

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**  
**Проректор по учебной работе**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Общая физика: лекции по квантовой физике
<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Математическое моделирование и компьютерные технологии Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра общей физики
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Зачет

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 15 час.

Всего часов: 45, всего зач. ед.: 1

Программу составили:

В.Н. Глазков, д-р физ.-мат. наук, доцент

А.С. Кобякин, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

А.О. Раевский, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент

К.М. Крымский, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

А.О. Светличный, ассистент

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 29.05.2023

## Аннотация

Освоение студентами базовых знаний в области квантовой физики для дальнейшего изучения соответствующих разделов теоретической физики, а также углубленного изучения фундаментальных основ современной физики.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Освоение студентами базовых знаний в области квантовой физики для дальнейшего изучения соответствующих разделов теоретической физики, а также углубленного изучения фундаментальных основ современной физики.

#### Задачи дисциплины

- формирование у обучающихся базовых знаний и понятий в области квантовой механики и физики;
- формирование умений и навыков применять изученные теоретические законы и математические инструменты для решения задач квантовой физики;
- формирование общефизической культуры: умения выделять существенные физические явления и пренебрегать несущественными; умения проводить оценки физических величин; умения строить простейшие теоретические модели, описывающие физические процессы.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

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

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- фундаментальные законы и понятия квантовой механики, а также границы их применимости;
- основные идеи и понятия: корпускулярно-волновой дуализм, волны де-Бройля, принцип неопределённости Гейзенберга, волновая функция, вероятностная интерпретация волновой функции;
- фундаментальные квантовые эксперименты: фотоэффект, эффект Комптона, дифракция рентгеновского излучения и электронов при отражении от кристаллических структур, интерференция электронов (в том числе одночастичная), линейчатые спектры испускания и поглощения атомов, тунелирование, излучение абсолютно чёрного тела;
- характерные временные и пространственные масштабы, на которых проявляются квантовые явления;
- постулаты Бора для атома водорода и квазиклассическое приближение Бора-Зоммерфельда;
- волновое уравнение Шрёдингера для эволюции волновой функции во времени, а также для определения стационарных уровней энергии квантовой системы;
- законы квантования часто встречающихся типов движения: одномерный гармонический осциллятор, квантовый ротатор, электрон в атоме водорода;
- особенности взаимодействия квантовых частиц с потенциальными ямами и барьерами. Тунелирование;
- гироманнитное соотношение и связь между механическим и магнитным моментами;
- что такое орбитальный и спиновый моменты, связь тонкого расщепления в спектрах излучения атомов со спин-орбитальным взаимодействием;
- что такое сверхтонкое расщепление и спин атомного ядра;
- связь статистики фермионов с правилом запрета Паули и обменным взаимодействием. Правила Хунда заполнения атомных оболочек;
- основные закономерности эффекта Зеемана. Сложный и простой эффекты Зеемана. Явления магнитного резонанса. (ЭПР и ЯМР);
- что такое капельная и оболочечная модели атомного ядра. Иметь представление о сильном взаимодействии. Знать характерные размеры атомных ядер и величины энергий связи ядер;
- что такое кварковый состав протона и нейтрона;
- что такое радиоактивный распад. Альфа-, бета- и гамма- распад. Иметь представление о биологической опасности радиоактивного распада;
- что такое слабое взаимодействие, особенности бета-распада, время жизни нейтрона, понятие об антинейтрине;
- основные положения теории рассеяния нейтронов на тяжёлых ядрах (резонансное и нерезонансное взаимодействия, понятие составного ядра);
- основные положения квантовой оптики: фотоны, вынужденное и спонтанное излучение, физика работы лазеров, формула Планка для излучения абсолютно чёрного тела.

уметь:

- применять изученные законы квантовой физики для решения конкретных задач;
- применять приближение Бора-Зоммерфельда для решения задач о движении частицы (электрона) в заданном статическом потенциале;
- применять уравнение Шрёдингера для определения энергетических уровней стационарных состояний, а также для определения коэффициентов пропускания и отражения потенциальных барьеров и потенциальных ям;
- рассчитывать величину спин-орбитального расщепления энергетических уровней атома в рамках модели LS-связи;
- вычислять величину расщепления спектральных линий в эффекте Зеемана с учётом правил отбора;
- определять энергию связи атомного ядра в рамках капельной и оболочечной моделей ядра;
- рассчитывать вероятности рассеяния нейтронов на атомных ядрах;
- применять законы излучения абсолютно чёрного тела в задачах о тепловом излучении;
- анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведённого анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;
- применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов, и проводить необходимые аналитические и численные расчёты.

