции. Статистика «on»- и «off»-интервалов. Захват носителей. Поверхностные состояния.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физика наноструктур**

#### **Цель дисциплины:**

освоение студентами фундаментальных знаний в области физики наноструктур, овладение методами теоретических расчетов и экспериментальными методами исследования наноструктур, а также пониманием способов их практического применения.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики наноструктур как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов основным принципам и подходам области физики наноструктур и освоение основных теоретических методов, применимых в этой области физики;
- формирование правильных теоретических подходов к выполнению исследований студентами в области физики наноструктур в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики и математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем моделирования физических процессов, протекающих в твердых телах;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

##### **уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физиче-ских ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

**владеть:**

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- математическим моделированием физических задач.

**Темы и разделы курса:**

1. Возникновение нанofизики и ее задачи

Вводная лекция. Гордон Мур и его закон экспоненциального развития. Ричард Фейнман как отец нанofизики. Полупроводниковые гетероструктуры: от идей (Герберт Кремер, квазиэлектрическое поле и двойная гетероструктура) до практической реализации (лазер на двойной гетероструктуре, Жорес Алферов ).

2. Классификация наноструктур, самые общие свойства

Полупроводниковые гетеропереходы 1-го и 2-го рода. Согласованные и напряженные гетеропереходы. Полупроводниковые сверхрешетки, квантовые ямы, нити и точки.

3. Полупроводниковые сверхрешетки. Блоховские осцилляции в сверхрешетках

Сверхрешетки и электронные минизоны. Блоховские осцилляции и невозможность их осуществить в объемных материалах. Идея сверхрешетки Л.В.Келдыша. Практическая реализация сверхрешеток.

4. Полупроводниковые квантовые ямы квантовые нити и точки

Пространственная локализация электронов и дырок в квантовых ямах, нитях и точках. Зависимость электронной плотности состояний от размерности квантовой локализации.

5. Технологии изготовления наноструктур

Молекулярно-лучевая эпитаксия. Жидкостная и газовая эпитаксия. Дельта-легирование. Самоорганизация квантовых точек в напряженных гетероструктурах. Методы нанолитографии. Принц-технология.

6. Электронные возбуждения в полупроводниковых наноструктурах

Метод эффективной массы, связь эффективной массы с шириной запрещенной зоны. Квантовое туннелирование.

7. Матричные методы решения уравнения Шредингера для огибающих: матрица переноса и матрица рассеяния

Решение уравнения Шредингера методом матрицы переноса. Расчет амплитуд вероятностей рассеяния и прохождения. Квантовые эффекты надбарьерного отражения и резонансного туннелирования. Решение уравнения Шредингера методом матрицы рассеяния.

8. Резонансные состояния в открытых системах, резонансы Фано

Приближенное описание резонансных состояний (резонансов Фано) методом линеаризации частотной зависимости матрицы рассеяния. Расчет резонансных энергий, ширины уровней, собственных резонансных волновых функций.

9. Оптические свойства полупроводниковых наноструктур. Экситоны в наноструктурах

Оптические свойства полупроводниковых наноструктур. Экситоны в наноструктурах

Взаимодействие электронов в гетероструктурах с электромагнитным полем. Правила запрета для межзонных и межподзонных переходов. Спектры поглощения и плотности состояний. Кулоновские корреляции в спектрах поглощения и экситоны, водородоподобные связанные состояния электронов и дырок.

10. Локализационное и диэлектрическое усиление экситонов в наноструктурах

Водородоподобные связанные состояния электронов и дырок в гетероструктурах пониженной размерности. Усиление экситонов за счет квантовой локализации. Экситоны в гетероструктурах с сильно различающимися диэлектрическими восприимчивостями слоев. Заряды изображения, потенциал Рытовой-Келдыша, диэлектрическое усиление экситонов. Примеры.

11. Полупроводниковые микрорезонаторы с активными квантовыми ямами, поляритонные эффекты

Брэгговское зеркало, брэгговский микрорезонатор, брэгговский микрорезонатор с квантовой ямой. Расчеты оптических спектров пропускания методом матрицы переноса и матрицы рассеяния. Экситон-поляритоны как легкие бозоны. Бозе-конденсация экситон-поляритонов.

12. Приборы наноэлектроники

Туннельный диод. Детектор ИК на межподзонных переходах. Транзистор с высокой электронной подвижностью. Светодиод и лазер с двойной гетероструктурой. Квантовый каскадный лазер.

13. Фотонные кристаллы, в том числе с оптически активными наноструктурами (полупроводниковыми и металлическими)

От кристаллов для электронов к периодически-модулированным фотонным структурам. Фотонные кристаллы и фотонно-кристаллические слои. Фотонная стоп-зона и запрещенная зона.

14. Резонансные состояния в фотонно-кристаллических слоях. Локализованные и делокализованные плазмоны. Метаматериалы.

Оптические резонансы в фотонно-кристаллических слоях. Примеры: квазиволноводные моды и их дисперсионные зависимости. Резонансы Ми в плазмонных наночастицах. Образование распространяющихся (делокализованных) плазмон-поляритонов.

15. Зондовые методы исследования поверхностей твердых тел и адсорбированных молекул. Спектроскопия неупругого туннелирования. Наномоторы

Сканирующий туннельный микроскоп. Силовой сканирующий микроскоп. Микроскоп ближнего поля. Спектроскопия неупругого электронного туннелирования. Манипулирование адсорбированными молекулами с помощью сканирующего туннельного микроскопа. Наномоторы



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физика нейтрино**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний в области физики и астрофизики нейтрино;
- изучение возможностей экспериментального изучения свойств нейтрино, а также возможностей практического применения знаний о нейтрино.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики и астрофизики нейтрино как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов принципам создания экспериментальных установок, исследующих свойства нейтрино, выявление особенностей их функциональных характеристик в сравнении с известными экспериментальными установками.
- формирование подходов к выполнению теоретических исследований студентами в области физики нейтрино в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, астрофизики, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем физического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

**уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

**владеть:**

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании;
- математическим моделированием физических задач.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Уравнения Дирака и Вейля.

Спиноры и спинорные представления группы Лоренца. Ковариантность уравнения Дирака. Зарядовое сопряжение как симметрия уравнения Дирака. Спиральность и киральность. Левые и правые спиноры. Пространственное отражение. Уравнения Вейля и его дискретная симметрия. Комбинированная инверсия. Теория двухкомпонентного нейтрино. Несохранение чётности и его экспериментальная проверка. Спиральность нейтрино.

## 2. Уравнения Майораны.

Гипотеза Майораны о тождественности нейтрино и антинейтрино. Уравнения Майораны и их связь с уравнениями Вейля. Двухкомпонентные и четырёхкомпонентные майорановские спиноры. Квантование майорановского поля. Пропагаторы майорановских частиц.

## 3. Осцилляции нейтрино.

Природа осцилляций нейтрино. Различные виды осцилляций – осцилляции аромата, осцилляции спиральности, киральности, осцилляции нейтрино-антинейтрино. Осцилляции майорановских нейтрино. Осцилляции при распространении нейтрино в вакууме и в веществе Матрица смешивания нейтрино и её свойства.

## 4. Классическая теория слабого взаимодействия.

Гамильтониан взаимодействия нейтрино с лептонами и нуклонами. Лептон-адронные процессы – бета-распад, захват электронов, захват нейтрино. Лептонные числа и их сохранение. Нейтральные и заряженные токи.

## 5. Взаимодействие нейтрино с веществом.

Нейтрино-лептонные взаимодействия. Взаимодействия нейтрино с ядрами при низких энергиях – ядерные матричные элементы, формула для сечения. Взаимодействия нейтрино с нуклонами при высоких энергиях. Партоновая модель и масштабная инвариантность. Слабые формфакторы нуклона, структурные функции нуклона.

## 6. Электромагнитные свойства нейтрино.

Магнитный момент дираковского и майорановского нейтрино. Взаимодействия нейтрино, обусловленные ненулевым магнитным моментом. Порядок величины магнитного момента в простых моделях. Экспериментальные проявления магнитного момента нейтрино.

## 7. Нейтрино в калибровочных теориях слабого взаимодействия.

Унитарный предел и перенормируемость слабых взаимодействий. Стандартная теория электрослабого взаимодействия. Нейтрино-кварковые взаимодействия. Безмассовость нейтрино в стандартной модели. Расширение стандартной модели. Члены, содержащие массу нейтрино, в лагранжианах электрослабой модели.

## 8. Рождение нейтрино в атмосфере.

Ядерный каскадный процесс в атмосфере- рождение широкого атмосферного ливня. Нейтрино от распадов пионов и каонов, рождающихся в каскадах. Энергетические спектры атмосферных нейтрино. Нейтрино от распадов мезонов, содержащих тяжёлые кварки – «прямые нейтрино». Осцилляции нейтрино в потоках атмосферных нейтрино и их экспериментальные проявления.

## 9. Астрофизические и космологические нейтрино.

Ускорение космических лучей. Механизм Ферми. Источники космических лучей и нейтрино высоких энергий в галактике и во внегалактическом пространстве. Внегалактический изотропный фон нейтрино. Космологические ограничения на массу нейтрино. Нейтрино от вспышек Сверхновых. Процессы нейтринного охлаждения звёзд. Нейтринная светимость и спектр нейтрино от коллапса звезды. Регистрация вспышек Сверхновых по нейтринному излучению.

## 10. Нейтрино от термоядерных реакций на Солнце.

Термоядерные циклы – протон-протонный и углеродно-азотный. Потоки нейтрино от Солнца. Эксперименты по регистрации нейтрино от Солнца и открытие явления нейтринных осцилляций.

## 11. Нейтринная томография Земли.

Недра Земли как источник низкоэнергетических антинейтрино. Зависимость величины потока антинейтрино от модели строения недр Земли. Экспериментальная регистрация антинейтрино от Земли. Томографические проекты.

## 12. Двойной бета-распад и свойства нейтрино.

Безнейтринный двойной бета-распад. Майорановское или дираковское нейтрино? Экспериментальные проблемы регистрации безнейтринного двойного бета-распада.

Нейтринные эксперименты на ускорителях и в космических лучах.

### 13. Нейтринные эксперименты на ускорителях и в космических лучах.

Эксперименты по регистрации массы нейтрино. Современные эксперименты по изучению параметров моделей осцилляций нейтрино и измерению параметров нейтринной матрицы смешивания. Эксперименты в космических лучах – поиски астрофизических локальных источников нейтрино высокой энергии. Регистрация нейтрино от взаимодействия космических лучей с фоном микроволнового излучения во внегалактическом пространстве.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физика нейтрино**

#### **Цель дисциплины:**

Курс лекций знакомит студента с основными теоретическими положениями, методами, экспериментальными установками и результатами в области нейтринной физики. Он создает необходимую базу для понимания и дальнейшего более глубокого изучения этого области науки и возможности научной работы в нейтринной физике.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование знаний по современной физике нейтрино и экспериментам в этой области;
- формирование знаний по постановке нейтринных экспериментов на реакторах, ускорителях и космических источниках.
- формирование знаний по основным результатам, полученным в нейтринных экспериментах и проблемам, требующим решения.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- содержание курса «Физика нейтрино»
- слабые взаимодействия, свойства нейтрино, нарушение фундаментальных симметрий
- нейтринные детекторы и методы регистрации нейтрино
- естественные и искусственные источники нейтрино
- феноменологию осцилляций нейтрино
- постановку современных экспериментов в области нейтринной физики;
- планируемые эксперименты в нейтринной физике и методику анализа данных в этих экспериментах, получение результатов;
- основные экспериментальные результаты, полученные в области нейтринной физики.

##### **уметь:**

- проводить моделирование и оценку чувствительности осцилляционных экспериментов

- интерпретировать экспериментальные результаты в области физики нейтрино
- получать параметры нейтринных осцилляций с использованием методов статистического анализа

**владеть:**

- методикой анализа данных, получаемых в нейтринных экспериментах
- различными методами детектирования нейтрино в широком диапазоне энергий

**Темы и разделы курса:**

1. Введение. Слабые взаимодействия. Гипотеза нейтрино. Фундаментальные симметрии. Нарушение P-четности

Введение в курс нейтринной физики. Краткое изложение физики слабых взаимодействий. Изложение Гипотезы В.Паули о существовании нейтрино. Изложение фундаментальных дискретных C,P,T, CP, CPT симметрий. Гипотеза о нарушении пространственной четности и экспериментальное обнаружение в эксперименте Ву.

2. Открытие нейтрино в реакторном эксперименте. Открытие мюонных нейтрино. Спиральность нейтрино

Регистрация нейтрино в реакторном эксперименте Рейнеса и Коуэна. Открытие мюонных нейтрино в ускорительном эксперименте в БНЛ. Понятие спиральности нейтрино и экспериментальное измерение спиральности в эксперименте Гольдхабер.

3. V-A теория. Промежуточные бозоны. Нейтральные токи

V-A теория слабого взаимодействия. Гипотеза промежуточных векторных бозонов, объединение электромагнитного и слабого взаимодействия. Экспериментальное обнаружение нейтральных токов. Открытие W и Z бозонов в экспериментах в ЦЕРН.

4. Стандартная солнечная модель. Детектирование солнечных нейтрино. Открытие осцилляций солнечных нейтрино

Описание Стандартной Солнечной модели. Поток солнечных нейтрино на Земле. Обнаружение дефицита солнечных нейтрино в эксперименте Дэвиса, в галлиевых экспериментах и эксперименте Камиоканде. Гипотеза Б.М.Понтекорво об осцилляциях нейтрино. Открытие осцилляций солнечных нейтрино в эксперименте SNO.

5. Атмосферные нейтрино. Детектор СуперКамиоканде. Открытие осцилляций атмосферных нейтрино

Регистрация атмосферных нейтрино в подземных экспериментах. «Атмосферная аномалия». Водные черенковские детекторы Камиоканде и СуперКамиоканде. Открытие осцилляций атмосферных нейтрино в эксперименте СуперКамиоканде.

6. Феноменология нейтринных осцилляций. Осцилляций нейтрино в вакууме и в веществе

Феноменология нейтринных осцилляций. Рассмотрение осцилляций двух типов нейтрино. Получение выражений для вероятности осцилляций. Матрица смешивания Понтекорво-Маки-Накагава-Саката для трех типов нейтрино. Параметры нейтринных осцилляций.

#### 7. Ускорительные эксперименты с длинной базой

Исследование осцилляций нейтрино в ускорительных экспериментах с длинной базой. Эксперименты K2K, MINOS, OPERA. Смещенные от оси пучки нейтрино. Эксперименты с длинной базой второго поколения T2K и NOvA. Открытие осцилляцию мюонных нейтрино в электронные.

#### 8. Измерение осцилляционных параметров в реакторных экспериментах

Измерение осцилляционных параметров в реакторных экспериментах. Метод детектирования реакторных антинейтрино. Эксперимент с длинной базой КамЛанд. Измерение осцилляционных параметров в реакторных экспериментах Daya Bay, RENO и Double Chooz.

#### 9. Измерение угла смешивания $\theta_{13}$

Измерение угла смешивания  $\theta_{13}$  в ускорительных и реакторных экспериментах. Перспективы для измерения иерархии масс нейтрино и поиска CP нарушения в лептонном секторе Стандартной Модели. Структура PMNS матрицы смешивания.

#### 10. Поиск CP нарушения в нейтринных осцилляциях

Поиск нарушения CP симметрии в нейтринных осцилляциях. Методика поиска CP нечетной асимметрии при измерении осцилляций мюонных нейтрино и антинейтрино в эксперименте T2K. Использование реакторных данных для повышения чувствительности эксперимента. Первое указание на CP нарушение в эксперименте T2K. Результаты эксперимента NOvA.

#### 11. Прямое измерение массы нейтрино. Модель качелей

Прямое измерение массы электронного нейтрино в бета распаде трития. Эксперименты Троиц нью-масс и Майнц. Метод магнитной адиабатической коллимации. Эксперимент КАТРИН. Ограничение на эффективную массу электронного нейтрино.

#### 12. Природа нейтрино. Поиск безнейтринного двойного бета распада

Нейтрино Майорановская или Дираковская частица. Физика безнейтринного двойного бета распада. Ядерные матричные элементы. Экспериментальные методы поиска безнейтринного двойного бета распада в германиевых, ксеноновых и криогенных детекторах. Экспериментальные ограничения на эффективную массу нейтрино, полученные в экспериментах КамЛанд-Zen, GERDA. Ближайшие перспективы.

#### 13. Нейтрино и космология. Реликтовые нейтрино. Стерильные нейтрино

Нейтрино и космология. Ограничения на сумму масс нейтрино из космологических данных. Реликтовые нейтрино. Нейтрино от взрывов сверхновых. Стерильные нейтрино. Аномалия LSND, реакторная и галлиевая аномалия. Ограничения на параметры легких стерильных нейтрино из реакторных, ускорительных и астрофизических экспериментов.

#### 14. Нейтринная астрофизика

Нейтринная астрофизика высоких энергий. Байкальский подводный нейтринный телескоп, эксперименты ICECUBE, ANTARES. Астрофизические источники нейтрино.

#### 15. Планируемые нейтринные эксперименты. Заключение

Рассматриваются нейтринные эксперименты следующего поколения ГиперКамиоканде и DUNE. Основными целями этих экспериментов являются поиск CP нарушения в нейтринных осцилляциях, определение иерархии масс нейтрино, поиск распада протона, регистрация реликтовых нейтрино от сверхновых. Будет рассмотрена экспериментальная методика и чувствительность этих экспериментов к различным физическим процессам. В заключении будут изложены основные итоги курса и проанализированы основные фундаментальные результаты, полученные в нейтринной физике.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физика новых сверхпроводников и функциональных квантовых материалов**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами фундаментальных знаний в области физических эффектов, наблюдающихся в современных квантовых материалах.

#### **Задачи дисциплины:**

- Формирование базовых знаний в области квантовой физики нетривиальных систем как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- приобретение понимания ключевых физических экспериментов и теоретических результатов, лежащих в основе проявления топологических свойств в квантовых системах;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований в области свойств современных топологически нетривиальных сверхпроводящих систем в рамках выпускных работ на степень магистра, формирование базовых знаний и умений для дальнейших исследований в рамках выпускных квалификационных работ.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

1. Современные проблемы физики конденсированного состояния.
2. Новейшие открытия в физике, в т.ч. в квантовой физике твердого тела.
3. О взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.
4. Теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния.
5. Принципы симметрии и законы сохранения.
6. Основные принципы функционирования устройств нанoeлектроники и спинтроники.
7. Научные задачи, над которыми работают в лабораториях - партнерах образовательной программы.
8. Технику безопасности и правила работы в низкотемпературных физических экспериментах и в экспериментах с сильными магнитными полями.

**уметь:**

1. Эффективно использовать на практике теоретические знания: понятия, результаты, гипотезы, законы;
2. Представить панораму универсальных методов и законов современной квантовой физики современных сверхпроводящих и топологически нетривиальных систем
3. Абстрагироваться от несущественных факторов при моделировании реальных физических процессов и явлений;
4. Делать численные оценки масштаба ожидаемых эффектов;
5. Планировать оптимальное проведение экспериментов для решения поставленных задач.

**владеть:**

1. Теоретическими основами экспериментальных методов проведения измерений в области квантовой физики современных сверхпроводящих и топологически нетривиальных систем с использованием транспортных, туннельных, термодинамических и резонансных методов.
2. Информацией о современном состоянии исследований в области квантовой физики твердого тела.
3. Теоретическими моделями фундаментальных процессов и явлений в физике конденсированного состояния.
4. Методами анализа и обработки экспериментальных данных.

**Темы и разделы курса:****1. Традиционная сверхпроводимость**

Теория БКШ слабой связи.

Электрон-фононное и электрон-электронное взаимодействие. Толмачёвский логарифм. Теория сильной связи.

**2. Аномальная сверхпроводимость в новых сверхпроводящих системах**

Различные типы параметра порядка и сверхпроводящего спаривания. S-спаривание в традиционных сверхпроводниках, p-спаривание в сверхтекучих A и B фазах He-3 и тяжёло-фермионных соединениях UBe-13, d-спаривание в сверхпроводящих ВТСП-купратах, f-спаривание в идеализированном графене. Бипротонное и бинейтронное спаривание в нейтронных звёздах. Электронная теплоёмкость при низких температурах и нули сверхпроводящей щели.

**3. Коновская особенность и фриделевские осцилляции**

Механизм Кона-Латтинжера в сверхпроводящих системах малой плотности с отталкиванием. Фермионная сверхтекучесть в разбалансированных квантовых ферми-газах

и спин-поляризованных растворах He-3 в He-4. Резкое повышение критической температуры р-спаривания в магнитном поле и в двухзонной ситуации.

#### 4. Базовые модели в теории сильно-коррелированных ферми-систем

Модели с отталкиванием на узле. Модели с ван-дер-ваальсовским взаимодействием. Сверхпроводимость в модели Хаббарда с отталкиванием и в t-J модели. Кондо-синглеты и синглеты Занга-Райса. Обменный (спиновый) механизм сверхпроводимости.

#### 5. Сверхпроводимость в координатном и импульсном пространстве

Протяжённые и локальные пары. Бозе-эйнштейновская конденсация локальных пар. Модель

Хаббарда с притяжением. BCS-BEC кроссовер между протяжёнными и локальными парами в квантовых газах и высокотемпературных сверхпроводниках. Теория Ферми-бозе смеси для описания сверхпроводящих оксидов висмута и гидридов металлов (H<sub>2</sub>S, H<sub>3</sub>S, LaH<sub>10</sub>) под высоким давлением. Рекордно-высокие критические температуры.

#### 6. Квантовые кристаллы

Параметры квантовости Де Бура и квантового плавления Линдемана. Металлический водород. Планарные и нитевидные фазы. Аналогии с вихревыми и слоистыми структурами. Смесь бозе-конденсатов локальных и протяжённых пар. Возможная сверхпроводимость в режиме BCS-BEC кроссовера и расслоение на фазы в графене.

#### 7. Разделение спина и заряда в одномерных и лестничных системах

Спиноны и холоны. Конфайнмент спина и заряда в двумерных и трёхмерных системах. Магнитная струна Булаевского, Нагаева, Хомского, Бринкмана, Райса при движении дырки по антиферромагнитному фону локальных спинов. Спаривание двух струн в высокотемпературных сверхпроводниках.

#### 8. Спиновые поляроны и ферроны Нагаева, Мотта, Касуи

Явление колоссального отрицательного магнетосопротивления. Физические свойства и нано-размерное расслоение на фазы в манганитах и других магнитных оксидах. Туннельный

транспорт в манганитах в режиме кулоновской блокады. Физика страйпов в ВТСП системах.

#### 9. Наносверхпроводимость I

Макроскопические квантовые явления в джозефсоновских структурах сверхмалых размеров.

Обсуждается общая картина макроскопического квантово-когерентного поведения сверхпроводящих наноконтактов. Дается представление о макроскопическом квантовом туннелировании, макроскопической квантовой когерентности, а также зарядовых эффектах в джозефсоновских слабых связях. Вводится понятие сверхпроводящего кубита.

## 10. Наносверхпроводимость II

Сверхпроводящий эффект четности.

Дается общая картина влияния четности числа электронов на сверхпроводящие свойства металлических наногранул и нанокольца.

Обсуждаются критерии существования сверхпроводящего состояния в системах сверхмалых размеров.

## 11. Роль флуктуаций в низкоразмерных сверхпроводниках

Гладкие флуктуации модуля и фазы параметра порядка. Топологические флуктуации и проскальзывания фазы. Влияние флуктуаций на наблюдаемые величины.

## 12. Флуктуации вблизи $T_c$

Сопротивление и дробовой шум за счет проскальзываний фазы. Теоретические оценки наблюдаемых эффектов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физика плазмы, управляемый термоядерный синтез и плазменные установки**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины «Физика плазмы, управляемый термоядерный синтез и плазменные установки» является краткое знакомство магистров с основами физики плазмы с примерами ее использования в разных практических и научных приложениях.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование углубленного представления по базовым понятиям физики плазмы;
- формирование теоретических представлений о физических процессах, происходящих в плазмоподобных средах и при воздействии плазменных потоков на вещество;
- обучение основным подходам к описанию объектов физики плазмы;
- умения ориентироваться в современных физических методах исследования в области физики плазмы;
- выявление естественнонаучной сущности проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности в области физики плазмы и УТС;
- формирование навыков решения задач в области физики плазмы и УТС, с привлечением современного математического аппарата теоретической физики.
- приобретение практических навыков самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях в области физики плазмы;
- современные проблемы физики плазмы;
- основные теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях применительно к объектам физики плазмы;
- области применения отдельных методов изучения физики плазмы;

- физическую основу каждого метода; перечень характеристик, которые можно измерить с помощью каждого метода; диапазоны значений измеряемых характеристик.
- понятия и законы, их применение для исследования плазмы, а также границы применимости;
- принципы работы, устройство и области применения различного лабораторного оборудования.
- Последовательность действий, выполняемых в программном обеспечении при проведении эксперимента; назначение параметров для настройки лабораторных установок.

**уметь:**

- Планировать оптимальный выбор экспериментов в области физики плазмы.
- Выбирать лабораторное оборудование под конкретную задачу; планировать необходимые эксперименты; делать анализ их результатов;
- проводить анализ результатов эксперимента, обрабатывать и объяснять результаты, с учетом ошибок и погрешностей проведения эксперимента;
- использовать программное обеспечение для проведения эксперимента, обработки и анализа результатов эксперимента;
- настраивать программное обеспечение под конкретную задачу.
- Представлять решения с использованием средств компьютерной графики и моделирования.

**владеть:**

- планированием физического эксперимента в области физики плазмы;
- математическими методами описания задач из области физики плазмы;
- навыками использования программного обеспечения и основными приемами для проведения и обработки экспериментальных данных;
- навыками обращения с компьютерной техникой и применения типовых и разработанных компьютерных программ в указанных областях.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение в физику плазмы. Ирвинг Ленгмюр.

Термин «плазма» (генезис плазмы, или история одного слова). Наблюдение плазмы до начала XX века. Плазменные установки вокруг человека в XXI веке. Генерация плазмы. Ионизированные газы и плазма. Квазинейтральность плазмы. Устройство плазменного двигателя. Устройство наиболее распространенного плазменного прибора – люминесцентной лампы.

