

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

**УТВЕРЖДЕНО**

**Проректор по учебной работе и  
довузовской подготовке**

**А.А. Воронов**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Общая физика: квантовая физика
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра общей физики
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Количество контрольных работ, заданий: 3

Программу составили:

Ю.М. Ципенюк, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

А.В. Кубышкин, д-р техн. наук, профессор, профессор

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

А.В. Гавриков, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

А.И. Морозов, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 06.03.2020

## 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 общезначимой 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
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
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
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования

### 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 энергии 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	Волновые свойства частиц. Соотношение неопределенностей	3	3		3
2	Формализм квантовой механики. Потенциальные барьеры	3	3		3
3	Потенциальные ямы. Квазиклассическое приближение. Осциллятор	2	2		2
4	Водородоподобные атомы. Колебательные и вращательные спектры молекул	2	2		2
5	Магнитный момент. Спин. Тонкая и сверхтонкая структура атома водорода	2	2		2
6	Тождественность частиц. Обменное взаимодействие. Сложные атомы	2	2		2
7	Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана. Излучение, правила отбора. ЭПР и ЯМР	2	2		2
8	Ядерные модели	3	3		3
9	Радиоактивность. Альфа, бета, гамма	2	2		2
10	Ядерные реакции. Оценка сечений	3	3		3
11	Фундаментальные взаимодействия. Элементарные частицы	2	2		2
12	Законы излучения АЧТ	2	2		2
13	Спонтанное и вынужденное излучение	2	2		2
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 5 (Осенний)

###### 1. Волновые свойства частиц. Соотношение неопределенностей

Гипотеза де Бройля о волновых свойствах материальных частиц – корпускулярно-волновой дуализм. Опыты Девиссона–Джермера и Томсона по дифракции электронов. Длина волны де Бройля нерелятивистской частицы. Критерий квантовости системы. Соотношения неопределенностей (координата-импульс; энергия время). Волновая функция свободной частицы (волна де Бройля). Вероятностная интерпретация волновой функции, выдвинутая Борном.

###### 2. Формализм квантовой механики. Потенциальные барьеры

Понятие об операторах. Операторы координаты, импульса, потенциальной и кинетической энергии системы, гамильтониан. Собственные функции и собственные значения. Результат квантового измерения значения физической величины. Уравнение Шредингера. Свойства волновой функции стационарных задач: непрерывность, конечность, однозначность, непрерывность производной. Закон сохранения вероятности, вектор плотности тока вероятности (без вывода). 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.

### 3. Потенциальные ямы. Квазиклассическое приближение. Осциллятор

Состояния частицы в одномерной симметричной потенциальной яме. Уровни энергии одномерного гармонического осциллятора (без вывода). Оператор момента импульса. Квантование проекции момента и квадрата момента импульса. Движение в центральном поле, центробежная энергия, радиальное квантовое число, кратность вырождения.  $s$ -состояния в трёхмерной сферически симметричной яме конечной глубины, условие существования связанных состояний в такой яме.

### 4. Водородоподобные атомы. Колебательные и вращательные спектры молекул

Закономерности оптических спектров атомов (комбинационный принцип Ритца), формулы серий. Модели атома Томсона и Резерфорда. Постулаты Бора, боровский радиус, энергия атома водорода. Движение в кулоновом поле, случайное вырождение. Спектр атома водорода (без вывода), главное квантовое число, кратность вырождения. Качественный характер поведения радиальной и угловой частей волновой функции. Волновая функция основного состояния. Водородоподобные атомы: влияние заряда ядра (на примере иона гелия) и его массы (изотопический сдвиг), мезоатомы. Характеристическое рентгеновское излучение (закон Мозли). Вращательные спектры плоского и пространственного ротаторов (двухатомная молекула). Вращательные и колебательные уровни молекул, энергетический масштаб соответствующих возбуждений (иерархия молекулярных спектров).

### 5. Магнитный момент. Спин. Тонкая и сверхтонкая структура атома водорода

Магнитный орбитальный момент электронов, гиромангнитное отношение,  $g$ -фактор, магнетон Бора. Опыт Штерна—Герлаха. Гипотеза Уленбека и Гаудсмита о спине электрона, спиновый  $g$ -фактор. Опыт Эйнштейна—де Гааза. Векторная модель сложения спинового и орбитального моментов электрона, полный момент, фактор Ланде. Тонкая и сверхтонкая структуры атома водорода.