владеть:

- основными методами решения задач квантовой физики;
- основными математическими инструментами, характерными для задач квантовой физики.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Корпускулярные свойства электромагнитных волн.	2			1
2	Волновые свойства частиц. Соотношение неопределенностей.	2			1
3	Законы излучения АЧТ.	2			1
4	Формализм квантовой механики.	2			1
5	Потенциальные барьеры. Потенциальные ямы. Осциллятор.	2			1
6	Движение в центральном поле. Колебательные и вращательные спектры молекул.	2			1
7	Водородоподобные атомы. Магнитный момент. Спин.	2			1
8	Тождественность частиц. Обменное взаимодействие.	2			1
9	Сложные атомы. Спин-орбитальное взаимодействие.	2			1
10	Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана. Излучение, правила отбора.	2			1
11	ЭПР и ЯМР. Спонтанное и вынужденное излучение. Лазеры.	2			1
12	Ядерные модели.	2			1
13	Радиоактивность.	2			1
14	Ядерные реакции.	2			1
15	Фундаментальные взаимодействия и частицы.	2			1
Итого часов		30			15
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		45 час., 1 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 5 (Осенний)

###### 1. Корпускулярные свойства электромагнитных волн.

Основные нерешенные проблемы классической физики на рубеже XIX–XX веков. Основные экспериментальные результаты по внешнему фотоэффекту. Гипотезы Планка и Эйнштейна относительно квантов света. Уравнение Эйнштейна и объяснение фотоэффекта. Импульс фотона. Эксперимент Комптона по рассеянию рентгеновских лучей на лёгких ядрах, изменение длины волны фотонов при рассеянии на свободных электронах, комптоновская длина волны.

## 2. Волновые свойства частиц. Соотношение неопределенностей.

Гипотеза де Бройля о волновых свойствах материальных частиц – корпускулярно-волновой дуализм. Длина волны де Бройля нерелятивистской частицы. Опыты Девиссона–Джермера и Томсона по дифракции электронов. Критерий квантовости системы. Соотношения неопределенностей (координата-импульс; энергия-время). Виртуальные частицы. Радиус взаимодействия при обмене виртуальными частицами (фундаментальными бозонами). Волновая функция свободной частицы (волна де Бройля). Вероятностная интерпретация волновой функции, выдвинутая Борном. Понятие о скрытых параметрах (гипотеза Эйнштейна) и неравенствах Белла.

## 3. Законы излучения АЧТ.

Подсчет числа состояний поля в заданном объеме; фазовый объем, приходящийся на одно квантовое состояние, плотность состояний. Формула Рэлея–Джинса и ультрафиолетовая катастрофа, формула Вина. Гипотеза Планка, распределение Планка. Закон смещения Вина. Равновесное излучение как идеальный газ фотонов. Абсолютно черное тело. Законы Кирхгофа, Ламберта и Стефана–Больцмана.

## 4. Формализм квантовой механики.

Понятие об операторах физических величин. Операторы координаты, импульса, потенциальной и кинетической энергии системы, гамильтониан. Собственные функции и собственные значения. Уравнение Шредингера. Свойства волновой функции стационарных задач: непрерывность, конечность, однозначность, непрерывность производной. Принцип суперпозиции квантовых состояний. Формула для среднего значения физической величины в заданном состоянии. Закон сохранения вероятности, вектор плотности потока вероятности. Процесс квантового измерения физической величины — возможность получения только собственных значений. Редукция волновой функции в процессе измерения. Необходимость серии идентичных измерений. Критерий возможности одновременного измерения нескольких физических величин.

## 5. Потенциальные барьеры. Потенциальные ямы. Осциллятор.

Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке конечной высоты, прохождение частицы над ямами и барьерами конечной ширины, эффект Рамзауэра. Прохождение частицы через прямоугольный потенциальный барьер конечной ширины (туннельный эффект), вывод формулы для прозрачности барьера произвольной формы в квазиклассическом приближении. Бесконечно глубокая потенциальная яма. Связанные состояния частицы в одномерной симметричной потенциальной яме конечной глубины. Уровни энергии одномерного гармонического осциллятора (без вывода).