2. Радиус Дебая.

Число частиц в дебаевской сфере, влияние этого параметра на свойства плазмы. Плазменное приближение. Параметры плазмы в различных условиях. Классическая и вырожденная плазма. Идеальная и неидеальная плазма. Характерные параметры лабораторной и космической плазмы. Плавающий потенциал Ленгмюровский зонд – контактная плазменная диагностика .

3. Движение заряженной частицы в постоянных и однородных электромагнитных полях.

Однородное электростатическое поле. Однородное постоянное магнитное поле. Однородные электростатическое и магнитное поля. Дрейфовая скорость. Дрейфовая скорость в гравитационном поле.

4. Движение заряженной частицы в неоднородном и непостоянном магнитном поле.

Движение в сильном медленно меняющемся магнитном поле. Дрейфовое приближение. Градиентный дрейф. Центробежный дрейф. Поведение плазмы в магнитном поле тороидального соленоида. Токамак и стелларатор. Примеры токамаков – JET, T-10, Globus-2M.

5. Адиабатические инварианты.

Траектория частиц в открытой ловушке. Первый адиабатический инвариант ( $\mu$ ). Открытые магнитные ловушки. Второй адиабатический инвариант ( $J$ ) . Третий адиабатический инвариант ( $\Phi$ ). Описание газодинамической ловушки (ГДЛ). Электронно-циклотронный нагрев плазмы в ГДЛ.

6. Элементарные процессы в плазме. Равновесие.

Ионизация и рекомбинация, основные процессы. Виды равновесия. Степень ионизации. Зависимость ионизации от параметров плазмы, от потенциала плазмы. Термодинамическое равновесие. Функции распределения заряженных частиц. Кинетическое уравнение для функций распределения. Столкновительный интеграл. Распределение Максвелла-Больцмана. Формула Саха. Формирование плазмы при нагреве газа. Причины отклонения от равновесия в реальных условиях.

7. Излучение плазмы.

Тормозное, рекомбинационное. Линейчатый спектр. Отношение линий. Уширение Штарковского, Доплеровское. Молекулярные спектры в низкотемпературной плазме. Использование NISTовских таблиц для расшифровки спектров атомных и молекулярных спектров. Циклотронное излучение. Диагностика ЭЦИ для определения профиля температуры электронов на стеллараторе Л-2М.

8. Теоретические модели, используемые для исследования плазмы.

Физическая кинетика. Фазовое пространство. Функция распределения. Средняя скорость и концентрация частиц. Бесстолкновительное уравнение Больцмана. Релаксационное приближение для столкновительного члена. Уравнение Власова.

9. Проводимость и диффузия в плазме.

Уравнение Ланжевена. Линеаризация уравнения Ланжевена. Проводимость постоянного тока и подвижность электронов. Обобщенный закон Ома. Проводимость переменного тока и подвижность электронов. Проводимость с учетом движения ионов. Плазма как

диэлектрик. Диффузия свободных электронов. Диффузия электронов в магнитном поле. Амбиполярная диффузия. Диффузия в полностью ионизированной плазме.

10. Теоретические модели, используемые для исследования плазмы.

Магнитная гидродинамика. Иерархия плазменных моделей. Гидродинамические модели. Модель проводящей жидкости. Идеальная проводимость и дрейфовое движение. Вмороженное поле. Диффузия магнитного поля. Двухжидкостная магнитогидродинамика.

11. Магнитогидродинамические колебания.

Магнитогидродинамические колебания. Продольные звуковые волны. Альфвеновские волны. Магнитозвуковые волны. Уравнение малых колебаний. Линейные волны. Дисперсия волн в двухжидкостной гидродинамике. Ионный звук. Ионно-звуковые флуктуации в низкотемпературной плазме установки ТАСУ-1.

12. Колебания и волны в плазме.

Движение заряженных частиц в высокочастотном поле. Высокочастотная проводимость плазмы. Эффективная электрическая проницаемость. Распространение электромагнитных волн в плазме при отсутствии магнитного поля. Распространение поперечных волн. Продольные волны. Пространственная дисперсия. Электронные и ионные ветви. Затухание Ландау.

13. Управляемый термоядерный синтез.

Тороидальные ловушки. Реакции термоядерного синтеза. Идея магнитного удержания Сахарова и Тамма. Критерий Лоусона. Токамак. Структура магнитного поля. Стелларатор. Стелларатор Л-2М. Структура магнитного поля. Температура и плотность плазмы. Флуктуации. Управляемый термоядерный синтез (лазерный и инерционный). ITER.

14. Дополнительные методы нагрева плазмы.

Электронно-циклотронный нагрев плазмы. Гиротроны – мазеры на электронно-циклотронном резонансе. Комплекс МИГ-3 стелларатора Л-2М. Комплекс электронно-циклотронного нагрева на ITER.

15. Плазмохимия.

Химические реакции в равновесной и неравновесной плазме. Механизмы и кинетика осуществления плазмохимических реакций, роль заряженных и возбужденных частиц. Энергетика химических реакций в электрических разрядах. Закалка продуктов плазмохимических процессов. Методы диагностики химически активной плазмы. Взаимодействие плазмы с поверхностью твердых тел. Плазменные технологии (травление, имплантация, упрочнение, нанесение покрытий и пр).



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физико-математические модели и программные комплексы в радиационной экологии**

#### **Цель дисциплины:**

- изучение физико – математических моделей, используемых при обосновании экологической безопасности проектируемых, строящихся и эксплуатируемых энергетических промышленных объектов с элементами радиационного риска;
- получение навыков использования некоторых программных комплексов, реализующих работу этих моделей.

#### **Задачи дисциплины:**

- моделирование и прогноз радиационной обстановки в результате аварии или в режиме нормальной эксплуатации для реальных 3 D промышленных объектов;
- моделирование и прогноз радиационной обстановки в результате аварий на расстоянии до 30-50 км с целью минимизации последствий;
- моделирование и прогноз метеорологических параметров атмосферы в сложных метеоусловиях;
- моделирование и прогноз распространения загрязнения в водной среде.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные особенности и специфику задач, связанных с экологической обстановкой вокруг предприятий энергетической отрасли с гипотетическим радиационным фактором риска;
- физические и математические модели, применяемые для моделирования загрязнения окружающей среды вокруг таких объектов.

##### **уметь:**

- оценивать последствия аварийных ситуаций на основе результатов моделирования;
- иметь представление о методах обоснования радиационной безопасности предприятий работающих в режиме нормальной эксплуатации.

**владеть:**

- навыками освоения большого объема информации;
- культурой постановки и моделирования физических задач;
- методами оценки характерных параметров процессов;
- навыками работы с некоторыми программными комплексами для прогноза радиационной обстановки на разных расстояниях от промышленного объекта на территории предприятия, и за его пределами.

**Темы и разделы курса:**

1. Модели атмосферной дисперсии радионуклидов в условиях реального промышленного объекта.

Классы моделей распространения радионуклидов на территории промышленного объекта.

Модели приземного слоя атмосферы. 3D аэротермодинамические модели дисперсии примеси в условиях реального промышленного объекта или городской застройки.

Постановка начальных, граничных условий. Построение или использование готовых 3D моделей объекта.

2. Воздействие радиации на человека в условиях сложной геометрии объекта с учетом экранирования зданиями.

Воздействие радиации на человека. Дозовые нагрузки по разным путям облучения.

Алгоритмы расчета доз от облака произвольной трехмерной геометрии и от загрязненной поверхности, с учетом экранирования зданиями.

Демонстрация работы программного комплекса РОУЗЮ предназначенного для оценки радиационной обстановки на территории объекта в условиях нормальной эксплуатации и радиационной аварии.

3. Модели распространения загрязнения в атмосфере на расстояния до 30-50 км.

Модели учета топографии местности, типов подстилающей поверхности, реальной метеорологии.

Модели дозовых нагрузок по пищевым цепочкам. Новые современные версии программного комплекса НОСТРАДАМУС.

4. Модели распространения загрязнений в морской и океанической среде.

Модели.

Программный комплекс НЕПТУН.

Демонстрация работы программного комплекса НЕПТУН.

5. Модели атмосферной дисперсии примеси на большие расстояния (с детальным метеорологическим прогнозом высокого пространственно временного разрешения).

Модель WRF (метеорологический прогноз). Физические процессы, учитываемые в модели.

Входные данные.

Демонстрация работы.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физико-механические свойства и разрушение горных пород**

#### **Цель дисциплины:**

Теоретическое и экспериментальное знакомство с физическими процессами, протекающими при разрушении горных пород, аппаратом, описывающим пластическое и хрупкое разрушение.

#### **Задачи дисциплины:**

1. Получение студентами опыта использования аппарата механики сплошных сред для математического описания закритического механического поведения горных пород;
2. Знакомство с экспериментальными методами изучения процессов разрушения.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные теоретические модели, описывающие механическое поведение горных пород при нагрузках, превышающих пределы прочности;
- теоретические и экспериментальные методы определения прочностных свойств горных пород.

##### **уметь:**

- планировать испытания, необходимые для математического описания процессов механического разрушения образцов горных пород;
- применять математический аппарат описания процесса разрушения с использованием экспериментальных данных.

##### **владеть:**

- математическим аппаратом описания механических процессов, сопровождающих хрупкое и нехрупкое разрушение гетерогенных сред.

#### **Темы и разделы курса:**

## 1. Введение

Понятие разрушения. Пределы применимости механики сплошных сред. Понятие о горных породах как о неоднородных гетерогенных средах.

## 2. Основные понятия механики сплошных сред

Смещения, деформации и напряжения. Тензор конечных и малых деформаций, связь с вектором смещения. Объемные и поверхностные силы. Постулат, лемма и теорема Коши. Симметричность тензоров деформаций и напряжений. Главные напряжения, главные деформации. Система уравнений механики сплошных сред. Связь между напряжениями и деформациями. Реологические соотношения. Ползучесть, пластичность.

## 3. Определение механических свойств горных пород

Линейно-упругое тело. Закон Гука в общем виде. Закон Гука для анизотропных тел. Определение основных упругих модулей. Теоретическое обоснование закона Гука. Методы экспериментального исследования механических свойств образцов горных пород. Трехосный и истинно-трехосный тесты. Методы экспериментального определения напряжений, деформаций. Кривая нагружения, проблема выделения линейного участка. Обоснование нелинейной зависимости между напряжениями и деформациями. Проведение лабораторных работ по определению упругих модулей образцов горных пород с использованием экспериментальной базы центра петрофизических и геомеханических исследований ИФЗ РАН.

## 4. Теории прочности

Задача разрушения сплошной среды. Исторические критерии разрушения. Критерии разрушения, наиболее часто использующиеся в механике горных пород. Критерий Кулона-Мора и его ограничения.

## 5. Критерии разрушения горных пород

Критерий Лоде-Надаи. Влияние промежуточного главного напряжения на предел прочности. Хрупкое поведение горных пород при разрушении. Индекс хрупкости. Развитие трещин при разрушении. Формула Гриффитса. Силовой и энергетический подходы к описанию разрушения. Коэффициенты интенсивности напряжений. Интеграл Черепанова-Райса. Три вида трещин. Трещиностойкость. Бразильский тест. Механическое поведение горной породы после разрушения. Проведение лабораторных работ по определению прочностных свойств образцов горных пород с использованием экспериментальной базы центра петрофизических и геомеханических исследований ИФЗ РАН.

## 6. Паспорт прочности горной породы

Определение паспорта прочности горной породы по результатам экспериментальных исследований. Многостадийное испытание. Упрочнение. Связь между пределом упругости и пределом прочности. Дилатансия. Процедура построения паспорта прочности для различных критериев разрушения. Проведение лабораторных работ по построению паспортов прочности образцов горных пород с использованием экспериментальной базы центра петрофизических и геомеханических исследований ИФЗ РАН.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физико-технические процессы при бурении и геонавигация**

#### **Цель дисциплины:**

- знакомство с физическими процессами, протекающими в ходе бурения скважин, понятием и основными задачами геонавигации; ознакомление с основными существующими подходами решения конкретных задач и направлениями их развития.

#### **Задачи дисциплины:**

- получение студентами понимания контактных задач теории вязкоупругопластичности и путей их решения;
- ознакомление студентов с технологическими процессами при бурении;
- получение студентами понимания задачи геонавигации и путей ее решения.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные физические процессы, протекающие в ходе бурения;
- постановку контактных задач теории вязко-упруго-пластичности;
- основные проблемы, возникающие в ходе бурения, и существующие пути их решения.

##### **уметь:**

- использовать стандартные методы определения рисков при бурении;
- рассчитывать концентрацию напряжений в окрестности скважины для различных условий как бурения, так и условий залегания пород;
- выбирать оптимальные методы решения задач геонавигации и применять их.

##### **владеть:**

- математическим аппаратом механики сред, характеризующихся вязко-упруго-пластической реологией, аппаратом решения контактных задачи.

## Темы и разделы курса:

### 1. Введение

Бурение скважин. Основные технологические процессы. Риски при бурении.

### 2. Задача Кирша

Проблема концентрации напряжений. Плоская задача теории упругости. Функция Эйри. Концентрация напряжений в окрестности круглого отверстия при растяжении тонкой линейно-упругой изотропной пластины: аналитическое решение Кирша. Концентрация напряжений в тонкой линейно-упругой изотропной пластине, подвергаемой двухосному сжатию. Концентрация напряжений при сдвиге. Учет трех главных напряжений при переходе к псевдотрехмерному случаю. Случай нормального давления на границе отверстия. Давление и плотность бурового раствора.

### 3. Бурение в породах со сложной реологией

Разрушение в области концентрации напряжений. Механизмы хрупкого разрушения пород околоскважинной зоны. Вывалообразование и инициация трещин растяжения. Пластические деформации в области концентрации напряжений. Аналитическое решение задачи концентрации напряжений при двухосном сжатии тонкой упруго-пластической пластины. Сшивка аналитических решений на контакте упругой и пластической областей. Концентрация напряжений в псевдотрехмерном случае. Концентрация напряжений в анизотропном случае. Несовпадение плоскостей симметрии анизотропной среды и направлений главных напряжений – влияние на области разрушения околоскважинной зоны. Вывалообразование для различных критериев разрушения. Вязкоупругий случай: задача Кирша при растяжении тонкой вязкоупругой пластины. Принцип Вольтерра. Замкнутая система уравнений, определяющая концентрацию напряжений для случая анизотропной вязко-упруго-пластической среды.

### 4. Бурение наклонно-направленных скважин

Несовпадение главной оси тензора напряжений и оси скважины. Переход от тектонических напряжений к главным напряжениям в околоскважинном пространстве. Пространственная ориентация вывалов и трещин растяжения в наклонно-направленных скважинах.

### 5. Контактная задача при бурении

Бурение как динамический процесс. Изменение напряженного состояния пород околоскважинной зоны в ходе бурения. Строгая постановка контактной задачи с учетом эволюции границы нарушения сплошности горной породы. Переход к динамическому случаю уравнений, определяющих концентрацию напряжений для случая анизотропной вязко-упруго-пластической среды и частных случаев. Методы решения контактной задачи: численное моделирование и инженерные подходы.

### 6. Оптимизация траектории бурения. Геонавигация

Риски при бурении. Анализ неопределенности, источники ошибок в исходных данных. Количественная вероятностная оценка рисков при бурении. Предбуровая модель и ее актуализация при получении новых данных. Выбор оптимальной траектории бурения. Бурение в приразломных зонах. Различие между наиболее безопасной траекторией и траекторией, допускающих наибольшую добычу. Геонавигация. Технологические решения

для определения текущей траектории скважины. Источники дополнительных данных при бурении. Бурение горизонтальных скважин в тонких слоях. Заканчивание скважин.

#### 7. Бурение скважин на шельфе

Буровые установки для проведения шельфовых работ: виды и особенности. Реологические свойства верхней части разреза. Задача взаимодействия донного грунта и опор буровой установки. Риски эксплуатации буровых установок на шельфе. Инженерные подходы и математическое моделирование контакта опор установки и донного грунта. Внешние ветроволновые и сейсмические воздействия на буровую установку. Риск реализации необратимых механических процессов на морском дне. Области аномально высокого давления флюида в верхней части разреза.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физическая кинетика**

#### **Цель дисциплины:**

Освоение студентами фундаментальных знаний в области физической кинетики. Построение кинетических уравнение для функций распределения. Решение как бесстолкновительных кинетических уравнений, так и уравнений со столкновениями.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области теоретической физики, которые впоследствии позволят студентам проводить исследования в таких областях современной физики как кинетика взаимодействующих частиц, физика плазмы, теоретическая астрофизика;
- обучение студентов методами физической кинетики на примерах модельных задач и реальных физических явлений;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области теоретической физики и астрофизики в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Фундаментальные положения кинетической теории

##### **уметь:**

Формулировать кинетические уравнения для функций распределения частиц

##### **владеть:**

Методами решения кинетических уравнений

#### **Темы и разделы курса:**

1. Кинетическая теория газов

Функция распределения. Уравнения Боголюбова. Уравнение Больцмана. H-теорема.

2. Идеальный газ. Слабое отклонение от идеальности  
Теплопроводность. Вязкость. Симметрия кинетических коэффициентов.
3. Диффузионное приближение  
Уравнение Ланжевена. Броуновское движение. Формула Найквиста.
4. Приближение Фоккера-Планка  
Уравнение Фоккера-Планка. Рассеяние легких частиц на массивных.
5. Плазма  
Самосогласованное поле. Уравнение Власова.
6. Бесстолкновительная диссипация  
Черенковский резонанс. Затухание Ландау. Нелинейное затухание Ландау. Эхо.
7. Столкновения заряженных частиц  
Интеграл столкновений Балеску-Ленарта. Интеграл столкновений Ландау.
8. Квазилинейная теория  
Релаксация функции распределения частиц. Флуктуации распределения частиц.
9. Частицы в магнитном поле  
Магнито-тормозной резонанс. Дрейфовое приближение. Неоднородная среда.
10. Квантовая кинетическая теория  
Матрица плотности. Квантовые флуктуации. Функция Вигнера. Квантовый интеграл столкновений.
11. Динамический хаос  
Теорема КАМ. Энтропия Колмогорова.
12. Развитая турбулентность  
Каскад вихрей. Спектр Колмогорова. Сценарий Ландау.
13. Хаос через удвоение периода  
Универсальность Фейгенбаума. Числа Фейгенбаума.
14. Кинетика при малых степенях свободы  
Резонансы. Критерий Чирикова. Странный аттрактор.
15. Кинетические явления в астрофизике  
Кинетика космических лучей. Турбулентность динамо. Гравитирующий газ.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физические основы геохимии**

#### **Цель дисциплины:**

Научить студентов описывать геохимические поля для последующей комплексной интерпретации совместно с геофизическими данными.

#### **Задачи дисциплины:**

Накопить опыт работы с геохимическими полями, научиться описывать эти поля и причины их изменения.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- механизмы и принципы образования первичных и вторичных ореолов рассеяния, действие потоков рассеяния.

##### **уметь:**

- применять методы геохимии для комплексной интерпретации геофизических данных при поиске и разведке рудных месторождений. Различать виды ореолов рассеяния элементов в земной коре, описывать их геохимические поля.

##### **владеть:**

- основными методами геохимических исследований потенциальных рудных месторождений.

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Введение**

Введение в геохимию и её роль в исследовании минеральных месторождений.

Основные задачи и принципы геохимических исследований.

Обзор различных методов и подходов, используемых в геохимических исследованиях.

## 2. Первичные и вторичные ореолы рассеяния, миграция элементов

Разъяснение понятий первичных и вторичных ореолов рассеяния.

Понятие Кларка и геохимического поля, понятия миграции, зональности и продуктивности

Понимание процессов миграции элементов в земной коре и их влияния на формирование ореолов рассеяния.

Изучение факторов, определяющих размер и характер ореолов рассеяния минералов.

Смещения и деформации ореолов рассеяния, обработка данных ореолов рассеяния.

Применимость методов геохимии и их экономические ограничения.

## 3. Виды рудных месторождений и их ореолы рассеяния

Обзор рудных месторождений различных элементов и их характерные черты.

Изучение типов ореолов рассеяния, связанных с каждым типом рудных месторождений.

Примеры реальных месторождений и анализ связанных с ними ореолов рассеяния.

## 4. Литохимические методы поисков

Применение литохимических методов для определения наличия рудных минералов и поиска месторождений, виды литохимических ореолов рассеяния.

## 5. Гидрохимические и Атмохимические методы поисков

Применение гидрохимических и атмохимических методов для определения наличия рудных минералов и поиска месторождений, виды литохимических ореолов рассеяния.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физические основы квантовой информатики**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний в области лазерной спектроскопии, получения практических навыков решения задач, овладение методами их решения, а также понимание способов их практического применения.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области лазерной спектроскопии как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов основным принципам решения задач в области лазерной спектроскопии и освоение основных теоретических методов, применимых в этой области физики;
- формирование правильных теоретических подходов к выполнению исследований студентами в области лазерной спектроскопии в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

Знать материал лекционного курса.

##### **уметь:**

Самостоятельно применять полученные знания для решения других задач.

##### **владеть:**

Аппаратом квантовой механики применительно к задачам квантовой информатики.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Понятие перепутывания двухчастичных состояний с непрерывными переменными. Разложение Шмидта. Параметр степени перепутывания  $K$  на основе разложения Шмидта

Будет изложено содержание теоремы Шмидта, дано определение мод Шмидта и параметров разложения как для волновой функции двухчастичного состояния, так и для соответствующей редуцированной матрицы плотности. Будет дано определение параметра степени перепутывания как обратного следа от «квадрата» редуцированной матрицы плотности.

2. Условные и безусловные одночастичные распределения двухчастичных состояний. Параметр степени перепутывания  $R$  – отношение ширин безусловного и условного распределений. Парадокс Эйнштейна-Подольского-Розена.

Будут описаны два способа перехода от двух-частичных распределений к одночастичным условным и безусловным распределениям по тем или иным переменным. Будет дано определение параметра степени перепутывания  $R$  как отношения ширин этих распределений. Будет продемонстрировано что в случае модельных двойных-гауссовых волновых функций  $R=K$ . Будет показано, что в эксперименте указанные ширины соответствуют результатам одночастичных измерений и измерений по схеме совпадений, что может быть использовано для прямого измерения степени перепутывания двухчастичных состояний. Будет дано осуждение парадокса Эйнштейна-Подольского-Розена и его интерпретация в терминах разложения Шмидта перепутанных состояний.

3. Спонтанное параметрическое рассеяние света

Будут описаны содержание эффекта спонтанного параметрического рассеяния Шмидта и его реализуемых режимов

4. Кубиты, кудиты и поляризационные двухфотонные кутриты

Будут даны определения элементарных квантовых однофотонных и двухфотонных, одноквантовых и многоквантовых состояний. Будут детально проанализированы свойства бифотонных поляризационных кутритов, их перепутывание и основные параметры степени перепутывания: конкорренс и параметр Шмидта  $K$ .

5. Разложение Шмидта для бифотонных поляризационных кутритов. Векторы Стокса на сфере Пуанкаре.

Будет дано описание структуры состояний поляризационных кутритов в представлении мод Шмидта. Будет проанализировано соотношение между степенью перепутывания и степенью поляризации кутритов. Будет описано описание свойств кутритов в терминах векторов Стокса на сфере Пуанкаре.

6. Эффект Хонга-Оу-Манделя

Будет дано описание интерференционного эффекта Хонга-Оу-Манделя. Будет представлено исследование ширины провала Хонга-Оу-Манделя от соотношения поляризаций фотонов и от времени задержки одного из них.

7. Квантовая телепортация

Будет дано описание одной из экспериментально реализованных схем квантовой телепортации. Будет обсужден вопрос о степени квантовости этого явления.

8. Поляризационно-частотные бифотонные кукварты

Будет дано описание свойств двухфотонных состояний с двумя степенями свободы, поляризационной и частотной, при том что в каждой из СПРС пары частоты фотонов различны и соответствующая частотная переменная может принимать только одно из двух различных значений, высокой или низкой частоты. Такие состояния являются суперпозицией четырех базисных состояний и поэтому называются куквартами. Степень перепутывания таких состояний в целом выше чем у поляризационных кутритов, и будут продемонстрировано, каковы в этом случае параметры степени перепутывания.

9. Эффект пространственного сноса (walk-off) необыкновенной волны накачки в нелинейном анизотропном кристалле и его роль в задаче получения бифотонных состояний с максимальной степенью углового перепутывания

Будет дано описание эффекта пространственного сноса (walk-off) волны накачки, распространяющейся в кристалле по типу необыкновенной волны. Будет продемонстрировано, каким образом снос радикально влияет на степень углового перепутывания состояний фотонов, распространяющихся в плоскости оптической оси кристалла.

10. Эффект спектрального сноса (walk-off) необыкновенной волны накачки в нелинейном анизотропном кристалле и обусловленная этим аномально высокая степень спектрального перепутывания

Будет рассмотрено спонтанное параметрическое рассеяние в режиме коротких импульсов накачки с широким спектром. Будет продемонстрировано, что в этом случае имеет место эффект спектрального сноса, обуславливающий возникновение аномально высокой степени спектрального перепутывания.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физические основы космологии**

#### **Цель дисциплины:**

сформировать представление о современном уровне космологических исследований и взаимосвязях различных областей космологии, как между собой, так и с наблюдательными данными.

#### **Задачи дисциплины:**

предоставить инструментарий, необходимый для ведения исследований в космологии и релятивистской астрофизике на современном уровне.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

геометрические понятия и наблюдаемые, которыми оперирует космология; набор параметров стандартной космологической модели и наблюдения, на которых она базируется.

##### **уметь:**

вычислить наблюдаемые величины при заданном наборе космологических параметров; вычислить параметры спектров возмущений в заданной модели инфляции.

##### **владеть:**

методами оценки космологических параметров.

#### **Темы и разделы курса:**

##### **1. Экспериментальные основания космологии**

Обзор наблюдательных данных. Экспериментальные основания космологии. Стандартная космологическая модель. Закон Хаббла. Основные стадии расширения Вселенной. Распределение барионов и темной материи. Кривые вращения. Поиски частицы темной материи. Первичный нуклеосинтез.