### 6. Тождественность частиц. Обменное взаимодействие. Сложные атомы

Тождественность частиц, симметрия волновой функции относительно перестановки частиц, бозоны и фермионы, принцип Паули. Сложные атомы. Самосогласованное поле. Электронная конфигурация атома. Атомные термы, спектроскопическая запись состояния атома. Правила Хунда. Качественное объяснение возникновения обменной энергии и правил Хунда на примере возбужденного состояния  $1s2s$  атома гелия и образования молекулы водорода.

### 7. Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана. Излучение, правила отбора. ЭПР и ЯМР

Эффект Зеемана для случаев слабого и сильного магнитных полей на примере  $3P-3S$ -переходов. Понятие спина (спиральности) фотона, полный момент и четность. Классификация фотонов по полному моменту и чётности ( $E$ - и  $M$ -фотоны), отношение вероятностей излучения фотонов различной мультипольности. Вероятность дипольного излучения (закон  $\propto \omega^4$ ). Ядерный и электронный магнитный резонанс (квантовомеханическая трактовка). Строгие и нестрогие правила отбора при поглощении и испускании фотонов атомами (на примере эффекта Зеемана и ЯМР).

### 8. Ядерные модели

Эксперименты Резерфорда и Гейгера по рассеянию  $\alpha$ -частиц в газах. Открытие нейтрона Чадвиком. Экспериментальная зависимость удельной энергии связи ядра от массового числа  $A$ . Свойства ядерных сил: радиус действия, глубина потенциала, насыщение ядерных сил, спиновая зависимость. Природа ядерных сил, обменный характер ядерных сил, переносчики взаимодействия. Модель жидкой заряженной капли. Формула Вайцзеккера для энергии связи ядра. Оболочечная модель и магические числа в осцилляторном потенциале. Одночастичные и коллективные возбуждённые состояния ядра.

#### 9. Радиоактивность. Альфа, бета, гамма

Радиоактивность. Закон радиоактивного распада, константа распада, период полураспада, среднее время жизни, вековое уравнение. Альфа-распад, закон Гейгера—Нэттола и его вывод (формула Гамова). 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.

#### 10. Ядерные реакции. Оценка сечений

Ядерные реакции: экзотермические и эндотермические реакции, порог реакции, сечение реакции (полное и парциальные сечения), каналы реакции, ширины каналов. Составное ядро. Нерезонансная теория — классическое сечение, поправки на волновой характер частиц, коэффициент проникновения частицы в прямоугольную яму, закон Бете (на примере проникновения частицы в прямоугольную яму). 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.

#### 11. Фундаментальные взаимодействия. Элементарные частицы

Фундаментальные взаимодействия и фундаментальные частицы (лептоны, кварки и переносчики взаимодействий). Законы сохранения и внутренние квантовые числа. Кварковая структура адронов — мезоны, барионы и резонансы. Квантовая хромодинамика, асимптотическая свобода. Гипотеза конфайнмента кварков и глюонов, кварковый потенциал. Оценка адронных сечений при высоких энергиях на основе кварковой структуры. Открытие  $W$ - и  $Z$ -бозонов,  $t$ -кварка, методы регистрации нейтрино. Несохранение чётности при бета-распаде, опыт Ву.

#### 12. Законы излучения АЧТ

Подсчет числа состояний поля в заданном объеме; фазовый объём, приходящийся на одно квантовое состояние, плотность состояний. Формула Рэлея—Джинса и ультрафиолетовая катастрофа, формула Вина. Распределение Планка. Закон смещения Вина. Равновесное излучение как идеальный газ фотонов. Законы Кирхгофа и Стефана—Больцмана.

#### 13. Спонтанное и вынужденное излучение

Двухуровневая квантовая система в поле равновесного излучения, принцип детального равновесия, спонтанные и индуцированные переходы, соотношения Эйнштейна и его вывод распределения Планка. Прохождение излучения через среду, условие усиления (инверсная заселённость уровней). Принцип работы лазера и его устройство.

### 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

1. Квантовая микро- и макрофизика [Текст] : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Ципенюк .— М. : Физматкнига, 2006 .— 640 с.
2. 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.
3. Начальные главы квантовой механики [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / Н. В. Карлов, Н. А. Кириченко .— М. : Физматлит, 2004, 2006 .— 360 с.
4. 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.
5. 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
6. 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.
7. Калашников Н.П., Смондырев М.А./Основы физики в 2-х томах М.-Лаборатория знаний, 2017

### Дополнительная литература

1. 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.
2. Введение в физику ядра и частиц [Текст] : учеб. пособие для вузов / И. М. Капитонов .— М. : Едиториал УРСС, 2002 .— 384 с.
3. Квантовая физика. Вводный курс [Текст] : учеб. пособие для вузов / Л. Л. Гольдин, Г. И. Новикова .— М. : Ин-т компьютерных исследований, 2002, 2005 .— 496 с.
4. 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)

1. <http://lib.mipt.ru/catalogue/1412/?t=750> – электронная библиотека МФТИ, раздел «Общая физика».