## 6. Движение в центральном поле. Колебательные и вращательные спектры молекул.

Оператор момента импульса. Квантование собственных значений проекции момента на выделенную ось и квадрата момента импульса, сложение моментов. Движение в центральном поле, центробежная энергия, радиальное квантовое число, кратность вырождения. s-состояния в трёхмерной сферически-симметричной яме конечной глубины, условие существования связанного состояния. Адиабатическое приближение в теории молекул. Вращательный и колебательный спектры, энергетические масштабы соответствующих возбуждений.

## 7. Водородоподобные атомы. Магнитный момент. Спин.

Закономерности оптических спектров атомов. Движение в кулоновском поле. Спектр атома водорода и водородоподобных атомов, главное квантовое число, кратность вырождения. Волновая функция основного состояния атома водорода. Качественный характер поведения радиальной и угловой частей волновых функций возбужденных состояний. Тонкая и сверхтонкая структура спектра атома водорода. Изотопический сдвиг, мезоатомы. Связь точного решения задачи об атоме водорода и модели Бора. Магнитный орбитальный момент электронов, гироманнитное отношение, магнетон Бора. Опыт Эйнштейна–де Гааза. Опыт Штерна–Герлаха, гипотеза о спине электрона, спиновый g-фактор. Оператор полного момента импульса, g-фактор Ланде.

#### 8. Тождественность частиц. Обменное взаимодействие.

Тождественность частиц, симметрия волновой функции относительно перестановки частиц, бозоны и фермионы, принцип Паули. Обменное взаимодействие.

#### 9. Сложные атомы. Спин-орбитальное взаимодействие.

Самосогласованное поле в сложных атомах, электронная конфигурация атома. Правило Маделунга–Клечковского. Таблица Менделеева. Атомные термы, метод нахождения термов для заданной электронной конфигурации, спектроскопическая запись состояния атома. Спин-орбитальное взаимодействие. Типы связи: Рассела–Саундерса (LS) и j-j. Правила Хунда. Характеристическое рентгеновское излучение (закон Мозли).

#### 10. Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана. Излучение, правила отбора.

Тонкая структура терма для случая LS-связи. Эффект Зеемана для случаев слабого и сильного магнитных полей на примере  $3P-3S$ -переходов. Классификация фотонов по полному моменту и чётности (E- и M-фотоны). Интенсивность электродипольного излучения, соотношение интенсивностей излучения фотонов различных типов и мультипольностей. Естественная ширина уровня.

#### 11. ЭПР и ЯМР. Спонтанное и вынужденное излучение. Лазеры.

Ядерный и электронный магнитный резонансы (квантовомеханическая трактовка). Строгие и нестрогие правила отбора при поглощении и испускании фотонов атомами (на примере эффекта Зеемана и ЯМР). Двухуровневая квантовая система в поле равновесного излучения, принцип детального равновесия, спонтанные и индуцированные переходы, соотношения Эйнштейна. Прохождение излучения через среду, условие усиления (инверсная заселённость уровней). Принцип работы лазера.

#### 12. Ядерные модели.

Открытие ядра атома (опыты Резерфорда, Гейгера и Марсдена) и его строения (опыты Блэккетта и Чедвика). Энергия связи ядра, экспериментальная зависимость удельной энергии связи ядра от массового числа A. Свойства ядерных сил: радиус действия, глубина потенциала, насыщение ядерных сил, спиновая зависимость. Ядерные силы как проявление сильного взаимодействия. Модель Юкавы. Модель жидкой заряженной капли. Формула Вайцеккера для энергии связи ядра. Оболочечная модель ядра. Спин-орбитальное расщепление в модели ядерных оболочек. Магические числа. Одночастичные и коллективные возбуждённые состояния ядра.

#### 13. Радиоактивность.

Альфа-, бета-, гамма-распады. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада, константа распада, период полураспада, среднее время жизни, вековое уравнение. Альфа-распад, закон Гейгера–Нэттола и его вывод (формула Га-мова). Бета-распад, энергетический спектр бета-распада, гипотеза нейтрино и его опытное обнаружение, внутренняя конверсия электронов, К-захват. Гамма-излучение, изомерия ядер. Спонтанное деление ядер, механизм формирования барьера деления — зависимость кулоновской и поверхностной энергии от деформации, параметр делимости, энергия, выделяемая при делении ядер, предел стабильности ядер относительно деления.