## 2. Крупномасштабная структура Вселенной

Крупномасштабная структура Вселенной. Элементы крупномасштабной структуры вселенной. Нейтрино в космологии.

## 3. Основы ОТО

Событие, метрический тензор Минковского, хронометрическая гипотеза, уравнение геодезической, символ Кристоффеля, метрический тензор. Гравитационное красное смещение. Вывод уравнения Эйнштейна из уравнения Пуассона. Тензор Риччи. Ньютоновский предел для нерелятивистских и релятивистских частиц.

## 4. Фридмановская модель Вселенной

Модель Фридмана, ее связь с уравнением Пуассона. Модифицированное ур. Пуассона.

## 5. Черные дыры

Отклонение луча света массивным телом. Метрика Шварцшильда.

## 6. Коллапс пылевого шара

Коллапс пылевого шара. Свободное падение в метрике Шварцшильда. Полузамкнутый мир.

## 7. Тензор Римана

Координаты Крускала. Диаграмма Пенроуза. Приливной Тензор Римана. Относительное ускорение двух геодезических. Тензор Вейля. Гравитационные волны. Гармоническая калибровка. Тензор поляризации. Эффективный тензор энергии-импульса.

## 8. Гравитационное линзирование

Отклонение луча света в поле массы  $M$ . Уравнение гравитационной линзы. Свойства гравитационных линз. Угол Хвольсона-Эйнштейна. Линзирование на различных объектах. Сильное и слабое линзирование. Модели линз: точечная, изотермическая сфера, однородный диск. Временная задержка.

## 9. Проблемы стандартной космологической модели

Проблемы стандартной космологической модели.

## 10. Космологическая инфляция

Первая инфляционная стадия расширения. Парадигма и имеющиеся модели, длительность инфляции, приближение медленного скатывания.

## 11. Генерация возмущений метрики

$q$ -скаляр.

## 12. Анизотропия реликтового излучения. Черные дыры

Анизотропия реликтового излучения. Наблюдательные ограничения на модели инфляции. Первичные черные дыры.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физические основы обработки и принципы интерпретации сейсмоакустических данных при разведке углеводородов и инженерных изысканиях**

#### **Цель дисциплины:**

- формирование знаний в области физических основ методов сейсмической разведки в различных модификациях, включая вопросы генерации, распространения и приёма сейсмических колебаний, а также – навыков обработки и интерпретации результатов сейсмических исследований.

#### **Задачи дисциплины:**

- познакомить студентов с основными уравнениями, описывающими распространение акустических и упругих волн в однородной и неоднородной среде, в том числе – в различных приближениях;

- дать представление о физических принципах и методах генерации и приёма сейсмических колебаний;

- познакомить студентов с особенностями волновой картины, возникающей при различных системах наблюдений, и вытекающих из неё принципах организации регистрирующих систем и особенностях обработки результатов наблюдений;

- дать представление об основных принципах интерпретации данных сейсморазведки при решении практических задач.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Уравнения движения упругой среды, описывающие распространение акустических и упругих колебаний в однородных и неоднородных средах, их фундаментальные решения для однородной среды;
- Законы преломления и отражения упругих волн на границах раздела сред;
- Область применения и основные понятия лучевого приближения в сейсмоакустике;
- Основы теории рассеяния упругих волн;
- Теорему Бетти, теорему представления для акустических колебаний;

- Основные принципы генерации акустических колебаний в жидкости (пневмоисточники, электроискровые источники, пьезокерамические источники) и закономерности соответствующей волновой картины;
- Особенности волновой картины, определяемые наличием водного слоя (существование волн-спутников);
- Принципы организации приёма акустических колебаний в жидкости: оптимальное заглубление, заглублённые компоновки, придонные и донные косы;
- Принципы организации 2D и 3D наблюдений в сейсморазведке;
- Основные процедуры обработки данных сейсморазведки: ввод геометрии, ввод статики, подавление волны-спутника, фильтрация, деконволюция, ввод кинематических поправок, суммирование ОГТ;
- Методы скоростного анализа данных сейсморазведки ОГТ и уточнения скоростной модели;
- Основные принципы временной и глубинной миграции сейсмических данных;
- Основные принципы инверсии сейсмических данных (акустическая инверсия и AVO/AVA упругая инверсия)
- Общие принципы интерпретации сейсмических данных при разведке углеводородов и решении инженерно-геофизических задач.

**уметь:**

- выполнять моделирование распространения сейсмических волн в различных приближениях;
- выбирать методику и аппаратуру для сейсморазведки в зависимости от решаемой геолого-геофизической задачи и условий наблюдений;
- проводить базовые процедуры обработки данных сейсморазведки и строить временные разрезы амплитуд;
- определять необходимость и выбирать методику миграции сейсмических данных;
- выбирать метод сейсмической инверсии в зависимости от характера имеющихся данных и решаемой геолого-геофизической задачи;
- проводить первичную интерпретацию результатов обработки сейсмических данных (временных и глубинных разрезов амплитуд, разрезов импедансов).

**владеть:**

- методами моделирования распространения сейсмических волн;
- навыками работы с программным обеспечением для обработки данных сейсморазведки;
- представлениями о характеристиках различных типов аппаратуры для сейсморазведки;
- навыками интерпретации сейсмических разрезов

## Темы и разделы курса:

### 1. Основные уравнения сейсмологии неоднородных сред

Уравнения движения сплошной среды (акустический случай), волновое уравнение (однородная среда), общее решение волнового уравнения, граничные условия, потенциалы Гельмгольца, отражение и преломление плоских волн на границах раздела (уравнения для амплитуд), зависимость коэффициентов отражения и преломления от угла падения, полное отражение, головные волны. Функция Грина волнового уравнения в жидкости и в упругой среде.

### 2. Лучевая сейсмология неоднородных сред: применение и основные понятия

Вывод уравнения эйконала как приближения нулевого порядка при малой длине волны (процедура Дебая-Рытова), основные понятия лучевой сейсмологии, зона Френеля, луч как осевая линия совокупности зон Френеля при конечной длине волны, ограничение на применение лучевого приближения. Уравнения сейсмического луча. Обзор основных методов численного решения прямой задачи лучевой сейсмологии.

### 3. Теоремы Бетти и представления для упругих волн

Принцип взаимности для акустических колебаний. Представление поля давления в виде поверхностного интеграла (теорема представления). Теорема Бетти. Принцип взаимности для упругих волн. Теорема представления для поля упругих волн. Связь теоремы представления и принципа Гюйгенса-Френеля. Теорема представления как основа миграции Кирхгофа.

### 4. Методы генерации акустических колебаний в жидкости

Генерация колебаний путём создания газового пузыря в жидкости. Общие принципы развития газового пузыря, формируемое поле давления. Пневматические источники колебаний. Формирование газового пузыря за счёт электрического разряда в воде, электроискровой источник: физика процесса и особенности поля давления. Иные способы генерации акустических колебаний. Пьезокерамический источник. Перспективные направления: источники квазигармонических колебаний в жидкости.

### 5. Организация систем наблюдений в сейсморазведке

Методы регистрации сейсмических колебаний. Сейсмические приёмники и косы. Особенности волновой картины при сейсморазведке на акваториях. Волны-спутники и их влияние на форму и спектральный состав сигнала. Влияние заглупления источников и приёмников на результаты наблюдений. Приповерхностные наблюдения с оптимальным заглуплением: достоинства и недостатки. Перезаглуплённые системы регистрации. Непрерывное сейсмическое профилирование. 2D и 3D наблюдения на акваториях. Донные компонентные косы и донные станции: устройство и применение.

### 6. Базовая обработка данных сейсморазведки

Основные процедуры обработки данных сейсморазведки: ввод геометрии, ввод статики, подавление волны-спутника, фильтрация, деконволюция, ввод кинематических поправок. Вертикальный и горизонтальный скоростной анализ. Скорости ОГТ, пластовые скорости, их взаимосвязь. Суммирование ОГТ. Построение временных разрезов.

## 7. Миграция сейсмических данных

Назначение и принципы сейсмической миграции. Миграция как продолжение сейсмического волнового поля. Значение теоремы представления и принципа Гюйгенса-Френеля. Миграция до суммирования и после суммирования. Временная миграция Кирхгофа: достоинства и недостатки. Глубинная миграция, значение и способы построения скоростной модели для глубинной миграции. Глубинная миграция Кирхгофа. Миграция в обратном времени.

## 8. Инверсия сейсмических данных

Назначение и принципы сейсмической инверсии. Упругий импеданс и сдвиговый импеданс. Детерминистическая акустическая инверсия. SSDI инверсия. Последовательная инверсия. Модельный подход к инверсии. Достоинства и недостатки различных подходов. Упругая AVO-AVA инверсия. Назначение и принципы построения низкочастотной модели при инверсии, увязка со скважинными данными. Стохастическая инверсия: принципы, достоинства и недостатки.

## 9. Особенности организации и интерпретации данных сейсморазведки на углеводороды

Нефтегазоносные структуры и их отображение в сейсмических данных. Структурные признаки месторождений углеводородов. Связь флюидонасыщения и фильтрационно-емкостных свойств пород-коллекторов с эффективными свойствами среды (обзор). Отражение субсейсмической трещиноватости в сейсмических атрибутах (импедансы, когерентность и др.). Атрибутный анализ. Характерные параметры морских сейсмических съёмки на углеводороды. Интерпретация результатов.

## 10. Особенности организации и интерпретации данных инженерной сейсморазведки

Задачи, решаемые в ходе инженерно-геофизических исследований. Характерные параметры инженерной сеймики, используемая аппаратура, методики и системы наблюдения. Сейсморазведка высокого, сверхвысокого и ультравысокого разрешения: их назначение и возможности. Особенности обработки и интерпретации результатов морской инженерной сеймики. Опасные геологические объекты, выделяемые при помощи инженерной сеймики.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Физические основы радиозкологии**

#### **Цель дисциплины:**

Приобретение знаний и освоение математических методов переноса радионуклидов в атмосфере, гидросфере и литосфере, роли биологических путей в переносе загрязнителей.

#### **Задачи дисциплины:**

- освоение методов оценки концентраций загрязнителей и создаваемых дозовых нагрузок на население;
- исследования источников радиационного воздействия в окружающей среде;
- анализ радионуклидного загрязнения окружающей среды в ядерном топливном цикле и дозовых нагрузок персонала и населения;
- осознание необходимости учитывать эффекты воздействия на окружающую среду радиационных технологий.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- физические закономерности процессов переноса радионуклидов в атмосфере, гидросфере и литосфере и математические модели, описывающие эти процессы;
- методы оценки концентраций загрязнителей и их воздействия на человека;
- источники радиации в биосфере и радиоактивное загрязнение окружающей среды при использовании искусственных источников радиации;
- методики оценки дозовых нагрузок на население при использовании радиации в медицине и при получении энергии на АЭС;
- проблемы накопления, хранения и захоронения радиоактивных отходов.

##### **уметь:**

- использовать существующие методы расчетов миграции радионуклидов в окружающей среде и оценки дозовых нагрузок на население при выбросах и сбросах радионуклидов;

- оценивать ущерб и пользу применения радиационных технологий;
- определять целесообразность применения радиации в различных сферах деятельности;
- убедительно доказать экономическую и экологическую безопасность развития атомной энергетики.

**владеть:**

- способностью использовать полученные знания при оценке радиационной обстановки в окружающей среде для любого источника радиации;
- методами анализа уровня проектной документации с точки зрения оценки радиационного воздействия на объекты биосферы;
- умением разрабатывать оптимальные варианты использования радиационных технологий с точки зрения экологического состояния окружающей среды;
- способами оценки ущерба и пользы применения радиационных технологий.

**Темы и разделы курса:**

1. Выпадение примесей на поверхность почвы.

Сухое и мокрое осаждение, дефляция.

Модели расчета плотности осаждения радионуклидов на почву.

2. Миграция радионуклидов в биосфере.

Рассеяние примесей в атмосфере.

Физические процессы в атмосфере, определяющие миграцию примесей

Классификация категорий устойчивости атмосферы и условий выброса.

Модели миграции радионуклидов в атмосфере. Гауссова модель.

Функция истощения за счет мокрого и сухого осаждения и радиоактивного распада.

Вторичный ветровой подъем. Учет дочерних продуктов распада.

3. Миграция радионуклидов в наземной среде.

Закономерности распределений радионуклидов в почвенном слое.

Поступление радионуклидов в растения, животных и человека.

Камерные модели, описывающие накопление радионуклидов в биоте.

#### 4. Перенос примесей в гидросфере.

Процессы и основные закономерности миграции радионуклидов в гидросфере.

Особенности миграции радионуклидов в морских и пресных водоемах.

Модели расчетов концентраций радионуклидов в элементах гидросферы.

#### 5. Проблемы хранения и захоронения радиоактивных отходов и отработанного ядерного топлива.

Классификация РАО и методы обращения с ними.

Способы хранения и захоронения РАО.

Долговременные последствия возможного попадания РАО в окружающую среду.

#### 6. Радиационный фон от искусственных источников радиации.

Дозовые нагрузки на население при использовании излучений в медицине.

Радиоактивное загрязнение среды в результате ядерных испытаний.

#### 7. Радиоактивное загрязнение при нормальной эксплуатации АЭС.

Типы ядерных реакторов АЭС.

Источники радиоактивности на АЭС.

Миграция радионуклидов на АЭС.

Радиоактивные отходы АЭС.

Дозы персонала и населения при нормальной эксплуатации АЭС.

#### 8. Радиоактивное загрязнение среды при транспортировке радиоактивных материалов.

Радиоактивное загрязнение биосферы на начальной стадии ЯТЦ.

Радиоактивность при транспортировке ОЯТ.

#### 9. Радиоактивное состояние окружающей природной среды.

Естественное фоновое облучение. Источники естественного фонового облучения: радиоактивные семейства, дионуклиды вне пределов семейств, космогенные радионуклиды; космическое излучение.

Естественная радиоактивность биосферы: радиоактивность горных пород, почвы, атмосферы, гидросферы, биоты, человека.

Природный радиационный фон.



10. Радиоактивность на заключительной стадии ЯТЦ.

Источники радиоактивного загрязнения на радиохимическом заводе.

Дозовые нагрузки от выбросов и сбросов РХЗ.

Глобальное загрязнение окружающей среды в ЯТЦ.

11. Радиоактивность на начальной стадии ЯТЦ.

Добыча и переработка урановой руды.

Очистка, конверсия и обогащение топлива.

Изготовление ТВС.

12. Радиозэкология - раздел экологии.

Задачи радиозэкологии и решаемые проблемы.

13. Способы обращения с ОЯТ.

Способы обращения, хранения и захоронения ОЯТ.

Оценка радионуклидного загрязнения окружающей среды при хранении и захоронении ОЯТ и РАО.

14. Технологически повышенное естественное фоновое облучение.

Полеты на самолетах.

Производство фосфатных руд.

Выбросы ТЭС на органическом топливе.

Излучение строительных материалов.

Дозы от товаров широкого потребления.

15. Формирование поглощенных доз в воздухе в результате радиоактивных выбросов.

Прямое внешнее облучение от облака.

Ингаляционное поступление.

Внешнее облучение от радионуклидов в почве.

Перенос радионуклидов по пищевым цепям.

Методы расчета поглощенных доз внешнего и внутреннего облучения.

16. Формирование поглощенных доз при сбросе радионуклидов в водоем.

Внешнее облучение.

Непосредственное потребление воды.

Перенос по пищевым цепям.

Использование воды для орошения.

17. Характеристики воздействия радиации на биоту и человека.

Основные принципы нормирования.

Санитарно-гигиеническое и экологическое нормирование.

Дозовые характеристики полей излучений.

Дозиметрические модели радиационного воздействия на человека при внешнем и внутреннем облучении.

Модели распределения населения при оценке радиационных последствий.

18. Ядерный топливный цикл и радиоактивное загрязнение окружающей среды.

Основные этапы ядерного топливного цикла и источники радиоактивного загрязнения при нормальной эксплуатации его объектов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Философия и культура здорового образа жизни**

#### **Цель дисциплины:**

Создать возможности для углубления знаний студентов о здоровом образе жизни. Обучить принципам, правилам и нормам здорового образа жизни в соответствии с тенденциями и веяниями современного общества. Углубить знания относительно культурно-философских аспектов в разрезе здорового образа жизни.

#### **Задачи дисциплины:**

- Детальное погружение в философский и культурологический аспекты ведения здорового образа жизни.
- Формирование желания ведения здорового образа жизни для более полноценного позиционирования в социальном обществе.
- Обучение использованию новых знаний и технологий, способствующих оптимальной настройке личной программы здоровья.
- Углубление в науки о человеке, непосредственно занимающихся здоровьем и использование последних исследований для дальнейшей социально-активной жизнедеятельности.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Основные философские и культурные аспекты здорового образа жизни;
- Историю становления понятий «здоровье», «здоровый образ жизни» в разрезе наук о человеке различной направленности;
- Современные стандарты в области общественного и личного здоровья, а также здоровьесберегающих технологий.

##### **уметь:**

- Использовать современные знания о здоровом образе жизни для улучшения качества жизни;

- С определенной точностью понимать и определять, какая линия поведения относится к здоровому образу жизни, а какая противоречит;
- Успешно применять перечень рекомендуемых процедур медико-биологического характера;
- Разбираться в тенденциях и направлениях ведения здорового образа жизни в рамках локального социального общества.

**владеть:**

- Различными методами оценки текущего состояния своего здоровья;
- Навыками построения личных тренировочных программ, диет, а также построения собственных биоритмических концепций;
- Пониманием физиологических процессов, происходящих в организме под действием тех или иных факторов.

**Темы и разделы курса:**

1. Основные системы организма

Концепция здорового образа жизни. Основные системы организма, их роль в жизнедеятельности человека. Понятие о пагубных привычках – алкоголь, курение, наркотики.

2. Философско-культурологический аспект здоровья

Понятие здорового образа жизни – с древнейших времен до современного общества. История становления и развитие физической культуры в России. Разница в понимании здорового образа жизни и подходов к физическому воспитанию в разных странах.

3. Медико-биологические основы здорового образа жизни

Понятие об «идеальной клетке». Мышечная деятельность. Проблемы анаболизма и катаболизма в организме. Современные технологии, направленные на улучшение здоровья и качества жизни. Вопросы правильного питания. Мифы о здоровом питании, БАДах, физической нагрузке и т.д.

4. Гигиена и сон, как неотъемлемые составляющие ЗОЖ

Современные тенденции развития гигиены, как науки. Наиболее важные для здоровья разделы гигиены. Сон и его детальные составляющие с точки зрения нейробиологии.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Философия, история и методология естествознания**

#### **Цель дисциплины:**

приобщить студентов к историческому опыту мировой философской мысли, дать ясное представление об основных этапах, направлениях и проблемах истории и философии науки, способствовать формированию навыков работы с предельными вопросами, связанными с границами и основаниями различных наук и научной рациональности, овладению принципами рационального философского подхода к процессам и тенденциям развития современной науки.

#### **Задачи дисциплины:**

- систематизированное изучение философских и методологических проблем естествознания с учетом историко-философского контекста и современного состояния науки;
- приобретение студентами теоретических представлений о многообразии форм человеческого опыта и знания, природе мышления, соотношении истины и заблуждения;
- понимание роль науки в развитии цивилизации, соотношение науки и техники и связанные с ними современные социальные и этические проблемы, умение различать исторические типы научной рациональности, знать структуру, формы и методы научного познания в их историческом генезисе, современные философские модели научного знания;
- знакомство с основными научными школами, направлениями, концепциями, с ролью новейших информационных технологий в мире современной культуры и в области гуманитарных и естественных наук;
- понимание смысла соотношения биологического и социального в человеке, отношения человека к природе, дискуссий о характере изменений, происходящих с человеком и человечеством на рубеже третьего тысячелетия;
- знание и понимание диалектики формирования личности, ее свободы и ответственности, своеобразия интеллектуального, нравственного и эстетического опыта разных исторических эпох.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

**знать:**

- структуру естественных и социо-гуманитарных наук, специфику их методологического аппарата;
- соотношение принципов и гипотез в построении научных систем и теорий;
- основы современной научной картины мира, базовые принципы научного познания и ключевые направления междисциплинарных исследований;
- концепции развития науки и разные подходы к проблеме когнитивного статуса научного знания;
- проблему материи и движения;
- понятия энергии и энтропии;
- проблемы пространства–времени;
- современные проблемы физики, химии, математики, биологии, экологии;
- великие научные открытия XX и XXI веков;
- ключевые события истории развития науки с древнейших времён до наших дней;
- взаимосвязь мировоззрения и науки;
- проблему формирования мировоззрения;
- систему интердисциплинарных отношений в науке, проблему редукционизма в науке;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях к естественным наукам;
- о Вселенной в целом как физическом объекте и ее эволюции;
- о соотношении порядка и беспорядка в природе, о проблемах нелинейных процессов и самоорганизующихся систем;
- динамические и статистические закономерности в природе;
- о роли вероятностных описаний в научной картине мира;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания для создания технических устройств;
- особенности биологической формы организации материи, принципы воспроизводства и развития живых систем;
- о биосфере и направлении ее эволюции.

**уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, гипотезы, доказательства, законы;
- применять методологию естествознания при организации конкретных исследований;
- дать панораму наиболее универсальных методов и законов современного естествознания.

**владеть:**

- научной методологией как исходным принципом познания объективного мира;
- принципами выбора адекватной методологии исследования конкретных научных проблем;
- системным анализом;
- знанием научной картины мира;
- понятийным и методологическим аппаратом междисциплинарных подходов в науке.

**Темы и разделы курса:****1. Возникновение и развитие науки на Западе и на Востоке**

Проблема возникновения науки в древности. Рецептурный и прикладной характер знания на Древнем Востоке. Рождение философии. Научные программы Платона, Аристотеля и Демокрита. Зарождение античной науки: математика, физика, астрономия и биология. Проблема социальной организации античной науки. «Мусический» культ и научно-философские школы. Александрийский Мусейон и дальнейшее развитие эллинистической науки. Наука Древнего Рима. Арабская средневековая наука. Наука в Европе в Средние века. Христианство и наука Спор веры и разума. Переосмысление античного наследия. Средневековый эмпиризм. Николай Кузанский и понятие бесконечности. Мировоззренческий поворот эпохи Возрождения. Возникновение науки Нового времени: основные концепции и ключевые персоналии. Ключевые исследовательские программы новоевропейской науки. Триумф ньютоновской физики и становление математического естествознания. Центральные теоретические постулаты и методы классического естествознания.

**2. Методология научного и философского познания**

Познание как философская проблема. Природа, основание и условия познания. Основные понятия: истина и ее критерии, истина и мнение, истина/заблуждение/ложь. Различные концепции истины. Чувственное и рациональное познание. Деление познавательных способностей (чувственность, рассудок, разум, понятие интеллектуальной интуиции). Субъект и объект познания. Возможности и границы познания. Период метафизики (XVII–XVIII вв.). Спор рационализма и эмпиризма Рационалистическое направление: метод дедукции и понятие интеллектуальной интуиции в философии Декарта и Спинозы. Декартовский пробабиллизм. Теория врожденных идей. Учение Лейбница об „истинах факта“ и „истинах разума“, о видах знания, об анализе и синтезе. Рационалистическая трактовка тезиса о соответствии бытия и мышления. Традиция английского эмпиризма: бэконовское учение об опыте, о роли индукции, об „идолах“ познания. Локковская модель научного познания. Тезис Беркли: быть — значит быть воспринимаемым. Юмовский скептицизм и психологизм, критика понятия причинности. Кантовское решение проблемы познания. Постановка вопроса о возможности познания. Пространство и время как формы чувственности. конструирование предметности в процессе познания. Разум как законодатель. Специфика кантовского понимания мышления. Критика возможности сверхчувственного познания. Понятие „вещи в себе“. Антиномии разума. Трактовка

познания в неокантианстве. Марбургская и баденская школы неокантианства. Неокантианская разработка теории познания. Деление наук на номотетические и идиографические. Проблема ценностей в Баденской школе. Логический позитивизм и «лингвистический поворот». Гносеологические вопросы в философии новейшего времени. Ф. Ницше: познание как выражение «воли к власти». Разум и интуиция в философии А. Бергсона. Природа познания и понимание истины в позитивизме и прагматизме. Теория познания в русской философской традиции: интуитивизм Н. Лосского. Отказ от идеи репрезентации у Д. Дьюи, Л. Витгенштейна, М. Хайдеггера. Логическая критика позитивизма К. Поппером: проблемы индукции и демаркации; принцип фальсификации; отношение к истине. Концепция роста науки К. Поппера: фаллибилизм и

теория правдоподобия. Развитие современной космологии и физики элементарных частиц.

Историческая критика позитивизма. Существуют ли «решающие эксперименты»? Тезис о

«несоизмеримости теорий». Куновская модель развития науки: научное сообщество и научная

парадигма, «нормальная» и «аномальная» фазы в истории науки. Модель исследовательских

программ И. Лакатоса: «жесткое ядро» и «защитный пояс гипотез»; «прогрессивный сдвиг

проблем» как критерий отброса исследовательских программ. Исторический релятивизм П.

Фейерабенда. Спор реализма и антиреализма в современной философии науки.

Социологизация современной философии науки. Спор о модели «внешней» и «внутренней»

истории Лакатоса. Место лаборатории в науке. Взаимоотношения науки и техники во второй

половине XX – начале XXI в.

Структура естественно-научного знания. Место математики и измерений. Место оснований и

теорий явлений. Место методологических принципов.

Взаимоотношение науки и техники. Происхождение техники и ее сущность. Проблема

научно-технического прогресса. Этические проблемы современной науки. Формы сочетания

науки и техники в XX в.

3. Современная философия о проблемах естественнонаучного знания

Понятие динамических и статистических закономерностей и вероятности как объективной характеристики природных объектов. Место принципов симметрии и законов сохранения.



Синергетика, самоорганизация и соотношение порядка и беспорядка. Модель глобального эволюционизма.

#### 4. Современная философия о проблемах естественнонаучного знания

Особенности наук о живом. Вопрос о редукции биологии и химии к физике. Противоречия между природой и человеком в наши дни. Глобальные проблемы современной цивилизации, возможности экологической катастрофы. Биосфера, ноосфера, экология и проблема устойчивого развития.