#### 14. Ядерные реакции.

Оценка сечений. Ядерные реакции: экзотермические и эндотермические реакции. Основы релятивистской кинематики реакций, порог реакции. Сечение реакции (полные и парциальные сечения), каналы реакции, ширины каналов. Модель составного ядра Бора: классическое геометрическое сечение, поправки на волновой характер движения частиц, закон Бете. Резонансные реакции, формула Брейта–Вигнера. Деление ядер под действием нейтронов, мгновенные и запаздывающие нейтроны, цепная реакция деления. Роль запаздывающих нейтронов в работе ядерного реактора. Схема реактора на тепловых нейтронах.

#### 15. Фундаментальные взаимодействия и частицы.

Элементарные частицы. Методы регистрации элементарных частиц. Стандартная модель. Законы сохранения и внутренние квантовые числа. Понятие взаимодействия в физике элементарных частиц. Виды фундаментальных взаимодействий. Характерный радиус взаимодействия. Графическое представление взаимодействий в виде диаграмм Фейнмана. Кварковая структура адронов — мезоны и барионы. Новое квантовое число «цвет», обобщенный принцип Паули. Элементы квантовой хромодинамики: асимптотическая свобода, гипотеза конфайнмента кварков и глюонов, кварковый потенциал. Резонансы. Оценка адронных сечений при высоких энергиях, теорема Померанчука. Несохранение чётности при слабом взаимодействии. Проблема солнечных нейтрино, нейтринные осцилляции.

### 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

- Лекционная аудитория, оснащённая мультимедийным проектором и экраном.
- Оборудование для лекционных демонстраций.
- Учебные аудитории, оснащённые доской.
- Доступ к библиотекам учебной технической литературы, в том числе электронным, необходимый для осуществления самостоятельной работы обучающихся.

### 6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Рекомендуемая литература:

- 000001409, Квантовая микро- и макрофизика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Ципенюк .— М. : Физматкнига, 2006 .— 640 с.
- 000003069, Основы физики [Текст] : Курс общей физики : в 2 т. Т. 2 : учебник для вузов. Квантовая и статистическая физика. Термодинамика / В. Е. Белонучкин, Д. А. Заикин, Ю. М. Ципенюк ; под ред. Ю. М. Ципенюка .— 2-е изд., испр. — М. : Физматлит, 2007 .— 608 с.
- 000002496, Начальные главы квантовой механики [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Н. В. Карлов, Н. А. Кириченко .— М. : Физматлит, 2004, 2006 .— 360 с.
- 000002611, Общий курс физики [Текст] : в 5 т. Т. 5 : Атомная и ядерная физика : учеб. пособие для вузов / Д. В. Сивухин .— 2-е изд., стереотип. — М. : Физматлит : МФТИ, 2002, 2006, 2008 .— 784 с.
- 000003936, Сборник задач по общему курсу физики [Текст] : в 3 ч. Ч. 3 : Атомная и ядерная физика : учеб. пособие для вузов / под ред. В. А. Овчинкина .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Физматкнига, 2009 .— 512 с.
- 000001835, Лабораторный практикум по общей физике [Текст] : в 3 т. Т. 3 : Квантовая физика : учеб. пособие для вузов / Ф. Ф. Игошин, Ю. А. Самарский, Ю. М. Ципенюк ; под ред. Ю. М. Ципенюка ; Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2-е изд., испр. и доп. — М. : Физматкнига, 2005 .— 432 с.

Дополнительная литература

Рекомендуемая литература:

- 000002832, Основы квантовой физики и строение вещества [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. П. Крылов ; М-во высш. и сред. спец. образования РСФСР, Моск. физико-техн. ин-т (гос. ун-т) .— М. : МФТИ, 1989 .— 184 с.
- 000000724, Введение в физику ядра и частиц [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. М. Капитонов .— М. : Едиториал УРСС, 2002 .— 384 с.
- 000001418, Квантовая физика. Вводный курс [Текст] : учеб. пособие для вузов / Л. Л. Гольдин, Г. И. Новикова .— М. : Ин-т компьютерных исследований, 2002, 2005 .— 496 с.
- 000000570, Введение в квантовую физику систем многих частиц [Текст] : учеб. пособие для вузов / А. А. Иванов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Моск. физ.-техн. ин-т (гос. ун-т) .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Изд-во МФТИ, 2007 .— 163 с.