Междисциплинарные подходы в современной науке.

#### 5. Современная философия о проблемах социального и гуманитарного знания

Гуссерлевская критика психологизма в логике. Феноменология как строгая наука. Истина и метод: от разума законодательствующего к разуму интерпретирующему; Г.-Р. Гадамер, П. Рикер и др. «Философия и зеркало природы»: Р. Рорти. Философская антропология (Шелер, Гелен). Структурализм (Л. Леви-Брюль, К. Леви-Строс и др.); постструктурализм (Р. Барт, М. Фуко и др.). Фундаментальная онтология М. Хайдеггера. Герменевтика Х. Гадамера.

#### 6. Наука, религия, философия

Религия и философское знание. Ранние формы религии. Многообразие подходов к проблемам

ранних религиозных форм: эволюционизм (У. Тейлор), структурализм (Леви-Брюль, Леви-Строс), марксизм.

От мифа к логосу: возникновение греческой философии, противопоставление умозрительного и технического. Натурфилософия, онтология, этика, логика. Гармония человека и природы в древневосточной философии. Человек и природа в традиции европейской культуры. Эволюция европейской мысли от “фюсис” античности — к “природе” и “материи” Нового Времени. Наука Нового времени как наследница греческой натурфилософии. Натурфилософские традиции прошлого и современные философские и научные подходы к пониманию природы, отношений человека и природы.

Взаимоотношение мировых религий с философией и наукой. Решение проблем соотношения веры и разума, свободы воли и предопределенности в различных ветвях христианства и в исламе. Проблема возможности существования религиозной философии. Религиозно-философские концепции немецких романтиков (Ф. Шлейермахер). Религиозная философия С. Кьеркегора. Границы существования религиозной философии в рамках католицизма (неотомизм), протестантизма, православия. Русская религиозная метафизика.

#### 7. Проблема кризиса культуры в научном и философском дискурсе

Культ разума и идея прогресса эпохи Просвещения и антипросвещенческие иррационалистические течения конца XIX и вв. С. Кьеркегор, А. Шопенгауэр, Ф. Ницше. З. Фрейд, его последователи и оппоненты. Учение о коллективном бессознательном К.Г. Юнга. Антисциентизм и кризис культуры. Марксизм советский и западный, переосмысление марксистского наследия в творчестве представителей Франкфуртской школы социологии (М. Хоркхаймер, Т. Адорно, Г. Маркузе, Ю. Хабермас). Экзистенциализм (Ж.-П. Сартр, А. Камю, К. Ясперс), его основные проблемы и парадоксы.

Философский постмодерн (Лиотар, Бодрийар, Делез и др.). Образ философии и ее истории в современных философских дискуссиях.

#### 8. Наука и философия о природе сознания

Феномен сознания как философская проблема. Знание, сознание, самосознание. Реальное и идеальное. Бытие и сознание. Сознание–речь–язык. Вещь–сознание–имя. Сверхсознание–сознание–бессознательное. Принцип тождества бытия и мышления (сознания): от элеатов до Г. Гегеля. Сознание и самосознание в философии Г. Гегеля. Проблематика сознания у философов XIX-XX вв.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**Формульная литература или литература формул: Приключение, тайна, любовная история: формульные повествования как искусство и популярная культура**

### **Цель дисциплины:**

Раскрыть, что собой представляет «Литературная формула» как структура повествовательных или драматургических договоренностей, использованных в очень большом числе произведений.

### **Задачи дисциплины:**

- Показать, как возник черный или готический роман (от Мери-Шелли «Франкенштейн, или Современный Прометей» Мэри Шелли, «Элексиров Сатаны» Гофмана до «Тайн современного Петербурга» В.П. Мещерского и «Уединённого домика на Васильевском» В.П. Титова и А.С. Пушкина: от Брэма Стокера «Дракула» до русской повести 1900-1920-х гг.);
- показать, как устроен авантурный роман и романы-фельетоны (от Понсона де Тюррайля «Рокамболь» и его русских сиквелов, воплощенных в жизни и в литературе – «например, золотая молодежь в России 1880-х и громкое судебное дело «Черные валеты» – до В. А. Обручева «Земля Санникова» и «Плутония, Г. Адамова «Тайна двух океанов», Л. Платова «Секретный фарватер» и др.);
- познакомить с биографиями самых известных авантюристов всех времен и народов, которые стали героями романов;
- показать морфологию и структуру детективного жанра;
- объяснить, как возникают и на чем основаны читательские предпочтения.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- историческую и национальную специфику изучаемой проблемы;
- устанавливать межлитературные связи (особенно с русской литературой);

#### **уметь:**

- рассматривать литературные формулы разных времен в культурном контексте эпохи;

- анализировать литературные произведения, построенные с использованием клише, в единстве формы и содержания;
- пользоваться справочной и критической литературой (литературными энциклопедиями, словарями, библиографическими справочниками).

#### **владеть:**

- навыками ведения дискуссии по проблемам курса на практических занятиях;
- основными сведениями о биографии крупнейших писателей, представлять специфику жанров формульной литературы;
- навыками реферирования и конспектирования критической литературы по рассматриваемым вопросам.

#### **Темы и разделы курса:**

##### 1. Введение

Основные задачи и проблемы изучения истории формульной литературы

##### 2. Культура "высокая" и "низкая", элитарная и массовая

Понимание иерархии культурных слоев, категорий, культурных контекстов

##### 3. Что такое литературная формула? Способы ее выявления

Литературная формула представляет собой структуру повествовательных или драматургических конвенций, использованных в очень большом числе произведений.

Эти формулы появляются стихийно путем отбора читателями множества книг. Читатели книги определяют какие формулы будут существовать, а какие массовый читатель не заметит. Кавелли считает, что есть закономерности, по которым эти формулы становятся популярными, более того, он считает, что они укоренены глубоко в человеческой культуре и изменяются под запросы общества в соответствии с текущими потребностями

##### 4. Типология формульного мышления. Культурные стереотипы и сюжетные формулы

Формулы становятся коллективными продуктами культуры, поскольку они наиболее удачно артикулируют модель воображения ряда предпочитающих их культурных групп. Литературные модели, которые не выполняют такой функции, не становятся формулами. Когда господствующие в группе установки меняются, возникают новые формулы, а в недрах старых появляются новые темы и символы, поскольку формульная литература создается и распространяется исключительно на коммерческой основе. А при том, что этому процессу свойственна определенная инерция, создание формул во многом зависит от отклика аудитории. Существующие формулы эволюционируют в ответ на новые запросы

##### 5. Архетипы или образы (patterns) в различных культурах

Определенные сюжетные архетипы в большей степени удовлетворяют потребности человека в развлечении и уходе от действительности. Но, чтобы образцы заработали, они

должны быть воплощены в персонажах, среде действия и ситуациях, которые имеют соответствующее значение для культуры, в недрах которой созданы. Сюжетная формула может успешной только при использовании существующих культурных стереотипов.

#### 6. Морфология вестерна, детектива, шпионского романа

Метод как результат синтеза изучения жанров и архетипов; исследования мифов и символов в фольклористской компаративистике и антропологии; и анализ практических пособий для писателей массовой литературы.

Анализ произведений популярных жанров (детективы, вестерны, любовные истории и пр.)

#### 7. Формула и жанр. Черный роман, готический роман

Истоки, национальные контексты появления стереотипов «литературы ужасов»

#### 8. Функции формульной литературы

Формулы становятся коллективными продуктами культуры, поскольку они наиболее удачно артикулируют модель воображения ряда предпочитающих их культурных групп. Литературные модели, которые не выполняют такой функции, не становятся формулами. Когда господствующие в группе установки меняются, возникают новые формулы, а в недрах старых появляются новые темы и символы, поскольку формульная литература создается и распространяется исключительно на коммерческой основе. А при том, что этому процессу свойственна определенная инерция, создание формул во многом зависит от отклика аудитории. Существующие формулы эволюционируют в ответ на новые запросы. Кинематограф и формульная литература

#### 9. Эскапизм и мимесис

Важная характеристика формульной литературы – доминирующая ориентация на отвлечение от действительности и развлечение. Поскольку такие формульные типы литературы, как приключенческая и детективная, часто используются как средство временного отвлечения от неприятных жизненных эмоций, часто подобные произведения называют паралитературой (противопоставляя литературе), развлечением (противопоставляя серьезной литературе), популярным искусством (противопоставляя истинному), низовой культурой (противопоставляя высокой) или прибегают еще к какому-нибудь уничижительному противопоставлению.

Кавелти считает, что в «высоком искусстве» преобладает принципа мимесиса, а в формульной литературе — эскапизм.

Напомним, мимесис основной принцип эстетики, смысл которого заключается в том, что искусство подражает действительности. Эскапизм — уход из реального мира в мир иллюзий.

Миметическая литература стремится показать мир в его реальности: скучный, лишенный смысла, неоднородный, неструктурированный. В литературе эскапизма (формульной) создаются художественные, идеальные, упорядоченные миры.

Миметическое и формульное – это два полюса, и большая часть литературных произведений находится между ними. Лишь немногие романы, отражающие реальную действительность, начисто лишены идеального компонента.

Формульное произведение синтез мимесиса и эскапизма.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Фотохимия и спектроскопия планетных атмосфер**

#### **Цель дисциплины:**

- формирование у студентов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических и экспериментальных концепций в области спектроскопии и химии атмосферы;
- развитие умений, основанных на полученных знаниях, позволяющих на творческом уровне создавать и применять методы для исследования планетных атмосфер;
- получение студентами навыков самостоятельной исследовательской работы, предполагающей изучение специфических алгоритмов, инструментов и средств;
- получение практических навыков использования данных современных космических экспериментов для решения задач.

#### **Задачи дисциплины:**

- получение базовых знаний, необходимых студенту для проведения научных исследований в рамках своей магистерской работы.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основы физики и химии планетных атмосфер;
- основы атмосферной оптики и спектроскопии;
- основы молекулярной физики;
- основные типы оптических и спектрометрических инструментов для исследования атмосфер планет.

##### **уметь:**

- пользоваться знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач планетной физики;
- видеть в задачах физическое содержание;
- делать численные оценки по порядку величины;

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций в планетной физике;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах.

**владеть:**

- работы с современной научной литературой по данному вопросу;
- культурой постановки и моделирования задач планетной физики;
- практикой исследования и решения задач физики планет;
- навыками теоретического анализа реальных задач в различных областях космического пространства.

**Темы и разделы курса:**

1. Свойства планет и их атмосфер.

Общие свойства планет и их атмосфер. Спутники планет, обладающие атмосферой. Типы планетных атмосфер по химическому составу. Связь с происхождением планет.

2. Барометрическая формула; шкала высот; критерий верхней границы атмосферы.

Вывод и значение барометрической формулы; понятие шкалы высот; критерий верхней границы атмосферы. Турбулентная и молекулярная диффузии. Потеря планетой атмосферного вещества (escape).

3. Уравнение теплового баланса в одномерном приближении.

Уравнение теплового баланса для атмосферы в одномерном приближении. Его решение для термосферы.

4. Уравнение Шредингера. Квантовые числа для H-подобных атомов. Оптические переходы в атомах; правила отбора.

Молекулярная спектроскопия. Различные виды внутренней энергии молекул. Электронные, колебательные и вращательные переходы. Примеры спектров.

5. Молекулярная спектроскопия.

Пропускание атмосферы при молекулярном поглощении света. Интенсивность линии. Коэффициенты Эйнштейна. Поглощение молекулы в выделенной линии. Эквивалентная ширина. Кривая роста.

6. Пропускание атмосферы при молекулярном поглощении света.

Пропускание атмосферы при молекулярном поглощении света. Интенсивность линии. Коэффициенты Эйнштейна. Поглощение молекулы в выделенной линии. Эквивалентная ширина. Кривая роста.

7. Контур спектральных линий молекулярного поглощения.



Контур спектральных линий молекулярного поглощения. Механизмы уширения линий. Спектроскопическая база HITRAN. Сечение поглощения.

8. Спектроскопические методы измерения температуры атмосферы.

Основы спектроскопических методов измерения температуры атмосферы в ИК и УФ диапазонах спектра. Методы и используемые инструменты.

9. Спектроскопия и фотохимия атмосферы Венеры.

Спектроскопия и фотохимия атмосферы Венеры. Общий спектр Венеры в УФ, видимом и ИК диапазонах. Спектральные окна прозрачности атмосферы. Ночное свечение. Исследования содержания H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub> и O<sub>3</sub>.

10. Спектроскопия и фотохимия атмосферы Марса.

Спектроскопия и фотохимия атмосферы Марса. Спектр Марса в диапазоне отраженного солнечного излучения и в тепловом диапазоне. Циклы углекислого газа и воды на Марсе. Озон и поиски метана на Марсе.

11. Химия и спектроскопия атмосфер планет-гигантов, некоторых их спутников и Плутона. Поиски атмосфер у экзопланет.

Химический состав и исследования спектроскопическими методами атмосфер планет-гигантов, некоторых их спутников (на примере Ио, Титана, Тритона) и Плутона, как представителя малых планет. Методы и возможности поиска атмосфер у экзопланет.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Функции Грина и квантово-полевые методы в теории конденсированного состояния**

#### **Цель дисциплины:**

Дать студентам базовые знания, необходимые для понимания на современном уровне различных физических явлений в физике конденсированного состояния, а также навыки, позволяющие исследовать на основе современных методов теоретические модели, соответствующие исследуемому физическому явлению и определить пределы применимости используемых методов; смоделировать физический процесс на компьютере.

#### **Задачи дисциплины:**

- Изучение современного математического аппарата квантовой теории;
- овладение студентами аналитическими и численными методами моделирования многочастичных систем для описания свойств различных конкретных физических систем.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- определение функций Грина, когерентных состояний, континуального интеграла, особенности Монте-Карло моделирования квантовых систем, динамической теории среднего поля, метода функциональной ренормгруппы, способы описания электронного транспорта в конденсированных системах, физические свойства макро- и наноскопических систем.

##### **уметь:**

- строить теорию возмущений для квантовых систем, вычислять аналитически функции Грина и простые континуальные интегралы, формулировать необходимые физические наблюдаемые в виде континуальных интегралов, извлекать из них информацию о физических свойствах, применять метод Монте-Карло, вычислять транспортные свойства квантовых систем.

##### **владеть:**

- навыками Монте-Карло моделирования квантовых систем, некоторыми приемами применения динамической теории среднего поля и метода функциональной ренормгруппы.

## Темы и разделы курса:

### 1. Основные понятия: вторичное квантование, ферми-газ

Вторичное квантование. Операторы рождения и уничтожения. Числа заполнения. Идеальный Ферми газ. Электроны на Ферми поверхности.

### 2. Модель Хаббарда. Теория линейного отклика

Модель Хаббарда. Теория линейного отклика.

### 3. Опережающие и запаздывающие функции Грина для бозонов и фермионов. Термодинамическая теория возмущений

Запаздывающие и опережающие функции Грина, их аналитические свойства, связь с физически наблюдаемыми величинами, представление Лемана. Полюсы функций Грина. Термодинамическая теория возмущений.

### 4. Температурные функции Грина. Теорема Вика

Представление взаимодействия. Оператор хронологического упорядочения. Температурные функции Грина и их связь с опережающими и запаздывающими функциями. Функции Грина невзаимодействующих частиц, теория возмущений для функций Грина. Теорема Вика.

### 5. Фейнмановские диаграммы

Фейнмановские диаграммы. Правила построения диаграмм. Уравнение Дайсона. Приближение случайных фаз, теория среднего поля.

### 6. Когерентные состояния

Когерентные состояния. Когерентные состояния для бозонов. Гамильтониан в базисе когерентных состояний. Фермионы. Грассманова алгебра.

### 7. Функциональный интеграл по когерентным состояниям

Фейнмановский интеграл по траекториям. Функциональный интеграл по когерентным состояниям. Представление статистической суммы в виде континуального интеграла. Гауссовы континуальные интегралы.

### 8. Вывод диаграммной техники из континуального интегрирования

Вывод функций Грина свободных частиц из континуального интеграла. Производящие функционалы для взаимодействующих полей. Производящий функционал для связанных диаграмм. Вывод диаграммной техники из континуального интегрирования.

### 9. Применение метода функций Грина к исследованию магнетизма в рамках модели Гейзенберга

Представление Дайсона-Малеева. Применение метода функций Грина к описанию магнетизма в рамках модели Гейзенберга. Температурные зависимости термодинамических величин магнитных систем.

### 10. Применение метода функций Грина к описанию электронных систем в рамках модели Хаббарда

Применение метода функций Грина к исследованию модели Хаббарда. Приближение случайных фаз. Квантовые фазовые переходы. Температурные зависимости термодинамических величин вблизи квантового фазового перехода.

11. Применение метода функций Грина к описанию перехода металл-изолятор. Динамическая теория среднего поля

Функции Грина сильно коррелированных систем. Переход металл-изолятор. Введение в динамическую теорию среднего поля для сильно коррелированных систем. Динамическая теория среднего поля (DMFT) как локальный аналог решеточных теорий. Уравнения DMFT. Фазовая диаграмма перехода металл-изолятор.

12. Применение метода функций Грина к описанию квантовых фазовых переходов в рамках спин-фермионной модели. Магнитные корреляции вблизи квантовых фазовых переходов

Применение метода функций Грина к описанию квантовых фазовых переходов в рамках спин-фермионной модели. Частотные, импульсные, и температурные зависимости физических величин вблизи квантового фазового перехода.

13. Применение метода функций Грина к описанию сверхпроводимости

Применение функций Грина к описанию сверхпроводимости. Теория БКШ. Уравнения Горькова и их решение.

14. Введение в метод функциональной ренормгруппы для коррелированных систем

Введение в метод функциональной ренормгруппы для коррелированных систем. Различные виды обрезки – в импульсном, частотном пространстве, температурная, по взаимодействию. Различные виды параметризации вершин межэлектронного взаимодействия, разделение каналов рассеяния.

15. Описание линейного электронного транспорта. Транспортные, электронные и магнитные свойства систем квантовых точек

Описание линейного электронного транспорта. Формула Ландауэра. Транспортные, электронные и магнитные свойства систем квантовых точек – рассмотрение линейной и кольцевой геометрии. Неравновесные функции Грина. Техника Келдыша.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Функциональные методы в теории неупорядоченных систем**

#### **Цель дисциплины:**

- изучение современных методов описания неупорядоченных систем, основанных на технике функционального интегрирования;
- формирование навыков работы с различными типами нелинейных сигма-моделей, которые в настоящее время являются стандартными средствами для описания квантового транспорта в неупорядоченных системах.

#### **Задачи дисциплины:**

- обзор квантовых поправок в теории электронного транспорта в мезоскопических системах и теории случайных матриц;
- изложение метода суперсимметричной сигма-модели в применении к неупорядоченным металлам;
- изучение непертурбативных эффектов на примере прелокализованных состояний и точного решения квазиодномерной локализации;
- краткое изложение келдышевской техники для неравновесных систем и основанного на ней сигма-модельного подхода.

Знакомство студентов с основными понятиями и идеями в этой области, с постановкой задач и подходами к их решениям. Предполагается, что прослушав этот курс, студенты смогут читать и понимать текущую научную периодику в этой области.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные понятия по теме дисциплины.

##### **уметь:**

- пользоваться развитыми в рамках дисциплины методами исследования, решать задачи по теме дисциплины.

**владеть:**

- математическим и понятийным аппаратом и методами исследований, составляющими содержание дисциплины.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение. Квантовые поправки. Теория случайных матриц. Взгляд математика. Грассмановы переменные. Основы суперсимметричного подхода. Суперсимметричная  $\sigma$ -модель для GUE.

Вводная лекция. Квантовые поправки.

Теория случайных матриц; область применимости.

Диаграммная техника для случайных матриц.

Вигнеровский полукруг для плотности состояний.

Крестовая диаграммная техника для неупорядоченного металла.

Формула Друде.

Однопетлевая квантовая поправка к проводимости.

Квантовые поправки к парному коррелятору уровней Альтшулер–Шкловский.

Зачем нужна  $\sigma$ -модель.

Теория случайных матриц. Взгляд математика.

Отталкивание уровней.

Совместная функция распределения собственных значений.

Метод ортогональных полиномов.

Распределение ближайших соседей.

Флуктуации числа уровней в полосе.

Нестандартные ансамбли случайных матриц.

Грассмановы переменные. Основы суперсимметричного подхода.

Суперсимметричная  $\sigma$ -модель для GUE.

Вигнеровский полукруг.

$\sigma$ -модель для парного коррелятора.

2. Плотность состояний на нижнем уровне Ландау в присутствии беспорядка. Поглощение энергии для зависящих от времени случайных матриц. Келдышевская  $\sigma$ -модель для зависящих от времени случайных матриц. Квантовая поправка к омической диссипации.

Плотность состояний на нижнем уровне Ландау в присутствии беспорядка.

Поглощение энергии для зависящих от времени случайных матриц.

Параметрическая статистика уровней.

Два режима поглощения.

Адиабатический предел.

Формула Кубо.

Келдышевская техника для неравновесных систем.

Келдышевская  $\sigma$ -модель для зависящих от времени случайных матриц. Квантовая поправка к омической диссипации.

3. Суперсимметричная  $\sigma$ -модель. Продолжение. Суперсимметричная  $\sigma$ -модель для неупорядоченного металла. Аномально локализованные состояния.

Суперсимметричная  $\sigma$ -модель. Продолжение.

Парный коррелятор для GUE — интегрирование по седловому многообразию.

Суперсимметричная  $\sigma$ -модель для неупорядоченного металла.

Продолжение вывода.

Диффузоры и купероны.

Нульмерный предел и теория случайных матриц.

Роль "южного полюса" фермионной сферы.

Аномально локализованные состояния.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Христианское богословие и современная физика: история и современность**

#### **Цель дисциплины:**

обеспечить студентов объективными знаниями о взаимодействии религиозных и философских учений с наукой в разные эпохи — начиная с античности и заканчивая последними научными открытиями и философскими концепциями.

#### **Задачи дисциплины:**

- получение студентами серьезных знаний в области религиозной философии, истории науки и христианского богословия,
- овладение методическими навыками самостоятельной работы с философскими, религиозными и научными текстами;
- выработку у студентов общего представления о месте и значении науки и религии в истории человечества;
- понимание студентами отношения к науке и философии различных религиозных учений, прежде всего христианства;
- выработка полноценного представления об основных проблемах, возникающих при анализе философских, религиозных и естественнонаучных дисциплин.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- ключевые проблемы взаимоотношения христианства и естественных наук.
- основные подходы к решению проблем взаимоотношения христианства и естественных наук (в том числе различие научного и религиозного знания, их цели, предмета, языка и методов).
- христианское учение (и его источники) о человеке и мире (в том числе о цели, характере и основных этапах их творения, о положении человека в мире, о грехопадении первых людей и влияние этого на человеческую природу и все мироздание, о Спасении человечества и всего мира, о конце мира).
- историю взаимоотношения христианства и естественно-научной деятельности (в том числе религиозно-философские предпосылки зарождение науки Нового времени; примеры конфликтов между учеными и Церковью и примеры их плодотворного



взаимодействия; примеры ученых-христиан XIX-XXI вв., осуществивших в себе синтез веры и научного знания).

- базовые теоретические принципы создания текстов научно-апологетического характера;
- основные библиографические источники по проблеме взаимоотношения христианства и науки;
- поисковые системы для получения информации в данной области.

**уметь:**

- анализировать и осмысливать проблемную ситуацию, связанную с проблемами взаимоотношения христианства и естественных наук;
- соотнести исследуемую проблемную ситуацию с известными проблемами взаимоотношения христианства и естественных наук;
- проводить богословский анализ ключевых проблем взаимоотношения христианства и естественных наук на основе системного теологического подхода;
- работать с источниками христианского учения о человеке и мире при анализе проблемной ситуации;
- ориентироваться в литературе по истории и философии науки;
- общаться в рамках темы взаимоотношения христианства и науки (участвовать в конференциях, форумах, заседаниях и пр.);
- пользоваться различными профессионально-ориентированными источниками с целью написания научных работ по проблеме взаимоотношения христианства и науки, а также редактирования и экспертной оценки работ своих коллег в этой области;
- выстраивать и оформлять результаты своей научной деятельности.

**владеть:**

- навыком определения и формулировки проблем взаимоотношения христианства и естественных наук;
- навыком описания ситуации, составления модели, анализа результатов экспертной оценки.
- навыками устного, письменного, виртуального (в интернете) представления результатов своего исследования по проблеме взаимоотношения христианства и науки;
- навыками ведения научных дискуссий, полемик;
- навыками выступления с сообщениями, докладами;
- различными средствами коммуникации в ведении профессиональной деятельности.

## Темы и разделы курса:

### 1. Введение в дисциплину

Специфика предмета «Христианское богословие и современная физика: история и современность». Его предмет, задачи и методы. Обзор основных проблем взаимоотношения христианства и науки. Связь с естественными и гуманитарными науками, с одной стороны, и с богословскими дисциплинами – с другой. Обзор основных источников и пособий.

### 2. Наука и религия: сходства и различия. Познание религиозное и познание научное. Вера и разум

Проблема разграничения науки и религии. Сравнительный анализ науки и религии, выявление их различий и сходств. Исторический обзор различных способов решения проблемы отношения веры и разума: блаж. Августин («верую, чтобы понимать»), Тертуллиан («верую, ибо абсурдно»), Петр Абеляр («понимаю, чтобы верить»), Сигер Брабантский, М.В.Ломоносов (учение о двух истинах). Православное учение о вере.

### 3. История взаимоотношения науки и христианства

#### Раздел 3.1. Церковь и наука в I - первой половине II тысячелетия.

Отношение к античной науке и философии в раннем христианстве. Причины отсутствия прогресса в науке до XVII в. Были ли гонения на ученых в Средние века? Начало возрождения интереса к научному познанию мира в XIII в. Основные научные проблемы в эпоху схоластики.

#### Раздел 3.2. Христианство и генезис новоевропейской науки.

Религиозно-философские факторы генезиса естествознания Нового времени. «Естественная теология». Постулаты, лежащие в основе современной науки: вера в Бога – Творца и Законодателя мира, учение о человеке как образе Божиим, Боговоплощение как освящение мира, математизация естествознания, его теоретичность и экспериментальность. Отличие аристотелевской науки от галилеевской. Культурообразующая роль христианства. Роль отделения западной Церкви от Восточной. Влияние различных течений в западной Церкви на генезис науки. Роль магико-герметических идей эпохи Возрождения, Реформации и становления буржуазного способа производства в генезисе науки. Антиеретическая и антиокультурная направленность науки в XVII веке.

#### Раздел 3.3. Отношения западного христианства и науки в XVI-XX вв.

Первые конфликты: Коперник, Джордано Бруно, «дело Галилея». Критика Церкви и христианства в эпоху Просвещения. Теория эволюции Дарвина. Возникновение «научного атеизма». Ученые-христиане XVII -XX вв.: примеры личного синтеза веры и научного знания. Особенность религиозности ученых: И.Кеплер, Р.Декарт, И.Ньютон, Б.Паскаль, Г.Лейбниц, М.Фарадей, О.Коши, Дж.Максвелл, Л.Пастер, М.Планк, А.Эйнштейн, В.Гейзенберг, А.Комптон, Б.Раушенбах, Н.Боголюбов и др. Причины неверия многих современных ученых.

### 4. Современные проблемы взаимоотношения христианства и науки

#### Раздел 4.1. Естественное богопознание

Возможность познания Бога через самопознание и изучение окружающего мира. Религиозный опыт и попытки современного научного его объяснения. Проблема возможности доказательства бытия Бога. Различные доказательства бытия Бога: историческое, онтологическое, нравственное, космологическое, телеологическое. Современные научные открытия в области космологии и генетики и их теологическая интерпретация.

#### Раздел 4.2. Чудеса и законы природы.

Природа чудес. Проблема определения чуда. Различные определения: богословское, атеистическое, феноменалистическое, сущностное. Спор Лейбница и Ньютона по вопросу о чудесах. Чудо как событие, противоречащее законам природы, и как знамение. Онтологическое обоснование возможности чуда. Примеры чудес: уникальные (в т.ч. евангельские) и постоянно действующие. Жизнь как чудо с точки зрения физики. Попытка Шрёдингера объяснить жизнь с точки зрения физики. Чудо в истории: «может ли Бог сделать бывшее небывшим?» О так называемом противоречии всемогущества: «может ли Бог создать камень, который Сам не сможет поднять?» Примеры современных известных чудес (схождение Благодатного Огня и др.). Туринская плащаница.

#### Раздел 4.3. Происхождение и развитие мира: естественнонаучные модели и христианское учение.

Современные научные представления о происхождении и развитии мира. Библейский рассказ о шести днях творения и разные подходы к его согласованию с научными представлениями: расширенное толкование Шестоднева в свете естественнонаучных открытий; буквальное толкование с «подбором» научным данным, согласных с таким толкованием; понимание Шестоднева как сборника первобытных мифов Ближнего Востока и др. Проблема возникновения текста Шестоднева. Проблема длительности дней творения. Проблема времени в контексте соотнесения Шестоднева и науки. Сравнение библейских и научных взглядов на мир и человека. «Теистический эволюционизм».

Библейский рассказ о творении человека и современная эволюционистская теория антропогенеза. Проблема существования души, различные доказательства ее существования и бессмертия. Современные научные опровержения этих доказательств.

#### Раздел 4.4. Исторические проблемы Библии

Проблема историчности ветхозаветных событий: археологические данные, кумранские рукописи, тщательная методика переписывания Ветхого Завета в древности как гарантия подлинности текста. Историчность евангельских событий. Свидетельства нецерковных историков о Христе (Иосиф Флавий, Тацит, Плиний Младший, Светоний). Евангелия как исторические документы.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Цифровая педагогика**

#### **Цель дисциплины:**

Создать возможности для получения полноценных представлений и знаний у студентов о цифровой педагогике. Углубить знания относительно различных компонентов и синонимичных интерпретаций относительно цифровой педагогике. Обучить студентов использованию наиболее актуальных программ в сфере технопедагогике. Повысить уровень компетенции при использовании специальных программ, использующих возможности ИИ (искусственного интеллекта). Познакомить с понятиями педагогического дизайна и игропрактики.

#### **Задачи дисциплины:**

- Детальное погружение в структуру цифровой педагогике с подробным освоением каждого направления;
- использование новых знаний, программ и технологий, для их успешной реализации в индивидуальном образовательном процессе;
- углубление в педагогический дизайн и применение на практике программ, работающих на основе ИИ, в различных сферах жизни.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Основные направления цифровой педагогике;
- историю становления понятий «педагогика», «цифровая педагогика»;
- современные технологии и специализированные программы, применяемые в образовательном процессе.

##### **уметь:**

- Использовать современные знания и применять современные технологии для построения индивидуальных образовательных и карьерных траекторий;
- с определенной точностью понимать и определять полезность того или иного образовательного инструмента;

- разбираться в тонкостях работы с различными программами на основе ИИ;
- разбираться в тенденциях и направлениях цифровой и технопедагогике.

**владеть:**

- Различными образовательными программами на основе ИИ;
- навыками построения образовательных траекторий, руководствуясь знаниями, полученными в ходе обучения основам педагогического дизайна;
- элементами игропрактик и гейм дизайна.

**Темы и разделы курса:**

1. Основы цифровой педагогики. Её компоненты и интерпретации

Что такое цифровая педагогика? Какова её история? Актуальность этого направления в настоящее время.

2. Синонимичные интерпретации цифровой педагогики. Сходства и различия.

В чём отличие и сходство таких определений, как «цифровая педагогика», «электронная педагогика», «технопедагогика», «виртуальная педагогика», «киберпедагогика» и «мобильная педагогика»? Подробный анализ каждого направления.

3. Современные технологии на страже образования и карьерного роста.

Анализ различных образовательных программ из раздела цифровой педагогики, а также на основе искусственного интеллекта.

4. Практическое применение различных программ на базе ИИ.

Современные практики, из арсенала цифровой педагогики, включающие в себя педагогический дизайн, различные игропрактики и геймификацию. Примеры их применения в структуре различных образовательных процессов, корпораций, бизнес-тренингов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Численные методы в задачах геофизики**

#### **Цель дисциплины:**

- усвоение методологии, основных методов и подходов к математическому моделированию геофизических полей и процессов, получение практических навыков численного моделирования геофизических процессов.

#### **Задачи дисциплины:**

- закрепление знаний, связанных с численными методами решения физических задач, в том числе, задач геофизики;
- получение опыта решения практических задач геофизики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные методы численного моделирования геофизических процессов,
- основные подходы к программной реализации этих методов.

##### **уметь:**

- численно моделировать процессы распространения сейсмических волн в геосредах, фильтрации флюидов в пористых средах, температурных поля в массивах горных пород, перераспределения напряжений и деформаций в массиве горных пород при внешних механических воздействиях.

##### **владеть:**

следующими навыками:

- визуализации геолого-геофизической информации и результатов её обработки и интерпретации;
- разработки специализированных программ для ЭВМ.

## Темы и разделы курса:

### 1. Введение

Цель, задачи курса и его место в образовательном процессе.

### 2. Математическое программирование и организация вычислений

Принципы построения ЭВМ. Процессор, оперативная память, ПЗУ, системная шина. Периферийные устройства. Операционные системы. Общие принципы организации операционных систем. Многопроцессные и многопоточные системы. Разделение времени, памяти и других ресурсов. Система прерываний. Операционные системы Windows, UNIX (Linux, Free BSD, Sun OS и т.д.). Общие принципы математического программирования. Структурное программирование. Объектно-ориентированное программирование. Пакетный и диалоговый режимы обработки. Управление событиями пользовательского интерфейса. Языки программирования высокого уровня. Объектно-ориентированные языки. Специальные системы математических расчётов. Параллельные вычисления. Организация вычислений в многопроцессорных системах и кластерах.

### 3. Численные методы

Задачи аппроксимации и интерполяции функций. Интерполяция полиномами. Наилучшее равномерное приближение. Численное интегрирование функций. Численное решение систем линейных алгебраических уравнений. Прямые методы. Итерационные методы. Численное решение задач метода наименьших квадратов. Система нормальных уравнений, метод SVD-разложения. Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений и их систем. Разностные схемы. Численное решение уравнений в частных производных. Методы конечных разностей, конечных элементов и конечных объемов.

### 4. Численное моделирование геофизических полей и процессов

Методы расчёта полей времён сейсмических волн в слоистых и трёхмерно-неоднородных средах. Лучевые методы. Метод, основанный на численном решении уравнения эйконала. Методы расчёта волновых полей. Методы расчёта электромагнитных полей в коре Земли. Моделирование фильтрации флюидов в пористых средах. Расчёт термических полей в литосфере Земли. Вклад радиоактивности. Континентальная изотерма. Модели формирования океанической литосферы, океаническая изотерма. Формирование напряженно-деформированного состояния земной коры. Статическая определимость. Численное моделирование перераспределения напряжений и деформаций в массивах горных пород при внешних механических воздействиях. Моделирование необратимых механических процессов. Динамические, статические и квазистатические процессы. Расширенный метод конечных элементов, моделирование хрупкого разрушения. Специальные методы моделирования геофизических процессах. Метод динамики частиц.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Численные методы в механике деформируемого твердого тела**

#### **Цель дисциплины:**

- Освоение студентами основ механики деформируемого твёрдого тела (МДТТ).
- Ознакомление студентов с приложениями МДТТ к задачам безопасности атомных станций.
- Ознакомление с методом конечных элементов (МКЭ) на примере построения методологии численного решения задач нелинейной МДТТ и теплопроводности, стационарных и нестационарных.

#### **Задачи дисциплины:**

- Сообщить базовые сведения из механики и численных методов, представляющие собой элементы вычислительно-математической и механической культуры, необходимые для понимания основных методов и интерпретации получаемых результатов численного решения задач МДТТ.
- Изложить основы механики нелинейного деформирования (пластичность, ползучесть, большие деформации). Разобрать основные типы постановок динамических задач МДТТ.
- Проиллюстрировать теоретические основы МДТТ их практическими приложениями к типичным задачам.
- Рассказать о проблемах прочности защитной оболочки реактора.
- Изложить методологию МКЭ с достаточно общих позиций как общий метод решения дифференциальных уравнений в частных производных. Разобрать схемы построения конечных элементов основных типов, применяемых в МДТТ и других областях.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- определения основных величин МДТТ, постановки задач МДТТ: статическую и динамическую, в общей 3-мерной постановке и в пониженной размерности (плоская задача, изгиб и т.д.);
- понятия геометрической и физической нелинейностей, как их преодолевают в численном методе; основные понятия теории пластичности;



- основные понятия МКЭ, общая схема пространственной дискретизации и понятие пространственной аппроксимации в МКЭ, типы конечных элементов;
- конструкцию защитной оболочки, её назначение и основы функционирования.

#### **уметь:**

- абстрагироваться от несущественного при моделировании реальных физических ситуаций;
- пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных и прикладных задач и технологических задач;
- производить численные оценки по порядку величины;
- делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах;
- видеть в технических задачах физическое содержание;
- получать приблизительную оценку величины для выходного параметра задачи на основании данных о входных параметрах.

#### **владеть:**

- основными понятиями МДТТ и МКЭ, позволяющими ему понимать литературу по расчётам задач МДТТ;
- основными понятиями МДТТ и МКЭ, позволяющими ему разобраться в меню коммерческого кода типа ANSYS (модель материала, малые и большие деформации, тип конечного элемента, метод решения нелинейной алгебраической системы);
- основными понятиями МДТТ и МКЭ, позволяющими ему разобраться в результатах расчёта стандартным коммерческим кодом типа ANSYS (компоненты напряжений и деформаций, главные напряжения, эффективная пластическая деформация);
- навыками оценки НДС в простейших случаях "на бумаге □ карандашом".

#### **Темы и разделы курса:**

1. Механика деформируемого твёрдого тела (ДТТ).

Напряжённое состояние деформируемого твёрдого тела (ДТТ).

Деформация.

Упругость и определяющее соотношение. Уравнения МДТТ.

Способы упрощения уравнений и граничных условий.

Неупругость: пластичность.

Ползучесть.

Разрушение.

2. Метод конечных элементов (МКЭ).

О численном решении задач механики.

Дискретизация пространственной области.

Линейные одномерные элементы.

Метод перемещений: двумерная плоская задача.

Общие формулировки МКЭ.

Нелинейные квазистатические задачи.

Неполноразмерные элементы.

Контактное взаимодействие.

3. Динамика деформируемого твёрдого тела.

Уравнения движения. Принцип д'Аламбера. Постановки задач динамики ДТТ.

Дискретизация МКЭ уравнений динамики. Интегрирование по времени. Матрица масс, её диагонализация.

Явные схемы интегрирования. Неустойчивости численного решения. Условие Куранта. Матрица вязкого демпфирования.

Колебания и волны. Скорость звука в твёрдом теле. Частотные формы.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Численные методы решения уравнений в частных производных**

#### **Цель дисциплины:**

Целью дисциплины является знакомство студентов с современными численными методами решения уравнений в частных производных. Основной акцент будет сделан на следующих группах численных методов: метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод конечных объёмов, метод спектральных элементов. Для каждой группы численных методов рассматриваются элементы теории, методы дискретизации, способы численной реализации, а также решение возникающих алгебраических задач. Изложение ведётся на примере задач, возникающих при моделировании процессов распространения электромагнитного поля, фильтрации жидкости в пористой среде, решении системы уравнений линейной упругости. В курсе предусмотрена программная реализация студентами соответствующих методов на языке Python/C++.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся знаний по современным численным методам, применяемым для решения систем уравнений в частных производных;
- формирование у обучающихся умения формализовать постановку задачи и применить подходящий численный метод;
- формирование умений и навыков реализации расчётных алгоритмов на языках Python/C++.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- фундаментальные основы построения численных методов решения систем уравнений в частных производных основных типов;
- основные методы дискретизации УЧП и связанные теоретические понятия.

##### **уметь:**

- выбирать подходящий тип дискретизации в зависимости от задачи;
- строить численный метод, в том числе с применением открытых библиотек, на языке Python/C++;

-применять подходящий метод решения возникающих алгебраических задач.

**владеть:**

- теоретическими и практическими знаниями о системах дифференциальных уравнений и численных методах их решения.

- методами программной реализации численных методов.

**Темы и разделы курса:**

1. Метод конечных разностей. Элементы теории, принципы конструирования, и программная реализация современных разностных схем для гиперболических, параболических и эллиптических задач.

Принципы построения КР схем. Разностные схемы для гиперболических систем. Численная ошибка схемы. Компактные схемы. Противопоточная аппроксимация. Схемы высокого порядка. Ограничители наклона. Практикум.

Разностные схемы для параболических систем. Неявная схема. Интегрирование по времени, дискретизация Кранка-Никольсона. Практикум.

Разностные схемы для эллиптических систем. Свойства результирующих СЛАУ. Итерационные методы решения разреженных СЛАУ. Классические методы и методы Крыловского типа. Практикум.

2. Метод конечных элементов для эллиптических уравнений. Элементы теории, принципы построения КЭ схем, программная реализация.

Понятие слабого решения эллиптического уравнения. Вариационная формулировка. Разбиение области и выбор интерполяционных функций. Галёркинское приближение. Линейные и квадратичные КЭ на треугольниках. Билинейные и биквадратичные элементы. Ассемблирование глобальной матрицы. Свойства результирующих СЛАУ и методы их решения. Практикум.

Сходимость МКЭ для коэрцитивных самосопряжённых задач. Ошибка интерполяции. Априорные оценки ошибки в различных нормах.  $p$ - и  $h$ -сходимость.

Смешанный МКЭ. Консервативные КЭ схемы для уравнений Пуассона и Стокса. Аппроксимация в пространстве  $H(\text{div})$ . Конечные элементы Равьяра-Тома. Устойчивость смешанного МКЭ. Условие Ладыженской. Решение возникающих алгебраических задач. Практикум.

Векторный МКЭ. Консервативные численные схемы для уравнений Максвелла. Пространство  $H(\text{rot})$ . Элементы Неделека. Вариационная формулировка гармонической задачи системы уравнений Максвелла. Векторный МКЭ на треугольниках и прямоугольниках. Ассемблирование матриц. Практикум.

3. Метод спектральных элементов. Элементы теории, принципы построения СЭ схем, программная реализация.

Метод спектральных элементов. Проблема повышения порядка аппроксимации. Идея спектрального метода. Аппроксимация полиномами Лежандра-Лобатто. Преобразование координат. Построения спектрально-элементных схем для многомерных областей. Ассемблирование матриц. Свойства возникающих СЛАУ. Сходимость МСЭ и оценки. Эволюционные задачи. Практикум.

4. Метод конечных объёмов для гиперболических и параболических систем. Элементы теории, принципы построения КО схем, программная реализация.

Законы сохранения в дивергентной форме. Принципы МКО. МКО для гиперболических систем. Расщепление, инварианты Римана. Противопоточные схемы, схема Годунова. Схемы повышенного порядка. Ограничители наклона, TVD. Практикум.

Анализ аппроксимации, сходимости и устойчивости конечно-объёмных схем. МКО для параболических задач. Эволюционная нелинейная задача конвекции-диффузии. Способы аппроксимации потоков через границы ячеек. Свойства возникающих алгебраических задач. Явные и неявные схемы. Практикум.

Решение систем нелинейных алгебраических уравнений как задача многомерной оптимизации. Итерации Пикара. Итерации Ньютона. Практикум.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Шесть признаков заката культуры**

#### **Цель дисциплины:**

Создание макрообъяснительной модели становления культуры на базе культурно-исторической школы.

#### **Задачи дисциплины:**

- Выработать понятие о культурных эпохах и связанных с ними направлениях (Средние века, Возрождение, барокко, маньеризм, классицизм, Просвещение, романтизм, реализм, натурализм, символизм, модернизм, сюрреализм, экспрессионизм, авангардизм, постмодернизм).
- Выработать системные представления об истории культуры, представить эпохи в зарубежной словесности в типологическом освещении на материале литературных мистификаций.
- Организовывать и объединять различные элементы культуры, объясняя ее с позиций целостного подхода.
- Применять системный подход к изучению закатных явлений мировой культуры.
- Использовать системное, динамическое видение мирового культурного процесса.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- историческую и национальную специфику изучаемой проблемы.
- устанавливать межкультурные связи.

##### **уметь:**

- рассматривать признаки заката культуры разных цивилизаций в культурном контексте эпохи.
- анализировать произведения искусства в единстве формы и содержания.
- пользоваться справочной и критической литературой (литературными энциклопедиями, словарями, библиографическими справочниками).

- в письменной форме ответить на контрольные вопросы по курсу.
- самостоятельно подготовить к экзамену некоторые вопросы, не освещенные в лекционном курсе.

#### **владеть:**

- навыками ведения дискуссии по проблемам курса на практических занятиях.
- основными сведениями о биографии крупнейших писателей, представлять специфику жанров литературной мистификации.
- навыками реферирования и конспектирования критической литературы по рассматриваемым вопросам.

#### **Темы и разделы курса:**

##### 1. Введение

Наша современность – самое продуктивное время в истории культуры. За один день нашей жизни в мире появляется больше предметов прекрасного (или удобного, если говорить про культуру быта), чем за все европейское Средневековье в целом. Делается больше научных открытий, изобретается все больше удивительных приборов на пользу и во вред человечеству. Почему же общество не покидает тревога, что все это может скоро кончиться? Почему расцвет культуры связывают с временами войн, эпидемий, нищеты, а закат – с роскошью, развлечениями, праздностью? Почему общество не покидает тревога, что благополучная жизнь земной цивилизации может вот-вот закончиться?

##### 2. Маятник культуры. Оскар Вальцель и Макс Ферворн

Мучения науки при осознании факта: прогресс – не обязательное условие цивилизации. Понятие "маятника культуры" – движение от выражения идеи (идеопластика) к изображению внешней реальности (физиопластика) обратно – от внешнего правдоподобия к выражению внутреннего мира.

##### 3. Первобытный синкретизм

Мамонт как прародитель наук, искусств и ремесел. Почему с рисунка мамонта мы начинаем лекции по истории а) искусства, б) науки, в) физкультуры, г) религии, д) театра, е) поэзии, ж) танца и других явлений мировой культуры. Точно ли каменный топор был топором, и не с него ли началась история компьютера. Как язык детей помогает восстановить языковые процессы каменного века, и какой частью речи является слово ав-ав. Языческое многобожие – это разные боги или одна божественная сущность с тысячей имен и лиц.

##### 4. Появление индустрии развлечений

Что такое закат культуры, и почему жить на закате культуры веселее. Зарождение индустрии развлечений. Первый признак заката – появление спорта. От физической культуры как формы богослужения к спорту как развлечению в чистом виде. Как из греческой трагедии во славу бога Диониса выросла римская комедия для состоятельных горожан.

## 5. Рост материального благосостояния

Что паслось и росло в Древне Греции. Сервировка стола древних греков и древних римлян. Чем питались средневековые короли. Зачем нужна роскошь.

## 6. Сексуальная революция

Что такое сексуальная революция и как она проявилась в античности. Почему греческие философы рекомендовали любить мальчиков и жениться. Древний Рим: нравственный способ завести ребенка от жены добродетельного человека. Одежда и нравственность в Европе: почему Робинзон ходил по своему курортному острову в одежде из козых шкур? Главный подарок сексуальной революции начала XX века – любовь без одежды.

## 7. Появление мегаполиса

Какого размера были древние Афины и сколько семей в них жило. Идеальное государство в представлении Платона. Реплика древнего римлянина: «Вся сволочь тянется в Рим!». Признаки провинциала: ненависть.

## 8. Тиражирование искусства

Рассуждения об амфоре – знаке начала и конца, женщине внутри и мужчине снаружи, символе мира и человека, амулете от черных сил. Чем орнамент отличается от узора? Искусство духовное и искусство удобное. Первые примеры ширпотреба в культуре античности – штампованные чаши под бронзу III в. До РХ. Что нужно было сделать, чтобы посмотреть на Джоконду в XIX и XX вв. Как часто мог услышать прекрасную музыку в лучшем исполнении меломан XIX века.

## 9. Оптимизм как признак заката культуры

Мрачная юность и веселая старость. Возраст любимых героев русской литературы. Сорокалетняя «старуха» Раскольникова. Инфантилизм развитых культур. Культура начинается с трагедии и заканчивается фарсом. Прогнозы науки – что же дальше?



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Экономика и наукоемкие технологии**

#### **Цель дисциплины:**

Цель дисциплины «Экономика и наукоемкие технологии» – формирование у студентов общекультурных и общепрофессиональных интегральных компетенций магистра и конкретных знаний умений, и навыков в области экономики наукоемких технологий (НТ), организации и управления НТ, включая некоторые вопросы регулярного и проектного менеджмента в сфере науки и высоких технологий, вопросы инновационной деятельности.

Цель данной дисциплины также состоит в формировании представлений:

- об устойчивых связях результативности научно-технической и инновационной деятельности с экономическими реалиями и о необходимости учёта и использования экономических и организационно-управленческих аспектов в своей профессиональной деятельности;
- об экономических основах планирования и организации научных исследований и научно-технических разработок (НТР);
- о методах разработки и реализации инновационных проектов и методах управления научными исследованиями и НТР.

#### **Задачи дисциплины:**

- Знакомство студентов с теоретическими экономическими основами и практическими вопросами управления научно-техническими разработками (НТР) и инновационной деятельностью;
- освоение студентами подходов и методов системного экономического анализа сложных, комплексных, междисциплинарных проблем, к которым, в частности, относится оценки эффективности продуктов и технологий, являющихся результатами научно-технических разработок (НТР) и оценка перспектив развития направлений новых научных исследований и НТР;
- освоение студентами базовых знаний (понятий, закономерностей, концепций, методов и моделей) в области экономики наукоемких технологий;
- развитие у студентов представлений о связях и возможностях использования гуманитарных, социальных, экономических и естественнонаучных, качественных и количественных подходов и методов при анализе и решении задач разработки, развития и использования наукоемких технологий;

- приобретение теоретических знаний и практических умений и навыков в области планирования и организации научных исследований регулярного и проектного менеджмента в сфере науки и высоких технологий, инновационной деятельности и защиты интеллектуальной собственности;
- формирование представлений у студентов о роли экономических и организационно-управленческих аспектов в своей профессиональной научно-технической и инновационной деятельности;
- формирование у студентов представлений о значимости личной жизненной позиции и индивидуального поведения для обеспечения индивидуальной и коллективной безопасности.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- Методы и подходы для оценки эффективности и для сравнительного анализа эффективности потребительских продуктов и объектов техники и технологии;
- что такое научно-техническая разработка (НТР), инновация, инновационный проект, экономическую сущность инновации, как оценивать характеристики и перспективы конкретной инновации.
- основные требования, предъявляемые к инновационному проекту (ИП) и документам, регламентирующим и описывающим его планирование и выполнение на различных этапах разработки и реализации (Инновационное предложение, научно-техническая сущность инновации, бизнес-модель ИП, бизнес-план ИП, аналитические материалы по итогам выполнения отдельных этапов ИП и/или решения отдельных задач выполнения ИП, экспертные заключения на различных этапах реализации ИП и т.п.).
- как работает рынок инвестирования, что такое инвестиционные фонды, частные инвесторы и др., какие у них основные критерии для выдачи инвестирования и каких результатов они ожидают от инвестиций;
- основные характеристики, и методы оценки эффективности инвестиционных проектов;
- основные экономические характеристики необходимые для описания состояния и деятельности фирмы;
- основы анализа влияния внешних, в том числе макроэкономических факторов на научно-технические разработки (НТР) и инновационные проекты и основные взаимосвязи, и взаимозависимости экономических и финансовых показателей.