**7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий курс «Квантовая физика», должен не только изучить общие физические законы и понятия, но научиться применять их на практике.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на практических занятиях,
- контрольной работе, сдаче зачета.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.



Показателем владения материалом служит умение решать задачи. Для формирования умения применять теоретические знания на практике студенту необходимо решать как можно больше задач. При решении задач каждое действие необходимо аргументировать, ссылаясь на известные теоретические сведения и проводить все необходимые вычисления, доводя задачу до конечного ответа. Задача считается решённой, если она содержит обоснованное решение: ссылки на применяемые физические законы и корректные выкладки, а также правильный численный ответ (если в задаче есть числовые данные).

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Информатика и вычислительная техника
<b>профиль подготовки:</b>	Математическое моделирование и компьютерные технологии Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра общей физики
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Зачет

**Разработчики:**

В.Н. Глазков, д-р физ.-мат. наук, доцент  
А.С. Кобякин, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент  
А.О. Раевский, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент  
П.В. Попов, канд. физ.-мат. наук, доцент  
К.М. Крымский, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент  
А.О. Светличный, ассистент

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Общая физика: лекции по квантовой физике» обучающийся должен:

### знать:

- фундаментальные законы и понятия квантовой механики, а также границы их применимости;
- основные идеи и понятия: корпускулярно-волновой дуализм, волны де-Бройля, принцип неопределённости Гейзенберга, волновая функция, вероятностная интерпретация волновой функции;
- фундаментальные квантовые эксперименты: фотоэффект, эффект Комптона, дифракция рентгеновского излучения и электронов при отражении от кристаллических структур, интерференция электронов (в том числе одночастичная), линейчатые спектры испускания и поглощения атомов, тунелирование, излучение абсолютно чёрного тела;
- характерные временные и пространственные масштабы, на которых проявляются квантовые явления;
- постулаты Бора для атома водорода и квазиклассическое приближение Бора-Зоммерфельда;
- волновое уравнение Шрёдингера для эволюции волновой функции во времени, а также для определения стационарных уровней энергии квантовой системы;
- законы квантования часто встречающихся типов движения: одномерный гармонический осциллятор, квантовый ротатор, электрон в атоме водорода;
- особенности взаимодействия квантовых частиц с потенциальными ямами и барьерами. Тунелирование;
- гиромагнитное соотношение и связь между механическим и магнитным моментами;
- что такое орбитальный и спиновый моменты, связь тонкого расщепления в спектрах излучения атомов со спин орбитальным взаимодействием;
- что такое сверхтонкое расщепление и спин атомного ядра;
- связь статистики фермионов с правилом запрета Паули и обменным взаимодействием. Правила Хунда заполнения атомных оболочек;
- основные закономерности эффекта Зеемана. Сложный и простой эффекты Зеемана. Явления магнитного резонанса. (ЭПР и ЯМР);
- что такое капельная и оболочечная модели атомного ядра. Иметь представление о сильном взаимодействии. Знать характерные размеры атомных ядер и величины энергий связи ядер;
- что такое кварковый состав протона и нейтрона;
- что такое радиоактивный распад. Альфа-, бета- и гамма- распад. Иметь представление о биологической опасности радиоактивного распада;
- что такое слабое взаимодействие, особенности бета-распада, время жизни нейтрона, понятие об антинейтрине;
- основные положения теории рассеяния нейтронов на тяжёлых ядрах (резонансное и нерезонансное взаимодействия, понятие составного ядра);
- основные положения квантовой оптики: фотоны, вынужденное и спонтанное излучение, физика работы лазеров, формула Планка для излучения абсолютно чёрного тела.