#### **уметь:**

- Строить модели для адекватного технико-экономического описания потребительских продуктов и объектов техники и технологии;
- проводить оценки эффективности и сравнительный анализ эффективности потребительских продуктов и объектов техники и технологии;

- грамотно формулировать технико-экономические предложения (в том числе инновационные идеи и предложения) в устной и письменной форме, выявлять заинтересованных лиц (стейкхолдеров), имеющих отношение к его реализации и учитывать их интересы при подготовке соответствующих предложений и проектов;
- анализировать технико-экономические перспективы инновационных предложений и инновационных проектов на различных этапах их реализации.
- строить и обосновывать свои модели инвестирования и разрабатывать инвестиционные предложения для различных инвесторов, в том числе и для инвестиционных компаний;
- определять стратегические цели фирмы в зависимости от реализованной идеи;
- проектировать финансово-экономические параметры фирмы необходимые для достижения поставленных стратегических целей и планировать пути их достижения.

#### **владеть:**

- Основами анализа перспективности конкретных направлений научных исследований и разработок и методами выявления задач, требующих решения для обеспечения повышения эффективности проводимых разработок;
- основами планирования, разработки и реализации инновационных проектов;
- основами оценки бизнеса с учётом стоимости ОИС и НМА;
- основами построения математических моделей для макроэкономического анализа экономического развития, а также для анализа влияния внешних экономических условий на организацию НТР и выполнение инновационных проектов.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Основные постулаты экономической теории и их роль в экономической жизни: общее экономическое равновесие (Вальрас); Парето-эффективность; равновесные стратегии при принятии решений; принципы оптимизации на микро и макро уровнях

В современных условиях экономического развития теоретические постулаты нужно применять с осторожностью. Экономика страны, как и вся мировая экономика, не находится в состоянии равновесия. Многочисленные внешние факторы (шоковые воздействия), рост и замедление темпов инфляции, постоянные научно-технические новшества выводят экономику из состояния равновесия, что значительно усложняет экономический анализ и прогнозирование развития.

При принятии решений экономическими агентами часто возникают ситуации, которые в теории игр описываются как равновесные (по Нэшу, по Парето). Они наблюдаются при производстве и распределении как частных благ, так общественных. При внедрении инноваций на предприятиях могут возникать и внешние эффекты (положительные и отрицательные), также являющиеся предметом нашего рассмотрения.

Эффективность и оптимизация по-прежнему являются ключевыми понятиями в сфере прикладной экономики, хотя и наблюдается их отход на второй план в политизированной, а порой и недобросовестной деятельности администраторов и менеджеров.

2. Оценка эффективности продуктов и технологий, являющихся результатами научно-технических разработок. Оценка перспектив развития направлений новых научных исследований и разработок

Эффективность потребительских продуктов, объектов техники и технологий определяется отношением полезного эффекта от их использования к величине приведённого (дисконтированного) потока измеренных в физических или денежных единицах затрат ресурсов на создание соответствующих объектов техники и технологий, на их эксплуатацию, поддержание их функционирования и затрат на их утилизацию по окончании срока службы.

На основании определения эффективности продуктов и технологий и анализа технико-экономических ограничений для её повышения появляется практическая возможность для сравнительного анализа эффективности соответствующих потребительских продуктов, объектов техники и технологий и возможность не только качественной, но и количественной оценки перспектив их модернизации и выбора оптимального режима их использования

Будут рассмотрены способы построения и примеры необходимых для проведения оценок эффективности технико-экономических описаний потребительских продуктов и объектов техники и технологий.

3. Организация финансирования научно-технических разработок и инновационных проектов. Инвестиции и оценка эффективности инвестиционных проектов и бизнеса предприятия

Рассматривается, как на различных этапах реализации НТР и инновационного проекта может быть организовано их финансирование, и кто может выступить в качестве инвестора.

Работа различных инвесторов, в частности, инвестиционных фондов, цели, под которые они выдают инвестиции и что ожидают получить взамен.

Рассматриваются основные методики, применяемые для оценки эффективности инвестиций и инвестиционных проектов и практика их проведения.

Будут рассмотрены способы организации НТР. Особое внимание будет уделено такой форме организации как инновационный проект. Будут рассмотрены этапы НТР и инновационного проекта и задачи, решаемые на каждом из них.

4. Фирма как бизнес-единица, осуществляющая, процессы производства продуктов и результатов НТР. Финансово-экономические параметры деятельности фирмы и ведения бизнеса

Знакомство с правовыми формами предприятий, производственным процессом, производственной программой, налоговыми отчислениями, организацией бухгалтерского учета.

Обзор основных стратегических целей фирмы и ключевых бизнес процессов для достижения стратегических целей. Например, первый год бесплатного пользования, а после 30 рублей арендной платы в год и нет рекламы, или бесплатная программа, но есть реклама. Один и тот же сервис, но разные подходы к бизнесу, разные стратегические цели. В первом случае компания, ориентировалась на максимизацию числа пользователей для получения инвестирования, во втором случае – на максимизацию прибыли с сервиса.

Критерии выбора стратегических целей в зависимости от реализуемой идеи; ключевые финансовые и экономические параметры, практика разработки финансово-экономических процессов; особенности деятельности фирм, специализирующихся на производстве наукоёмкой и высокотехнологичной продукции.

5. Макроэкономическая политика государства. Научно-техническая деятельность и экономическое развитие. Модели роста Солоу, Леонтьева. Качественные выводы из модели и их подтверждение на практике

Речь идет о наиболее сложных темах, изучаемых в макроэкономической теории. На модели Солоу, демонстрируется зависимость темпов роста экономики в долгосрочном периоде от начального фазового состояния (душевая капиталовооруженность), роста населения и темпов НТП. Качественные выводы согласуются с результатами экономического роста индустриально развитых стран. На основе экономической статистики макроэкономического развития студенты могут оценить степень удаления начального фазового состояния экономики выделенной страны от так называемой магистрали развития (режим самоподдерживаемого развития с оптимальным уровнем капиталовооруженности).

Модели Леонтьева демонстрируют взаимозависимости отраслей и видов экономической деятельности и, как следствие, влияние этих «скрытых» факторов на темпы экономического роста. Такие модели хорошо адаптированы к оцениванию эффективности научно-технических новшеств.

6. Бизнес игра: Оценка эффективности ведения бизнеса в сфере наукоёмких технологий

Есть 8 предприятий, мер города и лидер профсоюза. Все игроки связаны одним общим – озером. Прибыль предприятия зависит от чистоты озера, также, как и от переизбрания мэра. Каждый игрок стремится максимизировать свою прибыль, включая мэра, но из-за влияния принятых решений на состояние озера решение каждого игрока сильно влияет на решения других.

Цель игры – дать представлению участникам о рынке конкуренции наукоёмких технологий, где с одной стороны каждый участник максимизирует свою прибыль, не заботясь о других участниках, с другой стороны без взаимоотношений с другими участниками невозможно обойтись, т.к. их решения влияют на твою прибыль. Например, когда вышел Windowsphone для телефонов от Microsoft, перед многими компаниями встал выбор: Работать с данной

платформой или нет, растить специалистов самим или ждать выпускников из вузов? Как поведут себя ключевые конкуренты на данном рынке?

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Экономическая деятельность образовательной организации**

#### **Цель дисциплины:**

Познакомить слушателей с основами экономических отношений и процессов в системе образования.

#### **Задачи дисциплины:**

- знакомство с основными моделями, возможностями и особенностями финансирования среднего образования;
- изучение вопросов методологии и анализа финансовых инструментов, а также экономических ресурсов в экономических отношениях в образовательных организациях;
- рассмотрение тенденций и перспектив развития государственного и негосударственного секторов в образовании, основные модели частно-государственного партнёрства в образовании.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основы экономических отношений и процессов в системе образования;
- основные модели и возможности финансирования среднего образования;
- основы бухгалтерского учета образовательных организаций;
- особенности учета бюджетных образовательных учреждений;
- перспективы развития государственного и негосударственного секторов в образовании;
- основные модели частно-государственного партнёрства в образовании.

##### **уметь:**

- анализировать тенденции и перспективы развития государственного и негосударственного секторов в образовании;
- анализировать возможности финансирования образования;

- составлять и анализировать формы «Бухгалтерский баланс» и «Отчёт о финансовых результатах»;
- составлять отчетные формы по НДС, налогу на прибыль, НДФЛ, страховым взносам и налогу на имущество организаций;
- осуществлять подготовку исходных данных для проведения расчетов экономических и социально-экономических показателей, характеризующих деятельность образовательных организаций.

**владеть:**

- методологией и анализом финансовых инструментов и экономических ресурсов в экономических отношениях в образовательных организациях;
- основами финансово-хозяйственной деятельности образовательных организаций;
- основами бухгалтерского учёта и нормативно-правового регулирования образовательных организаций;
- основами налогообложения образовательных организаций.

**Темы и разделы курса:**

1. Экономика образовательных организаций (ОО)

1. Экономика образовательных организаций (ОО) всех форм собственности. Особенности функционирования ОО в условиях рыночной экономики.
2. Принципы коммерческого расчёта. Организация использования трудовых ресурсов и капитала организации. Издержки производства. Эффективность деятельности ОО
3. Правовое регулирование предпринимательской деятельности ОО. Организационно-правовые формы образовательных юридических лиц. Правовое положение субъектов предпринимательской деятельности.
4. Имущественная основа предпринимательской деятельности. Правовые средства осуществления предпринимательской деятельности. Защита прав субъектов предпринимательской деятельности

2. Бухгалтерский финансовый учёт ОО

1. Бухгалтерский финансовый учёт ОО. Основы и принципы бухгалтерского учёта.
2. Нормативное регулирование бухгалтерского учёта. Организация бухгалтерского учёта. План счетов бухгалтерского учёта. Первичный учёт. Учётная политика.
3. Учёт основных средств. Учёт материально-производственных запасов. Учёт нематериальных активов.
4. Учёт денежных средств. Наличные и безналичные расчёты. Порядок ведения кассовых операций. Учёт расчётов с персоналом. Учёт расчётов по отпускам, пособий по



временной нетрудоспособности. Учёт расчётов по кредитам и займам. Учёт расчётов с разными дебиторами и кредиторами.

5. Учёт финансовых вложений. Учёт затрат на производство. Учёт готовой продукции. Учёт собственного капитала. Состав расходов организации по обычным видам деятельности. Состав себестоимости продукции. Учёт финансовых результатов

6. Бухгалтерский управленческий учёт ООО. Организация управленческого учёта. Использование управленческого учёта при принятии управленческих решений.

7. Система учёта затрат и калькулирования себестоимости продукции (работ, услуг). Планирование и бюджетирование.

8. Бухгалтерская (финансовая) отчётность ООО. Концепция бухгалтерской (финансовой) отчётности. Состав бухгалтерской отчётности.

9. Строение Бухгалтерского баланса и Отчёта о финансовых результатах. Составление и анализ форм «Бухгалтерский баланс» и «Отчёт о финансовых результатах»

### 3. Налоги и налогообложение

1. Налоги и налогообложение. Система налогов и сборов в Российской Федерации.

2. Основные элементы налогообложения и их характеристика. Налоговое обязательство и его исполнение. Права и обязанности налогоплательщиков и налоговых органов.

3. Налоговый контроль. Налоговые правонарушения и ответственность за их совершение. Налоговая декларация.

4. Порядок исчисления основных налогов: налог на добавленную стоимость, налог на прибыль организаций, налог на доходы физических лиц, налог на имущество организаций, страховые взносы.

5. Специальные налоговые режимы: упрощённая система налогообложения. Организация налогового учёта и другие вопросы.

6. Составление отчётных форм по НДС, налогу на прибыль, НДФЛ, страховым взносам и налогу на имущество организаций

### 4. Правовое регулирование предпринимательской деятельности ООО

1. Правовое регулирование предпринимательской деятельности ООО. Правовое положение субъектов предпринимательской деятельности.

2. Организационно-правовые формы образовательных юридических лиц. Имущественная основа предпринимательской деятельности.

3. Правовые средства осуществления предпринимательской деятельности. Защита прав субъектов предпринимательской деятельности.

### 5. Анализ хозяйственной деятельности ООО

1. Анализ хозяйственной деятельности ОО. Экономический анализ в управлении образовательной организацией.
2. Методика экономического анализа. Факторы и показатели финансового состояния организации.
3. Анализ финансовых результатов. Анализ рентабельности активов. Методы оценки эффективности хозяйственной деятельности.
4. Анализ финансовой отчётности. Понятие и содержание анализа финансовой отчётности.
5. Анализ бухгалтерского баланса и пояснений к нему. Анализ отчёта о финансовых результатах и пояснений к нему.
6. Анализ финансового положения предприятия. Анализ отчёта о движении денежных средств.
7. Особенности анализа сегментарной отчётности. Особенности анализа консолидированной отчётности.
8. Формирование финансовой модели предприятия.

#### 6. Финансовый менеджмент ОО

1. Финансовый менеджмент ОО. Сущность, функции и задачи финансового менеджмента.
2. Основные концепции финансового менеджмента. Источники средств и методы финансирования организации. Финансовые ресурсы и цена капитала.
3. Управление оборотными средствами. Управление внеоборотными активами.
4. Оценка реальных инвестиций. Ценные бумаги и управление портфелем ценных бумаг.
5. Управление издержками предприятия. Финансовое планирование и прогнозирование.
6. Финансовые риски. Методы оценки финансовых активов.
7. Специфические аспекты и особенности финансового менеджмента в субъектах хозяйствования разных форм собственности и организационно – правовых форм.

#### 7. Особенности учета бюджетных образовательных учреждений

1. Особенности учета бюджетных образовательных учреждений.
2. Учёт нефинансовых активов, Учет материальных запасов в учреждениях бюджетного сектора в соответствии с ФСБУ 2020 года (Запасы).
3. Изменения в учете и порядок применения Федеральных стандартов в учреждениях госсектора в 2020 году.
8. Финансово-хозяйственная деятельность (ФХД) учреждений

1. Финансово-хозяйственная деятельность (ФХД) учреждений в 2020 году.
2. Новый порядок составления Плана ФХД и его исполнения.
3. Налоговый учет предпринимательской деятельности бюджетных и автономных учреждений.
4. Учет ФХД ОО на примере работы программы «1С: Бухгалтерия».

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Экспериментальная ядерная физика**

#### **Цель дисциплины:**

Познакомить студентов магистратуры с современной физикой ядро-ядерных столкновений, фотоядерных взаимодействий, реакций фрагментации ядер посредством изучения соответствующих физических явлений и закономерностей, основных экспериментальных и теоретических методов, применяемых для их изучения.

#### **Задачи дисциплины:**

Подготовить к самостоятельной научной работе в области релятивистской ядерной физики, познакомить с её главными достижениями и результатами. Научить работать с научной литературой по теме, ориентироваться в её многообразии, понимать язык, стиль и методологию оригинальных научных работ, критически оценивать их содержание.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

основные физические явления и закономерности релятивистской ядерной физики, наиболее известные и широко применяемые в этой научной области экспериментальные и теоретические методы, общие принципы построения мегаустановок.

##### **уметь:**

работать с научной литературой, искать и систематизировать научную информацию.

##### **владеть:**

основными понятиями и терминами современной физики ядро-ядерных столкновений, фотоядерных взаимодействий, реакций фрагментации ядер.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Вводная лекция. Тематика и организационные вопросы

Цели, задачи и предмет курса, его особенности. О самостоятельной работе слушателей (Journal Club). Общее представление о содержании курса. Феноменология ядро-ядерных столкновений, взаимодействие фотонов с ядрами, мультифрагментация ядер. Мегаэксперименты, различные типы детекторов.

## 2. Геометрия ядро-ядерных столкновений. Модель Глаубера и её параметры

Размеры ядер и распределения их ядерной плотности. Прицельный параметр и определение центральности события. Модель Глаубера для протон-ядерных и ядро-ядерных столкновений, функция перекрытия, полное сечение. Спектаторы и партисипанты. Модель Glauber Monte Carlo.

## 3. Электромагнитные взаимодействия ядер

Электромагнитные возбуждения и развал ядер в результате ультрапериферических взаимодействий. Спектр фотонов Вайцзеккера-Вильямса. Одиочная и взаимная диссоциация ядер. Электромагнитные взаимодействия ядер на ЛНС, вторичные ядра, мониторинг светимости коллайдера.

## 4. Фотоядерные реакции

Взаимодействие фотонов с ядрами, специфика фотоядерных реакций. Источники тормозного излучения и монохроматических фотонов. Феноменология фотоядерных взаимодействий. Гигантские резонансы, квазидейтонное поглощение, барионные резонансы и их модификация в ядерной среде. Универсальная кривая, модель векторной доминантности, экранирование.

## 5. Кинематика столкновений релятивистских ядер - I

Нерелятивистская, релятивистская и ультрарелятивистская частица. Точность вычислений. Световой конус. Пересчет величин из ЛС в СЦМ. Определения поперечной массы, быстроты и псевдобыстроты, их свойства и соотношения между ними. Центральные детекторы и передние калориметры эксперимента ALICE.

## 6. Кинематика столкновений релятивистских ядер - II

Условия экспериментов с фиксированной мишенью и на коллайдерах. Быстрота пучка, диапазон быстрот на различных ускорителях. Распределения вторичных частиц по скорости и псевдобыстроте, их формы, связь между ними. Инвариантное сечение.

## 7. Взаимодействия частиц и ядер: кинематика $1 \rightarrow 2$ , $1 \rightarrow 3$ и $2 \rightarrow 2$

Переменные (инварианты) Мандельштама  $s$ ,  $t$  и  $u$ . Связи между инвариантными и неинвариантными величинами в разных системах отсчета. Упругое рассеяние, угол вылета. Треугольная функция Кэллена. Диаграмма Далица.

## 8. Эллипсоид импульсов. Инклюзивные реакции, скейлинговые переменные

Эллипсоид импульсов. Понятие о кумулятивных процессах. Скейлинг Фейнмана в столкновениях адронов высоких энергий, переменная Фейнмана  $x_F$ , зависимость средней множественности от энергии, КНО-скейлинг. Нарушения законов скейлинга.

## 9. Партоновая структура нуклона, глубоконеупругое рассеяние, скейлинг Бьоркина

Партонные как точечные объекты внутри нуклона. Кинематика глубоконеупругого рассеяния лептонов на ядрах. Переменная Бьоркина. Система Брейта. PDF.

## 10. Мультифрагментация ядер. Переход ядерная жидкость-нуклонный газ

Ядерная фрагментация и мультифрагментация при низких и высоких энергиях. Фазовая диаграмма. Статистическая модель мультифрагментации, модель Ферми для развала лёгких ядер.

## 11. Фазовые переходы адронной материи, деконфайнмент

Фазовые переходы в столкновениях ядер высоких энергий Переход ядерной материи в состояние кварк- глюонной плазмы. Феноменология конфайнмента. Bag model. Эксперименты на CERN SPS, RHIC и LHC.

## 12. RAA , джеты, потери в QGP и подавление кваркония

Ядерный фактор модификации в зависимости от центральности и поперечного импульса для пионов, В- и D-мезонов, подавление джетов, потери партонами энергии. Кварконии, их плавление в КГП. Способы обнаружения КГП.

## 13. Базы научных публикаций по ядерной физике и физике высоких энергий

Использование Web of Science, Scopus, INSPIRE, Science Direct, SCImago, e-Library.ru для поиска публикаций по теме исследования. Импакт-факторы журналов, показатели цитирования.

## 14. Навыки работы с базами публикаций и данных по ядерной физике и физике высоких энергий. Практическое занятие

Базы оценённых ядерных данных ENDF, PDG, CDFE, база данных по физике высоких энергий [www.hepdata.net](http://www.hepdata.net)

## 15. Радиационная терапия

Воздействие радиации на здоровые клетки и клетки опухоли. Основные понятия и величины радиационной биологии и радиационной терапии. Принципы радиационной терапии. Схема традиционной радиационной терапии фотонами. Протонная и тяжелоионная терапия. Сравнение терапевтических пучков легких ядер.

## 16. Пространственно-временная в эволюция ядро-ядерных столкновениях. Радиальный и эллиптические потоки

Эволюция в поперечном направлении. Радиальный, направленный и эллиптический потоки, способы измерения  $V_2$

## 17. Начальные состояния Ландау и Бюркина. Эволюция в продольном направлении

Распределения по быстрой в сценариях Ландау и Бюркина, оценка плотности энергии в начальном состоянии.

## 18. Термодинамика и релятивистская гидродинамика для моделирования ядро-ядерных взаимодействий

Основные понятия релятивистской гидродинамики. Химический и кинетический freeze-out. Эволюция анизотропии начального состояния.

## 19. Статистическое описание выходов различных частиц: chemical and kinetic freeze-out

Основные положения статистической модели адронизации. Зависимость температуры и химпотенциала от энергии столкновений. Точки фризаута и фазовая диаграмма. The horn.

20. Дилептоны: модификация масс адронов в плотной и горячей материи

Измерения спектра дилептонов, в экспериментах DLS, CERES, NA48, NA60 адронный коктейль. DLS-puzzle. Brown-Rho против Rapp-Wambach.

21. НВТ-корреляции и фемтоскопия в ядро-ядерных столкновениях

НВТ-корреляции, определение размеров области из распределений вылетающих пионов и каонов,  $R_{out}$ ,  $R_{side}$ ,  $R_{long}$ . Полный объем эмиссии как функция энергии. Азимутально-дифференциальная фемтоскопия.

22. Теоретические основы НВТ-интерферометрии и фемтоскопии. Фемтоскопия расширяющегося файрбола (временные зависимости)

Аналогии между НВТ эффектами в радиоастрономии, атомной физике, физике ядра и элементарных частиц. Квантовая статистика и форма корреляционной функции. Фемтоскопия расширяющегося источника.

23. Обзор современных ускорительных экспериментов

Общие принципы конструкции установок ATLAS и CMS. Установка CBM. Внутренние трековые детекторы, электромагнитные и адронные калориметры, мюонные камеры. Принципы работы кремниевых полупроводниковых детекторов.

24. Электромагнитные калориметры: принципы работы и основные характеристики

Физические процессы в калориметрах. Развитие электромагнитного ливня. Радиационная длина. Критическая энергия. Параметры калориметров для экспериментов при различных энергиях. Гомогенные и гетерогенные калориметры.

25. Адронные калориметры

Взаимодействие адронов с веществом, адронный каскад. Средняя длина пробега до ядерного взаимодействия. Адронная и электромагнитная компоненты, невидимая энергия. Разрешение адронного калориметра. Продольный и поперечный профиль каскада. Проблема  $e/h$  отношения, компенсация.

26. Каскады, инициируемые протонами и ядрами в веществе

Прохождение протонов и ядер промежуточных энергий в тканеэквивалентных материалах и тяжелых материалах. Фрагментация ядер-снарядов, профиль распределения поглощённой энергии. Флуктуации потерь. Энергия, уносимая нейтронами, их спектры. Вклад деления ядер.

27. Принципы работы газовых детекторов. Ионизационные камеры и пропорциональные счетчики

Ионизация атомов и молекул заряженными частицами в газах. Режимы работы газовых детекторов: ионизационная камера, пропорциональный счетчик, счетчик Гейгера-Мюллера.

28. Тканеэквивалентные, многопроволочные пропорциональные, дрейфовые и времяпроекционные камеры, их применения

Тканеэквивалентный пропорциональный счетчик (ТЕРС) и определение относительной биологической эффективности радиации. Устройство многопроволочных пропорциональных камер, газовых электронных умножителей. Конструкции дрейфовых и времяпроекционных камер.

#### 29. Изучение ядро-ядерных столкновений: мегапроект NICA

Нуклотрон в ОИЯИ, коллайдер NICA, эксперименты BM@N и MPD по изучению ядро-ядерных столкновений. Общие схемы экспериментальных установок, Особенности взаимодействий ядер при релятивистских энергиях.

#### 30. Изучение ядро-ядерных столкновений при ультрарелятивистских энергиях: установка ALICE, проект коллайдера FCC-hh

Основные компоненты (детекторы) установки ALICE, преимущества в сравнении с CMS, ATLAS. pp, XeXe и PbPb сеансы. Модернизация установки. Проект коллайдера FCC-hh, ожидаемые параметры и сроки реализации проекта, проблемы и возможные пути их преодоления.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Экспериментальная ядерная физика**

#### **Цель дисциплины:**

- обучение основным способам регистрации и измерения свойств элементарных частиц, применяемым в экспериментальной ядерной физике. Рассматриваются основы проектирования экспериментальных ядерно-физических установок.

#### **Задачи дисциплины:**

- ознакомление с основными видами взаимодействия частиц с веществом;
- формирование знаний принципов работы и устройства основных типов детекторов частиц в физике высоких и промежуточных энергий;
- объяснение способов измерения энергии, скорости и импульса элементарных частиц и методов их идентификации;
- обучение методам расчета и конструирования экспериментальных ядерно-физических установок.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- основные виды взаимодействия частиц с веществом;
- принцип работы и устройство основных типов детекторов частиц в физике высоких и промежуточных энергий;
- способы измерения энергии, скорости и импульса элементарных частиц, методы их идентификации;
- принципы конструирования экспериментальных установок.

##### **уметь:**

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной физики элементарных частиц.

**владеть:**

техникой и методами расчета характеристик и основных параметров проектируемых экспериментальных ядерно-физических установок.

**Темы и разделы курса:**

## 1. Введение.

Обзор материала курса. Классификация и основные характеристики детекторов. Процессы, происходящие при прохождении частиц через вещество.

## 2. Ионизационные потери тяжелых заряженных частиц.

Ионизационные потери тяжелых заряженных частиц. Вывод формулы Бете-Блоха и ее анализ.

## 3. Пробег заряженных частиц в веществе.

Пробег заряженных частиц в веществе. Флуктуации ионизационных потерь. Дельта-электроны. Ионизационные потери электронов.

## 4. Тормозное излучение.

Тормозное излучение. Формула Бете-Гайтлера. Радиационная длина. Критическая энергия.

## 5. Кулоновское взаимодействие частиц с ядрами.

Кулоновское взаимодействие частиц с ядрами. Многократное рассеяние.

## 6. Излучение Вавилова-Черенкова.

Излучение Вавилова-Черенкова. Физические основы черенковского излучения и его характеристики. Переходное излучение.

## 7. Взаимодействие фотонов с веществом.

Взаимодействие фотонов с веществом: фотоэффект, комптоновское рассеяние, рождение  $e^+e^-$  пар.

## 8. Взаимодействие нейтронов с веществом.

Взаимодействие нейтронов с веществом. Упругое и неупругое рассеяние нейтронов. Ядерные реакции.

#### 9. Сцинтилляционные детекторы.

Сцинтилляционные детекторы. Сцинтилляционные материалы. Характеристики сцинтилляторов.

#### 10. Фотоумножители.

Фотоумножители. Характеристики ФЭУ. Система питания ФЭУ. Шумы ФЭУ.

#### 11. Вопросы светосбора и магнитной защиты.

Вопросы светосбора и магнитной защиты. Полупроводниковые фотоприемники. Временное и энергетическое разрешение сцинтилляционных детекторов.

#### 12. Черенковские детекторы.

Черенковские детекторы. Типы радиаторов (газ, жидкость, твердое тело, аэрогель). Сместители спектра. Пороговые и дифференциальные счетчики. Спектрометры полного поглощения. RICH детекторы.

#### 13. Газоразрядные детекторы.

Газоразрядные детекторы. Физика газового разряда. Лавинное усиление. Пропорциональный счетчик.

#### 14. Режимы работы газоразрядных детекторов. Ионизационные, пропорциональные, дрейфовые, искровые камеры.

Выбор газового наполнения. Режимы работы газоразрядных детекторов: пропорциональный, гейгеровский, стримерный, искровой.

Ионизационные, пропорциональные, дрейфовые, искровые камеры. Варианты конструкции. Основы реконструкции треков.

#### 15. Полупроводниковые детекторы. Ядерные фотоэмульсии.

Полупроводниковые детекторы. Физические основы работы полупроводниковых детекторов. Поверхностно-барьерные, диффузионно-дрейфовые детекторы. Микростриповые детекторы.

Ядерные фотоэмульсии. «Классические» детекторы прежних лет: камеры Вильсона, диффузионные камеры, пузырьковые камеры.

#### 16. Две концепции экспериментальных установок.

Экспериментальные установки с фиксированной мишенью и установки на коллайдерах: сравнение двух концепций. Типы мишеней: твердотельные, струйные, pellet, поляризованные.

#### 17. Структура установок на коллайдерах.

«Луковичная» структура установок на коллайдерах (внутренний трекер, электромагнитный и адронный калориметры, мюонная система). Примеры крупных установок на коллайдерах.

#### 18. Измерение импульсов частиц в магнитном поле.

Измерение импульсов частиц в магнитном поле. Разрешение по импульсу. Типы используемых магнитов: дипольные, соленоидальные, тороидальные.

#### 19. Вершинные детекторы.

Вершинные детекторы: полупроводниковые (микростриповые, пиксельные), сцинтилляционные фиберные, straw, TPC, группа детекторов MPGD (MSGC, GEM, Micromegas).

#### 20. Калориметры.

Калориметры. Классификация калориметров по назначению (электромагнитные, адронные) и по структуре (гомогенные, слоистые).

#### 21. Энергетическое разрешение калориметров.

Энергетическое разрешение калориметров. Факторы, определяющие разрешение.

#### 22. Мюонные детекторы.

Мюонные детекторы: назначение, используемая методика, разрешение по импульсу. Примеры мюонных систем больших установок.

#### 23. Методы идентификации частиц.

Методы идентификации частиц: по времени пролета, по скорости (пороговые черенковские, RICH, DIRC детекторы, детекторы переходного излучения), по величине ионизационных потерь, по форме развития ливня.

#### 24. Нейтринные детекторы.

Нейтринные детекторы. Детекторы космических нейтрино, нейтринные детекторы на реакторах и на ускорителях.

#### 25. Электроника в ядерно-физическом эксперименте.

Электроника в ядерно-физическом эксперименте. Структура аппаратуры эксперимента в целом. Front-end электроника: усилители, дискриминаторы и др.

#### 26. Элементы триггерной электроники.

Элементы триггерной электроники: схемы совпадений, логические матрицы, цифровые задержки и др. Электронные модули цифровой обработки сигналов: ADC, TDC, счетчики, регистры.

#### 27. Случайные совпадения в двух или нескольких каналах.

Случайные совпадения в двух или нескольких каналах. Мертвое время электроники. Просчеты.

#### 28. Стандарты электроники.

Уровни логических сигналов (NIM, ECL, TTL, LVDS). Стандарты электроники NIM, CAMAC, VME.

#### 29. Триггерные системы. Системы сбора данных (DAQ).

Триггерные системы. Методы отбора событий, используемые в триггерной логике. Многоуровневый триггер.

Системы сбора данных (DAQ). Аппаратная и программная части DAQ. Взаимодействие DAQ с триггерной системой. Организация "Slow control" и мониторингования в реальном времени.

#### 30. Системы триггера и сбора данных в крупных экспериментах.

Особенности построения систем триггера и сбора данных в крупных экспериментах. Системы триггера и DAQ в экспериментах на LHC.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Экспериментальные методы в астрофизике**

#### **Цель дисциплины:**

Познакомить студентов со стремительно развивающейся экспериментальной базой астрономии, подготовить их к будущим наблюдениям и исследованиям в этой области.

#### **Задачи дисциплины:**

Рассмотреть принципы работы и существующие разновидности высокочувствительных приемников излучения (телескопов и собственно детекторов), используемых в разных областях астрономии (диапазоны от радио до гамма-излучения сверхвысоких энергий).

Рассмотреть принципы работы телескопов и детекторов, используемых в нейтринной и гравитационно-волновой астрономии, в физике космических лучей сверхвысоких энергий.

Познакомить студентов с наиболее успешными телескопами, работавших на разных этапах развития астрономии, в том числе основными современными и перспективными разрабатываемыми телескопами в разных диапазонах. Подчеркнуть особенности, характерные для телескопов и анализа их данных в каждой области астрономии.

Описать пути дальнейшего развития детекторов и телескопов, технологические предпосылки для этого развития.

Ознакомить студентов с методами и особенностями обработки и анализа данных современных телескопов, с моделированием телескопов и приборов, с этапами их калибровки, с существующими пакетами программ для моделирования работы телескопов и анализа астрономических данных.

Подготовить студентов к участию в разработке новых телескопов, проведении наблюдений и анализа их данных в разных областях астрономии.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- принципы работы телескопов и детекторов в разных разделах астрономии, факторы, влияющие на достоверность выполняемых с их помощью измерений.

##### **уметь:**

- оценивать чувствительность и возможности телескопов, обрабатывать данные их наблюдений, правильно определять статистические и систематические ошибки измерений.

**владеть:**

: основными программами моделирования работы телескопов, методами и основными программами обработки и анализа данных их наблюдений, программами визуализации результатов их работы.

**Темы и разделы курса:**

1. Оптическая астрономия - 1

Первый телескоп. Окна прозрачности в атмосфере Земли (длины волн). Диапазоны оптического спектра. Что определяет поглощение, факторы на него влияющие. Роль турбулентности ("сеяние"). Астроклимат. Фотометрические системы, их типы, фотометрические стандарты. Звездные величины. Показатели цвета.

Характеристики телескопов (диаметр объектива, фокусное расстояние, угловое разрешение, светосила, проникающая и разрешающая силы, размер протяженного и точечного источника, дифракционный предел). Конфьюжен лимит. Типы телескопов. Оптические схемы и фокусы. Аберрация в рефракторах и способы борьбы с ней. Крупнейшие рефракторы. Типы монтаровок телескопов. Автогид.

2. Оптическая астрономия - 2

Эволюция зеркал телескопов-рефлекторов. Крупнейшие рефлекторы. Крупнейшие российские телескопы. Увеличение апертуры. Активная оптика. Крупнейшие широкоугольные телескопы. Обзоры всего неба. Зачем нужны сети телескопов. Улучшение углового разрешения (метод «сдвинь-сложи», спекл-интерферометрия, интерферометрия, телескопы с адаптивной оптикой, космические телескопы). Строящиеся экстремально большие телескопы.

3. Оптическая астрономия - 3

Эффективность телескопа. Фон неба, фотометрический парадокс и его объяснение. Характеристики телескопа, его эффективность и чувствительность, предельная звездная величина. Ее зависимость от фокусного расстояния. Короткофокусные и длиннофокусные телескопы.

4. Микроволновая астрономия

Диапазоны микроволнового излучения. Реликтовое излучение, История открытия. Горячий газ в скоплениях галактик. Томсоновское рассеяние. Эффект Сюняева-Зельдовича. Спутники Реликт-1, COBE, WMAP, Planck. Особенности приборов, эволюция чувствительности и углового разрешения, результаты. Наземные микроволновые телескопы. Строящиеся миллиметровые и субмиллиметровые телескопы.

5. Радиоастрономия

Радиотелескопы (полноповоротные, частично подвижные, неподвижные) и их компоненты (облучатель, радиометр, генератор шума). Диаграмма направленности и разрешающая способность. Чувствительность. Рефлекторы и рефракторы. Антенны с заполненной апертурой (БСА в Пушино), параболические тарелки и цилиндры, антенны с плоскими отражателями, земляные чаши (Аресибо), антенные решетки, антенны с незаполненной апертурой (ДКР-1000 в Пушино). Крупнейшие телескопы (РАТАН-600, FAST, 100-м рефлекторы в Грин Бэнк и Бонне, РТ-70 в Евпатории и Уссурийске, 70-м в Канберрах, 64-м рефлекторы в Калязино и Медвежьих Озерах и др.). Интерферометры (VLA, MERLIN, ATCA, ALMA, WSRT). Апертурный синтез (последовательный и параллельный). Предельное разрешение. Сверхдальняя интерферометрия (РСДБ, телескопы VLBA, Квазар, ЕНТ). Космические радиотелескопы (TDRSS, Радиоастрон). Проект SKA (адаптивной антенной решетки площадью свыше 1 кв. км).

#### 6. Рентгеновская астрономия 1

Детекторы жесткого излучения (пропорциональные газовые камеры, сцинтилляционные детекторы, фотоумножители). Защита пассивная и основанная на принципе антисовпадения, дискриминация по фронту нарастания, коллиматоры сотовые и модуляционные. Рентгеновские спутники с простейшими детекторами. Телескопы, способные получать рентгеновские изображения (камеры обскура, ротационно-модуляционные коллиматоры, «глаз Лобстера», линзы Кумахова, телескопы с кодирующей апертурой). Типы масок телескопов с кодирующей апертурой. Фоконы.

#### 7. Рентгеновская астрономия 2

Обсерватории с коллимированными рентгеновскими детекторами большой площади (особенности и задачи наблюдений, результаты). Обсерватории, оснащенные рентгеновскими телескопами с кодирующей апертурой (РЕНТГЕН на модуле МИР-КВАНТ, ГРАНАТ, ИНТЕГРАЛ, их характеристики, важнейшие результаты, достоинства и недостатки).

#### 8. Рентгеновская астрономия 3

Достоинства и недостатки рентгеновских телескопов с зеркалами косоугольного падения. Типы рентгеновских зеркал. Функция отклика и ее зависимость от энергии и отклонения от оси телескопа. Строение и покрытие рентгеновских зеркал. Элементы конструкции зеркальной системы и свойства оболочек. Рентгеновские телескопы с зеркалами косоугольного падения (летавшие и продолжающие работать). Обсерватории Эйнштейн (HEAO-2), ROSAT, ASCA. Характеристики их телескопов, важнейшие результаты, достоинства и недостатки.

#### 9. Рентгеновская астрономия 4

Обсерватории Chandra (AXAF), XMM-Newton, NuSTAR, NICER. Характеристики телескопов, важнейшие результаты, достоинства и недостатки. Перспективные обсерватории Lynx и Athena.

#### 10. Рентгеновская астрономия 5

Характеристики рентгеновских телескопов, виньетирование, грасп, однократно рассеянные фотоны. Обсерватория SRG и ее телескопы eROSITA и ART-XC. Их характеристики в сравнении с другими обсерваториями, первые результаты. Калибровка зеркал и детекторов (как и что проверяется). Моделирование научных результатов на примере телескопа ART-XC. Сложности моделирования обзора неба.



## 11. Детекторы оптической астрономии

Предельная звездная величина при визуальных наблюдениях. Фотопластинки и пленки. Электрофотометры. Твердотельные детекторы. Принципы работы и считывания CCD. Предпочтительность использования CCD в оптических телескопах. Характеристики CCD-камер. Природа ошибок измерений с помощью CCD-камер (темновой ток, ток смещения, шум считывания, “горячие” пикселы, разный размер пикселов, насыщение). Кадры плоского поля. Первичная обработка изображений.

## 12. Детекторы рентгеновской астрономии

CCD (ПЗС)-матрицы (схема, принципы работы и считывания, типы), CMOS-матрицы (схема, принципы работы и считывания, сравнение с CCD). Чувствительность к энергиям фотонов. PIN-диод. Стриповые диоды (принципы работы, методы определения положения фотона, схемы деления заряда). Двухсторонние стриповые детекторы. Детектор телескопа SRG/APT-XC. Кремниевые дрейфовые детекторы (принцип определения координаты события). Линейный и матричный SDD, радиальный SDD. Полностью обедненный p-n CCD детектор (обсерватория XMM). Преимущества по сравнению с обычными CCD. DEPFET детектор.

## 13. Гамма-астрономия 1

Гамма-диапазоны, процессы поглощения гамма-излучения, особенности гамма-астрономии высоких энергий. Детекторы, используемые в гамма-астрономии (искровые камеры, черенковские детекторы, сцинтилляторы, кремниевые стриповые детекторы). Первые космические гамма-обсерватории (OSO-3, SAS-2, COS-B), принцип регистрации гамма-фотонов. Отечественные гамма-обсерватории (Протон-1, Протон-2, Космос-208, Космос-251, Космос-461). Характеристики телескопов, важнейшие результаты.

## 14. Гамма-астрономия 2

Гамма-обсерватории следующих поколений: Гамма-1, CGRO (телескопы EGRET, COMPTEL, OSSE), AGILE, FERMI (GLAST). Перспективные космические гамма-обсерватории (Гамма-400, SIGAM, e-ASTROGAM).

Широкие атмосферные ливни и черенковские телескопы. Первые поколения черенковских телескопов (обсерватория им. Уиппла, телескопы РЧВ-1 и ГТ-48 в КРАО). Стереоскопический метод и связанная с ним революция в гамма-астрономии сверхвысоких энергий (телескопы HEGRA, CAT, CANGAROO). Телескопы 3-го поколения (HESS и HESS II, MAGIC, VERITAS, CTA), их результаты.

## 15. Гравитационно-волновая и нейтринная астрономия

Эпоха многоканальной астрономии. Исследования космических лучей сверхвысоких энергий черенковскими установками (отличие от атмосферных черенковских телескопов для исследования гамма-излучения). Установка Тунка (TAIGA), сравнение с другими экспериментами.

Методы регистрации нейтрино. Баксанская нейтринная обсерватория и ее телескопы. Обсерватория Super-Kamiokande, солнечный нейтринный телескоп (SNT), установка IceCube, подводный Байкальский нейтринный телескоп.

Принципы регистрации гравитационных волн (резонансный и интерферометрический метод). Установка LIGO, ее устройство и особенности. Регистрация и отождествление событий. Действующие установки Virgo, KAGRA (LCGT), GEO600, строящиеся LIGO-India и телескоп Эйнштейна в Европе. Космический гравитационно-волновой интерферометр LISA (и LISA-Pathfinder), объекты его исследования. Использование пульсаров для гравитационно-волновых измерений. Результаты LIGO/Virgo, в том числе события слияния нейтронных звезд GW170817 и GW190425, наблюдение их электромагнитных проявлений: гамма-всплеска GRB170817A, его послесвечения, килоновой, гамма-всплеска GRB 190425A. Трудности поиска оптических проявлений таких событий.

## 16. Ошибки измерений и анализ данных

Ошибки измерений (статистические и систематические). Пуассоновские ошибки. Перенос ошибок. Использование метода Монте-Карло. Аналитические модели аппроксимации данных (фитирование, симплекс методы). Метод наименьших квадратов. Поиск периодов и анализ спектров мощности. Фильтрация изображений и временных рядов, использование вэйвалет-преобразования. Общеупотребительные пакеты программ для обработки и анализа данных в астрономии.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Экспериментальные методы исследований микроструктуры и поверхности твердых тел, молекул, кристаллов**

#### **Цель дисциплины:**

Изучение студентами физических основ современных методов исследования микроструктуры, поверхностей и физико-химических свойств твердых тел. Получение практических навыков при работе с современным исследовательским оборудованием.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики электронного строения атомов, молекул, кластеров и твердых тел;
- изучение связи между электронным строением и оптическими, электрофизическими и магнитными свойствами материалов;
- обучение студентов навыкам применения полученных знаний для решения практических задач, связанных с использованием современного исследовательского оборудования

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- современные проблемы физики, химии, материаловедения;
- Физико-химические принципы методов анализа;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- проблематику физико-химического моделирования.

##### **уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- применять методологию естествознания при организации конкретных исследований;
- моделировать процессы и анализировать модели;
- использовать современные методологии и модели;

- работать с профессиональной информацией.

**владеть:**

- научным методом, научной картиной мира;
- методологией выбора адекватных методов исследования;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории;
- математическими методами моделирования физических задач.

**Темы и разделы курса:**

1. Современные экспериментальные методы исследования микроструктуры и поверхности твердых тел. Физико-химические принципы

Классификация экспериментальных методов для исследования микроструктуры. Планирование эксперимента. Анализ данных. Оптические методы. Зондовая микроскопия. Рентгеноструктурный анализ. Оптические методы исследования микроструктуры. Вибрационная спектроскопия. Физико-химические принципы методов анализа.

2. Методы электронной микроскопии

Физические основы метода электронной микроскопии. Практические аспекты применения методов электронной микроскопии для исследования поверхности и структуры твердых тел. Вторичные электроны. Обратно-рассеянные электроны. Энергодисперсионный анализ. Лабораторная работа на электронном микроскопе JSM 7000 (JEOL, Япония)

3. Атомно-силовая микроскопия. Туннельная микроскопия. Ближнепольная микроскопия

Понятие о зондовой микроскопии. Виды микроскопии. Виды взаимодействий между зондом и поверхностью. Феномен химической связи. Основные подходы к электронному строению молекул. Поверхность как отдельный вид твердого тела. Туннельный ток. Метод Кельвина. Двухпроходные методы. Лабораторная работа на атомно-силовом микроскопе Solver (NT-MDT, Россия)

4. Эллипсометрия

Основное уравнение эллипсометрии. Виды спектрометров. Особенности моделирования твердых тел: диэлектрики, тонкие пленки металлов и полупроводников, эффективные среды. Основные модели: модель полубесконечного слоя, многослойная модель, модель Друде–Лоренца. Лабораторная работа на спектральном эллипсометрическом комплексе САГ 1891 (ИФП СО РАН, Россия)

5. Спектроскопия комбинационного рассеяния и инфракрасная спектроскопия

Вибрационная структура твердого тела. Расшифровка спектров. Анализ микроструктуры на основе спектра комбинационного рассеяния. Методы расшифровки и анализа спектров. Спектры различных типов молекул и кристаллов. Лабораторная работа на спектрометре комбинационного рассеяния Alpha 300 R (WITec, Германия).

6. Интерферометрия и интерференционная спектроскопия

Интерферометр Ньютона, Майкельсона. Интерференционный микроскоп Миро.  
Лабораторная работа на 3D сканирующем интерферометре New View 7300 (Zygo, США)

## Аннотации к рабочим программам дисциплин.

Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика

Направленность: Общая и прикладная физика

### Эксперименты на коллайдерах

#### Цель дисциплины:

Данный курс знакомит студента с основными результатами экспериментов на Большом Адронном Коллайдере (БАК) CMS, ATLAS, LHCb и ALICE. Также, курс позволяет студенту понять современные экспериментальные методы, лежащие в основе получения этих результатов. Курс создает базу для изучения и анализа последующих результатов на БАК.

#### Задачи дисциплины:

- формирование знаний по постановке экспериментов на Большом адронном коллайдере (БАК);
- формирование знаний по основным результатам, полученным в экспериментах на БАК.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### знать:

Содержание предмета курса «Эксперименты на коллайдерах», соответствующую терминологию и понятийный аппарат. Знать логику и методы получения основных результатов на БАК.

##### уметь:

интерпретировать экспериментальные результаты, получаемый на БАК.

##### владеть:

основными методами измерения характеристик бозонов Хиггса,  $W^{+-}$ ,  $Z$ , поиска частиц темной материи и суперсимметричных частиц, а также восстановления очарованных и прелестных адронов на БАК.

#### Темы и разделы курса:

1. Экспериментальные установки на БАК

Неделя 1. Конструкция и принцип работы установок CMS и ATLAS. Трековая система установок CMS и ATLAS. Калориметрические системы установок CMS и ATLAS.

Неделя 2. Триггер и система сбора данных CMS. Основные особенности установок LHCb и ALICE.

2. Поиск и исследование свойств бозона Хиггса

Неделя 3. Открытие бозона Хиггса. Зависимость сечения процессов образования бозона Хиггса в  $pp$  взаимодействиях от его массы.

Неделя 4. Вероятности распадов бозона Хиггса по различным каналам. Измерение массы и ширины бозона Хиггса.

Неделя 5. Измерение спина и четности бозона Хиггса

3. Исследование процессов с образованием W и Z бозонов на БАК

Неделя 6. Одинокое рождение векторных бозонов.

Неделя 7. Двойное и тройное рождение векторных бозонов.

4. Исследование процессов с образованием топ-кварков

Неделя 8. Процессы с образованием пар топ-кварков.

Неделя 9. Процессы с образованием одиночного топ-кварка.

Неделя 10. Измерение массы топ-кварка.

5. Исследование КХД процессов в  $pp$  взаимодействиях

Неделя 11. Процессы с образованием адронных струй с большими поперечными импульсами.

6. Поиск темной материи, суперсимметрии

Неделя 12. Сигнатуры образования суперсимметричных частиц. Ограничения на параметры суперсимметрии, поставленные в экспериментах БАК.

Неделя 13. Сигнатуры образования частиц темной материи. Ограничения на параметры частиц темной материи, поставленные в экспериментах БАК.

7. Исследование Pb-Pb и Pb-p взаимодействий

Неделя 14. Общие характеристики процессов PbPb столкновений на БАК. Измерение прицельного параметра для PbPb столкновений на БАК. Измерение коллективных параметров для PbPb столкновений на БАК. Образование адронных струй в PbPb столкновениях на БАК. Образование тяжелых кваркониюв в PbPb столкновениях на БАК.

8. Исследования по физике тяжелых кварков

Неделя 15. Обзор результатов экспериментов на БАК по изучению очарованных и прелестных адронов. Поиск Новой Физики в распадах тяжелых адронов. Спектроскопия тяжелых адронов: классическая и многокварковая.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Электродинамика сплошных сред**

#### **Цель дисциплины:**

- дать студентам знания, необходимые для описания различных физических явлений в области электродинамики сплошных сред и методы построения соответствующих математических моделей. Показать соответствие системы уравнений Максвелла, положенных в основу электродинамики, существующим экспериментальным данным. Дать практические навыки, позволяющие понять адекватность теоретической модели соответствующему физическому явлению и определить область её применимости.

#### **Задачи дисциплины:**

- Обучить студентов основам макроскопической электродинамики сплошных сред;
- овладеть математическим аппаратом электродинамики сплошных сред;
- изучить способы описания электромагнитных полей в конденсированных средах;
- освоить основные методы решения задач электродинамики сплошных сред.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- Постулаты и принципы электродинамики сплошных сред;
- уравнения Максвелла, физические свойства проводящих, диэлектрических, магнитных и сверхпроводящих сред;
- методы и приближения, используемые для макроскопического описания электромагнитных полей в конденсированных средах.

##### **уметь:**

- Применять постулаты и принципы электродинамики сплошных сред для описания электромагнитных полей в конкретных конденсированных средах;
- пользоваться математическими методами электродинамики сплошных сред для решения физических задач.



## **владеть:**

- Основными методами математического аппарата электродинамики сплошных сред;
- навыками теоретического анализа физических проблем, связанных с электрическими и магнитными свойствами конденсированных сред.

## **Темы и разделы курса:**

### 1. Магнитостатическое поле

Магнитная проницаемость. Магнитное поле постоянных токов. Термодинамика магнетиков. Эффект де-Гааза-ван Альфена и диамагнитные домены.

### 2. Рэлеевское рассеяние

Рассеяние малым изменением частоты. Рэлеевское рассеяние в газах и жидкостях. Комбинационное рассеяние.

### 3. Взаимодействие частиц с веществом

Прохождение быстрых частиц через вещество. Ионизационные потери. Излучение Черенкова. Переходное излучение.

### 4. Квазистационарное поле

Глубина проникновения магнитного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффект.

Поверхностный импеданс. Циклотронный резонанс.

### 5. Магнитные среды

Ферромагнетики. Обменная энергия. Энергия магнитной анизотропии. Тензор высокочастотной восприимчивости и спектр спиновых волн.

Свойства ферромагнетика. Ферромагнетизм вблизи точки Кюри. Намагничивание ферромагнетика. Доменная стенка. Доменная структура

Антиферромагнетики. Обменная энергия. Энергия магнитной анизотропии. Антиферромагнетик вблизи точки Нееля. Метамагнитный переход. Вектор Дзялошинского. Слабый ферромагнетизм. Геликоидальные структуры.

Существование сверхпроводимости и магнетизма. Ферромагнитные и антиферромагнитные сверхпроводники. Разрушение сверхпроводимости. Спин-спиральная фаза.

### 6. Постоянный ток

Плотность тока и проводимость. Эффект Холла. Термоэлектрические явления. Квантовые эффекты в проводимости.

## 7. Рассеяние электромагнитных волн в среде

Рассеяние электромагнитных волн в среде. Длина экстинкции. Ширины линий излучения и рассеяния.

## 8. Электромагнитное поле в среде

Уравнения электромагнитного поля. Сила Абрагама. Граничные условия. Плотность потока энергии. Электродинамика движущихся диэлектриков.

Диэлектрическая проницаемость.

Дисперсия диэлектрической проницаемости. Аналитические свойства. Распространение волн в плазме.

## 9. Электростатическое поле

Проводники. Энергия проводников в поле. Силы, действующие на проводник.

Диэлектрики. Диэлектрическая проницаемость. Тензор деполяризующих коэффициентов.