### уметь:

- применять изученные законы квантовой физики для решения конкретных задач;
- применять приближение Бора-Зоммерфельда для решения задач о движении частицы (электрона) в заданном статическом потенциале;
- применять уравнение Шредингера для определения энергетических уровней стационарных состояний, а также для определения коэффициентов пропускания и отражения потенциальных барьеров и потенциальных ям;
- рассчитывать величину спин-орбитального расщепления энергетических уровней атома в рамках модели LS-связи;
- вычислять величину расщепления спектральных линий в эффекте Зеемана с учётом правил отбора;
- определять энергию связи атомного ядра в рамках капельной и оболочечной моделей ядра;
- рассчитывать вероятности рассеяния нейтронов на атомных ядрах;
- применять законы излучения абсолютно чёрного тела в задачах о тепловом излучении;
- анализировать физические задачи, выделяя существенные и несущественные аспекты явления, и на основе проведённого анализа строить упрощённые теоретические модели физических явлений;
- применять различные математические инструменты решения задач исходя из сформулированных физических законов, и проводить необходимые аналитические и численные расчёты.

**владеть:**

- основными методами решения задач квантовой физики;
- основными математическими инструментами, характерными для задач квантовой физики.

### **3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю**

Текущий контроль знаний по дисциплине «Общая физика: квантовая физика» осуществляется в виде контрольных работ, выполнения и защиты лабораторных работ, определенных в индивидуальном графике (маршруте) студента, сдачи заданий и опросов по изученному материалу.

В соответствии с учебным планом в течение семестра каждый студент должен выполнить и сдать преподавателю, ведущему семинарские занятия в учебной группе, два задания. Задачи в заданиях привязаны к темам семинаров. Рекомендуемые темы семинаров перечислены ниже:

- Фотоэффект. Эффект Комптона.
- Волны де Бройля. Соотношения неопределенностей.
- Уравнение Шредингера. Потенциальные барьеры. Туннельный эффект.
- Потенциальные ямы. Квазиклассическое приближение.
- Колебательные и вращательные уровни. Водородоподобные атомы.
- Магнитный момент. Спин.
- Контрольная работа. Сдача 1-го задания.
- Ядерные модели. Радиоактивность.
- Ядерные реакции.
- Фундаментальные взаимодействия и частицы. Сильное взаимодействие.
- Фундаментальные взаимодействия и частицы. Слабое взаимодействие.

### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

1. Квантовая природа электромагнитного поля (фотоны). Уравнение Эйнштейна и объяснение фотоэффекта. Эффект Комптона, основные соотношения. Комптоновская длина волны.
2. Волновые свойства массивных частиц — корпускулярно-волновой дуализм. Опыты Девиссона-Джермера и Томсона по дифракции электронов. Длина волны де Бройля нерелятивистской частицы. Соотношения неопределенностей (координата-импульс; энергия-время).
3. Постулаты Бора для атома водорода. Характерные параметры для атома водорода: боровский радиус, скорость, уровни энергии. Водородоподобные атомы: влияние массы ядра (изотопический сдвиг), атомы щелочных металлов, многозарядные ионы, мезоатомы. Характеристическое рентгеновское излучение (закон Мозли).

4. Волновая функция. Волновая функция свободной частицы (волна де Бройля). Вероятностная интерпретация волновой функции по М. Борну.
5. Понятие о квантово-механических операторах. Операторы координаты, импульса, потенциальной и кинетической энергии системы, гамильтониан. Собственные функции и собственные значения операторов.
6. Уравнение Шредингера. Потенциальная яма бесконечной глубины. Свойства волновой функции одномерных стационарных задач: непрерывность, конечность, однозначность, непрерывность производной.
7. Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке конечной высоты. Прохождение частицы через прямоугольный потенциальный барьер конечной ширины (туннельный эффект). Коэффициент прохождения для барьера произвольной формы.
8. Уровни энергии одномерного гармонического осциллятора (без вывода). Волновая функция основного состояния одномерного осциллятора.
9. Оператор момента импульса (в сферических координатах, без вывода). Квантование проекций момента и квадрата момента импульса. Уровни энергии плоского ротатора.

#### Критерии оценивания

1. Зачтено ставится при успешном ответе студента на хотя бы один из двух предложенных ему случайных вопросах из приведенного ниже списка
2. Не зачтено ставится, если студент не смог ответить ни на один из двух предложенных ему случайных вопросах из приведенного ниже списка

#### **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

При проведении устного зачета обучающемуся предоставляется 30 минут на подготовку. Опрос обучающегося по билету на зачете не должен превышать одного астрономического часа.