Термодинамика диэлектриков. Термодинамические соотношения. Силы, действующие на диэлектрик. Сегнетоэлектрики.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Электрослабое взаимодействие**

#### **Цель дисциплины:**

Первая часть курса знакомит слушателей с теорией электрослабых взаимодействий – естественной частью подготовки любого специалиста в области современной физики частиц. Вторая часть курса посвящена более традиционной проблематике – распадам лептонов и адронов.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование у обучающихся базовых знаний по электрослабым взаимодействиям;
- формирование навыков для решения задач.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

теорию Глэшоу-Вайнберга-Салама.

##### **уметь:**

вычислять времена жизни частиц.

##### **владеть:**

математическим аппаратом квантовой теории поля.

#### **Темы и разделы курса:**

1. Эффект Голдстоуна.

Непенормируемость 4-фермионного взаимодействия, теория массивного векторного бозона, эффект Голдстоуна – спонтанное «нарушение» симметрии, киральная симметрия КХД, соотношение Гольдбергера-Треймана, решаемые примеры:  $U(1)$ ,  $O(3)$ ,  $SU(2)$ .

## 2. Эффект Хиггса.

Локальная  $U(1)$ , эффект Хиггса, бозон Хиггса, унитарная калибровка, калибровка Ландау, R-калибровки.

## 3. Бозонный сектор Стандартной Модели.

Локальная  $SU(2)$ , лагранжиан векторных полей, хиггсовский сектор, «охранная» симметрия  $SU(2) \times U(1)$ , теория Глэшоу-Вайнберга-Салама: хиггсовский и калибровочный секторы.

## 4. Фермионы в Стандартной Модели.

Левые и правые фермионы. Слабые взаимодействия лептонов и кварков. Фермиевская константа  $G$ , определение параметров  $SU(2) \times U(1)$ -модели, нейтральные токи, треугольные аномалии: кварк-лептонная симметрия, нейтральность атома водорода и нейтрино в СМ.

## 5. Свойства W- и Z-бозонов.

Рождение и распады W- и Z-бозонов.

## 6. Свойства бозона Хиггса.

Бозон Хиггса: масса, рождение, распады.

## 7. Взаимодействия и массы нейтрино.

Рассеяние нейтрино на электроны, глубоко-неупругое рассеяние нейтрино на нуклоне, масса нейтрино.

## 8. Осцилляции нейтрино.

Осцилляции электронного нейтрино – эксперимент KamLAND, солнечные нейтрино, влияние вещества, осцилляции мюонного нейтрино в тау-нейтрино — атмосферные нейтрино, ускорительные эксперименты, случай трех нейтрино (матрица PMNS).

## 9. Универсальное слабое взаимодействие.

Левые заряженные токи. Нарушение P- и C- и CP- инвариантности. Универсальность заряженного тока. Нейтральный ток.

## 10. Распад мюона.

Амплитуда распада. Вероятность распада. Распад поляризованного мюона. Качественное обсуждение.

## 11. Лептонные и полуплептонные распады мезонов и барионов.

UD- ток и его свойства. Распады пионов. Распад нейтрона. Распады, инициируемые у-током.  $SU(3)$ - симметрия в распадах гиперонов.

## 12. Распады гиперонов и K- мезонов.

Нелептонные распады гиперонов. Правило  $\Delta T=1/2$ . Нелептонные распады K-мезонов.

## 13. Смешивание нейтральных K- мезонов.

Нарушение CP. Осцилляции нейтральных K- мезонов. Разность масс нейтральных K- мезонов и GIM- механизм. Нарушение CP- симметрии в распадах K- мезонов. CP- нечетное смешивание и прямое нарушение CP- симметрии.

#### 14. Распады тау- лептона.

Лептонные распады тау-лептона. Полуадронные распады тау-лептона. Проверка гипотезы дуальности в распадах тау-лептона.

#### 15. Распады очарованных адронов. Распады В- мезонов.

- Очарованные адроны, распадающиеся за счёт слабых взаимодействий.
- Времена жизни очарованных адронов.
- Гипотеза дуальности и спектаторное приближение.
- Нарушение спектаторного приближения в распадах нейтральных D- мезонов.
- Глюонное усиление. Обменные эффекты. Слабая аннигиляция.
- Подавление слабой аннигиляции в распадах В- мезонов.
- Параметризация матрицы СКМ.
- Смешивание нейтральных В- мезонов. Нарушение CP- симметрии в распадах В- мезонов и треугольник унитарности.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Элементы нейтринной физики и астрофизики**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний в области современной нейтринной физики и астрофизики, изучение основ теории слабых взаимодействий и решения проблемы включения массы нейтрино в Стандартную модель, смешивания поколений, теории нейтринных осцилляций, методов детектирования нейтрино, механизмов образования нейтрино в атмосфере Земли, Солнце и других астрофизических источниках, а также приобретение базовых навыков самостоятельной научно-исследовательской работы.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области теоретической и экспериментальной физики элементарных частиц и астрофизики;
- обучение студентов современным методам теоретического описания различных процессов слабого взаимодействия;
- формирование подходов к выполнению студентами исследований в области теоретической физики в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- лагранжиан Стандартной Модели (СМ), механизм Хиггса;
- общую структуру дираковского и майорановского массовых членов в лептонном секторе СМ;
- алгоритм Мурнагана для параметризации вакуумной матрицы смешивания;
- качельный механизм генерации масс нейтрино (“see-saw”), классификацию различных типов see-saw (I, II, III, обратный, радиационный, двойной, квадратичный), классификацию текстур массовой матрицы, 2- и 3-максимальное смешивание;
- квантовомеханическую теорию нейтринных осцилляций, МСВ механизм, влияние эффекта неупругих взаимодействий нейтрино с веществом на вероятности осцилляций, основы квантовополевого описания вакуумных нейтринных осцилляций;
- вершины взаимодействия нейтрино с лептонами и кварками;

- основы партонной модели, понятие о партонных функциях распределения;
- особенности описания процессов взаимодействий нейтрино за счет слабых заряженных и нейтральных токов (форм-факторы нуклона, структурные функции), общую структуру адронных токов;
- основные ядерные реакции горения водорода в звездах (pp-цепочка, CNO-би-цикл), процессы образования нейтрино в Солнце, основные экспериментальные методы регистрации солнечных нейтрино (радиохимические, черенковские), результаты важнейших экспериментов по регистрации СН (Cl-Ar детектор в Хоумстэйке, Ga-Ge детекторы SAGE, GALLEX, GNO, водно-черенковские детекторы Super-Kamiokande и SNO);
- основные реакции генерации мюонов и (анти)нейтрино при взаимодействии космических лучей с атмосферой Земли, особенности развития ШАЛ (геомагнитные и метеорологические эффекты, влияние солнечной активности), методы регистрации атмосферных и астрофизических нейтрино (черенковские, акустические, радио), основные параметры современных глубоководных и подледных нейтринных телескопов (БНТ, AMAND, IceCube, NEMO, NESTOR. ANTARES, KM3NET);
- основные процессы образования антинейтрино в ядерных реакторах и методы регистрации реакторных и геофизических антинейтрино, результаты экспериментов KamLAND, Daya Bay, Reno и др.);
- основы физики коллапса и энерговыделения на конечной стадии эволюции массивных звезд, основные процессы образования (анти)нейтрино при взрывах сверхновых, pp- р $\nu$ -механизмы генерации нейтрино в астрофизических источниках (активные галактические ядра, релятивистские струи), механизм образования космогенных (ГЗК) нейтрино;
- космологические ограничения на массы нейтрино.

**уметь:**

- эффективно применять вышеуказанные знания на практике для решения фундаментальных и прикладных научных задач в области современной теоретической физики элементарных частиц.

**владеть:**

- техникой расчета ширин слабых распадов элементарных частиц и сечений взаимодействия нейтрино с лептонами и нуклонами;
- методами диагонализации массовой матрицы в лагранжиане SM;
- методами решения уравнения Вольфенштейна для описания нейтринных осцилляций в веществе;
- методом учета неупругих взаимодействий нейтрино в анализе нейтринных осцилляций в поглощающих астрофизических средах;

□ качественными методами оценки потоков (анти)нейтрино от астрофизических источников и космических лучей.

### **Темы и разделы курса:**

#### 1. Введение (часть I).

Вопросы для разминки. Краткий обзор современных представлений о роли нейтрино в физике элементарных частиц, ядерной физике, астрофизике, космологии и геофизике.

#### 2. Введение (часть II).

Исторические хроники: от проблемы непрерывного спектра бета-распада (1914) и гипотезы нейтрино (1932) до измерения углов смешивания и разностей квадратов масс нейтрино.

#### 3. Обзорная часть: реликтовые, солнечные нейтрино.

Основные теоретические и экспериментальные факты о плотности нейтрино от Большого Взрыва, процессах генерации нейтрино в звездах и потоках солнечных нейтрино.

#### 4. Обзорная часть: геонейтрино, атмосферные и астрофизические нейтрино, нейтрино и космология.

Основные теоретические и экспериментальные факты о процессах образования нейтрино в атмосферах планет, астрофизических источниках (активные галактические ядра, квазары, релятивистские джеты, файерболы и т.д.), обзор основных методов извлечения данных о массе нейтрино из астрофизических и космологических данных.

#### 5. Основные процессы взаимодействия нейтрино с веществом.

Основные понятия партонной модели, форм-факторы и структурные функции структура слабых адронных токов, сечения (квази)упругих, неупругих эксклюзивных и глубоконеупругих взаимодействия (анти)нейтрино с нуклонами и ядрами.

#### 6. Стандартная Модель и проблема массы нейтрино.

Лагранжиан Стандартной Модели, флейворный и массовый базисы, киральные компоненты, дираковская и майорановская массовые матрицы, See -Saw механизм.

#### 7. Квантовомеханическая теория нейтринных осцилляций в вакууме.

Вывод основной формулы для вероятностей выживания и флейворных переходов. Экспериментальные данные о параметрах смешивания и массах нейтрино. Трудности стандартной теории.

#### 8. Квантовомеханическая теория нейтринных осцилляций в веществе.

Когерентное взаимодействие нейтрино с веществом, показатель преломления и эффективный потенциал, вывод и методы решения уравнения Вольфенштейна, резонансные условия и МСВ механизм.

#### 9. Квантовополевая теория нейтринных осцилляций в вакууме.

Ковариантная теория волновых пакетов, интегралы перекрытия, макроскопические диаграммы Фейнмана, расчет амплитуды перехода, квадрирование амплитуды и



макроскопическое усреднение, анализ off-shell и on-shell режимов, эффекты декогерентности, сравнение со стандартным квантовомеханическим подходом.

#### 10. Солнечные нейтрино.

Физика строения звезд. Ядерные реакции в Солнце, pp -цепочка и CNO -би -цикл, химический состав Солнца, данные гелиосейсмологии, оценки спектров и потоков солнечных нейтрино, трудности теории и перспективы.

11. Эксперименты по регистрации солнечных нейтрино, геонейтрино и антинейтрино от ядерных реакторов.

Радиохимический и черенковский методы регистрации солнечных нейтрино (CH), основные эксперименты по регистрации CH (Cl-Ag детектор в Хоумстэйке, GaGe детекторы SAGE, GALLEX, GNO, водночеренковские детекторы Super-Kamiokande и SNO).

#### 12. Атмосферные мюонные нейтрино.

Сведения о химическом составе и энергетических спектрах первичных и анизотропии галактических космических лучей (КЛ), вторичные КЛ и ШАЛ, основные реакции процессы генерации лептонов в атмосфере, геомагнитные и метеорологические эффекты, влияние солнечной активности, обзор различных моделей и экспериментов по регистрации АН.

#### 13. Астрофизические и космогенные нейтрино.

Физика сверхновых, гипотетические источники и механизмы образования нейтрино, проблема КЛ сверхвысоких энергий, ГЗК эффект, космогенные нейтрино, физика нейтринных телескопов.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Элементы стохастической динамики**

#### **Цель дисциплины:**

получение студентами фундаментальных знаний в области основ стохастической динамики, а также освоение навыков практического применения теоретических знаний при решении широкого круга физических задач.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области теории случайных процессов и стохастической динамики как дисциплин, необходимых для общеподготовительной и общетеоретической подготовки физиков;
- обучение студентов принципам применения языка и методов КТП при решении задач стохастической динамики.
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области статистической теории турбулентности и турбулентного транспорта, магнитной гидродинамики и других областях теоретической физики.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы теории случайных процессов и полей, стохастической динамики, теории турбулентности и турбулентного транспорта.
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем стохастической динамики, теории турбулентности и турбулентного транспорта;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

##### **уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций.

**владеть:**

- научной картиной мира;
- основными понятиями и методами КТП, теории стохастической динамики, теории турбулентности и турбулентного транспорта;
- навыками самостоятельной работы по решению задач
- математическим моделированием физических задач.

**Темы и разделы курса:**

1. Введение. Теория вероятности.

Введение. Случайные величины. Плотность вероятности. Характеристическая и Куммулянтная функции.

2. Случайные процессы и поля.

Описание стохастических процессов и полей. Характеристический и куммулянтный функционалы, корреляционные и связанные корреляционные функции. Процессы и поля с конечным корреляционным временем, дельтапроцессы. Гауссовы процессы и поля. Обобщенный закон больших чисел и ЦПТ. Теория больших уклонений. Функция роста.

3. Стохастические уравнения.

Стохастические уравнения. Уравнение Лиувилля и диффузия. Мультипликативный шум. Перемежаемость. Формула Фуруцы-Новикова и ее обобщения. Общая теория расщепления корреляций.

4. Уравнение Фоккера-Планка и его обобщения.

Уравнение Фоккера-Планка и его обобщения. Диффузионное и высшие приближения.

5. Теория случайных матричных процессов.

Теория случайных матриц и случайных матричных процессов. Обобщенный закон больших чисел. Индексы Ляпунова и обобщенные показатели Ляпунова. Изотропные дискретные и непрерывные матричные процессы. Изотропные матричные дельтапроцессы. Формулы Ньюмана.

## 6. Теория турбулентного транспорта.

Турбулентный транспорт пассивного скаляра и магнитного поля. Влияние молекулярной и магнитной диффузии. Эффект насыщения высших моментов. Турбулентное динамо.

## 7. Статистическая теория турбулентности.

Статистическая теория турбулентности. Корреляционные и структурные функции скорости. Функционал Хопфа. Уравнение Бюргера как простейшая бифрактальная модель турбулентности. Уравнение Навье-Стокса. Теория K41, каскад, диссипативная аномалия. Мультифрактальность.

## 8. Теория Ито и стохастическое квантование.

Интегралы Ито и Стратановича, формализм Фейнмана-Каца, стохастическое квантование.

## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

### **Явления переноса в плазме**

#### **Цель дисциплины:**

- освоение студентами фундаментальных знаний в области физики сплошных сред, изучение основных современных подходов к описанию транспорта в различных флюидах.

#### **Задачи дисциплины:**

- формирование базовых знаний в области физики плазмы как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков и обеспечивающей технологические основы современных инновационных сфер деятельности;
- обучение студентов принципам описания и расчёта переноса частиц, энергии, электромагнитного поля и других субстанций в экспериментальных установках и природных объектах;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области физики и химии плазмы в рамках выпускных работ на степень магистра.

#### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

##### **знать:**

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

##### **уметь:**

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- использовать вероятностные модели для конкретных процессов и проводить необходимые расчеты в рамках построенной модели;
- моделировать процессы и анализировать модели с использованием информационных технологий;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

**владеть:**

- научным методом как исходным принципом познания объективного мира;
- методологией выбора адекватных методов исследования (наблюдений, теоретических и экспериментальных методов исследований);
- системным анализом;
- логикой в научном творчестве;
- научной картиной мира;
- математическим моделированием физических задач.

**Темы и разделы курса:**

1. Базовое уравнение лучистого энергопереноса

Этапы прохождения света сквозь среду. Основное уравнение лучистого переноса в общем случае и в равновесной плазме. Установление равновесия излучения с веществом. Общее решение задачи в базовом варианте.

2. Базовое уравнение электронной магнитной гидродинамики (ЭМГ)

Двужидкостная гидродинамика и вмороженность ротора обобщённого импульса. Базовые уравнения ЭМГ. Ограничения на параметры модели. Энергия, импульс и вектор Пойнтинга в этом приближении. Зависимость эффектов от геометрии.

3. Выход за пределы диффузионной парадигмы

Эффект скоррелированного сноса. Специфика нестационарной конвекции. Роль пространственной размерности в стохастике. Примеры недиффузионных режимов, номенклатура процессов.

4. Глобальное описание лучистого транспорта

Излучение однородного плоского слоя. Проблемы спектра: излучение в узком диапазоне, неоднородная нагретость. Усреднённое описание объёмного излучения. Диффузия в оптически толстой среде.

#### 5. Диссипация в идеальных течениях

Стационарные течения «без просвета». Проблемы с бездиссипативным описанием. Нагрев плазмы и движение ионов. Тензор удельного сопротивления плазмы: магнетосопротивление и эффект Холла. Трёхкомпонентная среда.

#### 6. Диффузионные модели конвективного турбулентного транспорта

Специфика турбулентного конвективного переноса. Стационарный двумерный случай и «затравочная» диффузия. Две теоремы и понятие эффективной диффузии. Три точно решаемые модели. Общий одномасштабный случай, фракталы.

#### 7. Излучение/поглощение в дискретном спектре

Сечение поглощения в линиях. Максимально возможное излучение и минимальный росселандов пробег. Циклотронное излучение, его запираение. Ток Брагинского-Пиза в задаче о z-пинче.

#### 8. Недиффузионные блуждания квантов

Специфика блуждания в линиях. Уравнения в дробных производных. Притягивающая автомодельность и «забывание». Особенности процесса и его связь с матстатистикой.

#### 9. Особенности излучения в корональной плазме

Корональное равновесие по возбуждениям. Максимально возможное излучение для «богатых» электронных остовов. Доплеровское уширение линий. Другие механизмы уширения.

#### 10. Понятие об ЭМГ-сопротивлении

ЭМГ-повышение диссипации. «Эффективная проводимость» с формальной и полевое представление ЭМГ-сопротивления. Универсальная формула  $30 \text{ u/c Ом}$ . Мелкомасштабные флуктуации концентрации и мезоскопическое усреднение. Геометрические эффекты.

#### 11. Приближение лучистой теплопроводности

Нелинейное уравнение диффузии. Автомодельные решения. Влияние гидродинамического движения. «Сквозное» описание лучистых потерь.

#### 12. Пучки заряженных частиц в плазме

Генерация пучков в диодах, релятивизм. Пучки в плазме, соотношение кинетических и полевых составляющих энергии и импульса частиц. Дрейфовое движение в сильноточном пучке, кинетика. Диффузные и скинированные пучки-пинчи. Усиление взаимодействия со средой.

#### 13. Роль излучения в термоядерном горении

Критерий Лоусона. Универсальность параметра. Понятие о детонации как физическом явлении, ядерная и термоядерная детонация. Использование лучистой энергии для термояда.

#### 14. Роль инерции электронов в ЭМГ-явлениях

Размер и роль инерции при генерации малых масштабов в ЭМГ. Нетривиальность двумерных стационарных течений при общем законе вмероженности. Задача о скине, конвективные волны и ЭМГ-сопротивление с учётом инерции электронов. Инжекция пучков в плазму: дополнительная конвекция и эффект объёмного «размораживания».

#### 15. Специфика гидродинамического описания сплошных сред

Уравнения гидродинамики. Законы сохранения. Вмероженность. Магнитная гидродинамика заряженной жидкости. Связь с кинетикой.

#### 16. Специфика описания фотонного газа

Кинетическое описание квантов. Кинетика и термодинамика чёрного излучения. Причины равновесности, влияние плазмы. Классификация процессов излучения, поглощения и рассеяния.

#### 17. Статистика и модели развитой турбулентности

Турбулентность с широким инерционным интервалом, закон Колмогорова-Обухова. Относительная диффузия и закон Ричардсона. Усреднение по реализациям. Специфика статистики. Размешивание лагранжевых инвариантов.

#### 18. Тормозное излучение/поглощение

Тормозное излучение, стандартный вывод. Отличия в физике при малых и больших частотах. Суммарная интенсивность излучения и пробеги. Макроскопический подход к задаче. Связь процессов рассеяния электронов с излучением.

#### 19. Фоторекомбинационное излучение и фотоэффект

Фоторекомбинационное излучение VS тормозного. Сечение фотоэффекта. Значения и различия. Малые параметры фоторекомбинации и корональное равновесие. Роль диэлектронной рекомбинации.

#### 20. Фундаментальность закона вмероженности

Механическая подоплёка вмероженности. Физические примеры, классические и квантовые. Двумерный случай: потоковая функция и скобка Пуассона. Бездиссипативная ЭМГ в двумерных геометриях: стационарные течения.

#### 21. Эволюция магнитного поля в модели ЭМГ

Динамика магнитного поля в среде с обычным законом Ома. Нестационарный снос в ЭМГ, определяющие параметры и роль диссипации. Задача о скине: точные решения и простые аналогии. Вектор Пойнтинга и общий баланс энергии. Зависимость от геометрии – тонкие плёнки.

#### 22. Элементарные процессы в плазме с участием электронов и фотонов

Элементарные процессы возбуждения и излучения. Различные типы ионизационного равновесия. «Подавленность» обратных процессов в плазме. Диэлектронная рекомбинация. Аппроксимационные формулы для  $z$  и «эффективные» показатели адиабаты. Томсовновское рассеяние, эффекты когерентности.



## **Аннотации к рабочим программам дисциплин.**

**Направление: 03.04.01 Прикладные математика и физика**

**Направленность: Общая и прикладная физика**

**Язык, цивилизация и мышление: связи и разрывы**

### **Цель дисциплины:**

Дисциплина направлена на формирование представления о связи языка с мышлением с одной стороны и с цивилизацией – с другой. Эти знания необходимы для специалиста, по существу, в любой гуманитарной области: лингвистика не только дала гуманитарным наукам свой теоретический аппарат (речь идёт в первую очередь о структурной лингвистике), но и сама в XXI веке стала междисциплинарной областью, поскольку объект её изучения – язык – оказался связующим звеном в изучении мышления и познании цивилизационных процессов.

### **Задачи дисциплины:**

- Знание о трансформации коммуникативного процесса под влиянием новых технологий;
- Знание об общем влиянии языка на восприятие мира;
- Понимание корреляции между явлениями "язык", "культура" и "сознание";
- Понимание принципов речевого воздействия на адресата;
- Представление о номинации родственных связей в различных языках;
- Представление о принципах цветообозначения в различных языках;
- Представления об обозначении времени и пространства в различных языках;
- Владение стратегиями эффективной коммуникации;
- Знание основной типологии речевых конфликтов;
- Знание основных принципов рациональной коммуникации.

### **Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)**

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

#### **знать:**

- историю развития лингвистической антропологии;
- основные достижения лингвистической антропологии;
- основные понятия и предмет лингвистической антропологии;

- основные методы и приёмы анализа языковых сообществ, принятые в лингвистической антропологии.

**уметь:**

- определять взаимосвязь языка и мышления;
- выявлять особенности влияния языка на культуру;
- выявлять особенности влияния цивилизационных процессов на язык;
- определить тип устройства различных систем счисления, систем родства, систем цветообозначения.

**владеть:**

- навыками описания различий в категоризации окружающей действительности различными языками;
- методами доказательства влияния языка на индивидуальное и массовое мышление;
- принципами демонстрации конкретных категориальных различий языков мира;
- принципами решения самостоятельных антропологических и лингвистических задач;
- находить взаимосвязь, устанавливать зависимость и описывать структуру в предложенных.

**Темы и разделы курса:**

1. Что изучает лингвистическая антропология?

Суть лингвистической антропологии, её задачи и основные термины. Понятие об антропологии. Физическая, социальная, культурная и лингвистическая антропология. Различия между лингвистической антропологией, антропологической лингвистикой, этнолингвистикой, лингвокультурологией, социоллингвистикой, теорией межкультурной коммуникации.

2. Язык, мышление и культура

Идеи Вильгельма фон Гумбольдта и других европейских философов. Антропология Франца Боаса. Этнолингвистика. Гипотеза лингвистической относительности (гипотеза Сепира–Уорфа): её появление, развитие, критика и возвращение интереса к ней. Частные проявления гипотезы лингвистической относительности: классификация цветов, концептуализация времени.

3. Временно-пространственные отношения в различных языках

Традиционное европейское ориентирование, стороны света и антропоцентризм. Ориентирование по естественным географическим объектам. Ориентирование по артефактам

4. Механизм овладения языком и обучение животных

Принципы овладения языком в процессе социализации. Проблема обучаемости животных коммуникации с человеком.

#### 5. Цвет, форма и материал в различных языках

Обозначение цвета в языках мира. Базовые цвета. Современные исследования в области цветообозначений.

#### 6. Отражение в языке родственных отношений

Различные типы семей в разных культурах и цивилизациях. Наименования сиблингов и родственников по линиям отца и матери в разных языках и культурах.

#### 7. Язык и принципы восприятия мира

Как знание одного или нескольких языков влияет на восприятие мира. Особенности формирования отдельных грамматических категорий. Влияние языковых паттернов на механизмы познания мира.

#### 8. Социализация в многоязычной среде: внутренняя речь и билингвизм

Механизмы формирования речи. Связь между мышлением и речью. Явления билингвизма и диглоссии.

#### 9. Разговор о языке, мышлении и культуре

Дискуссия о взаимосвязи языка, культуры и мышления с учетом национального и культурного контекста.

#### 10. Коммуникация и новые коммуникативные пространства

Интернет и влияние мультимедийного пространства на коммуникацию.

#### 11. Язык и кооперация: функции вежливости в языке

Теория вежливости. Позитивная и негативная вежливость. Понятие «социального лица». Семейный этикет.

#### 12. Язык и конфронтация: речевая агрессия и массовая коммуникация

Лингвистическая (не)вежливость и ее функции. Основные роли участников конфликта. Стратегии ведения и выхода из конфликта.

#### 13. Язык и власть: политический дискурс

Язык и политика. Язык пропаганды. Новояз.

#### 14. Разговор о политкорректности

Власть языка и язык власти. Что такое "политкорректность" и её функции.