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

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

Литература, рекомендуемая к курсу, доступна в электронном виде (см. п. [1] перечня ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)), так что студенты могут читать учебники прямо со своих планшетов.

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

Студент, изучающий курс «Общая физика: 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 конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на лекциях и практических занятиях,
- подготовку к практическим занятиям, контрольной работе, сдаче заданий, экзамену.

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>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Общая и прикладная физика Физтех-школа физики и исследований им. Ландау кафедра общей физики
<b>курс:</b>	3
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 5 (осенний) - Дифференцированный зачет

**Разработчики:**

Ю.М. Ципенюк, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор  
А.В. Кубышкин, д-р техн. наук, профессор, профессор  
А.О. Раевский, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент  
А.В. Гавриков, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент  
А.И. Морозов, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
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
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Общая физика: квантовая физика» 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.
- ☐ 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 энергии 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;

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

### **3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Общая физика: квантовая физика» осуществляется в форме дифференциального зачёта. Зачёт включает в себя проверку выполнения домашних заданий и теоретических знаний студента. Список вопросов по теории приведён ниже:

1. Квантовая природа света. Внешний фотоэффект. Уравнение Эйнштейна.
2. Волновая природа частиц. Эффект Комптона.
3. Спонтанное и вынужденное излучение. Инверсная заселенность уровней. Принцип работы лазера.
4. Излучение абсолютно черного тела. Формула Планка, законы Вина и Стефана-Больцмана.
5. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны де Бройля. Опыты Девиссона-Джермера и Томсона по дифракции электронов.
6. Волновая функция. Операторы координаты и импульса. Средние значения физических величин.
7. Соотношение неопределенности для координаты и импульса.
8. Постулаты Бора. Энергетический спектр водородоподобных атомов.
9. Характеристическое излучение, закон Мозли.
10. Стационарное и нестационарное уравнение Шредингера. Эволюция волновой функции.
11. Квантовый гармонический осциллятор
12. Квантовый ротатор
13. Молекулярные спектры: колебательные и вращательные уровни
14. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона. Орбитальный и спиновый магнитные моменты электрона.
15. Тождественность частиц. Симметрия волновой функции относительно перестановки частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.
16. Обменное взаимодействие. Правило Хунда заполнения электронных орбиталей. Электронная структура атомов. Таблица Менделеева.
17. Тонкая и сверхтонкая структура оптических спектров. Спин-орбитальное взаимодействие.
18. Правила отбора при поглощении и испускании фотонов атомами. Мультиплетность фотонов
19. Эффект Зеемана в слабых магнитных полях.
20. Эффект Зеемана в сильных магнитных полях.
21. Ядерный и электронный магнитный резонансы.
22. Капельная модель ядра и формула Вайцзекера
23. Оболочечная модель ядра и магические числа
24. Закон радиоактивного распада. Период полураспада и время жизни.
25. Туннелирование частиц сквозь потенциальный барьер. Альфа-распад. Закон Гейгера-Нэттола и его объяснение.
26. Типы бета-распадов. Объяснение непрерывности энергетического спектра электронов. Нейтрино.
27. Гамма-излучение, изомерия ядер. Взаимодействие гамма-излучения с веществом.
28. Методы регистрации частиц высоких энергий. Сцинтилляционные детекторы, счётчики Гейгера. Гамма-спектрометры.
29. Ядерные реакции. Составное ядро. Сечение нерезонансных реакций. Закон Бете.
30. Резонансные ядерные реакции, формула Брейта-Вигнера.
31. Деление ядер под действием нейтронов. Принцип работы ядерного реактора на тепловых нейтронах.

32. Соотношение неопределенностей для энергии и времени. Оценка времени жизни виртуальных частиц, радиусов сильного и слабого взаимодействий.
34. Фундаментальные взаимодействия и фундаментальные частицы (лептоны, кварки и переносчики взаимодействий). Кварковая структура адронов.

Примеры простых вопросов и задач, решение которых необходимо для получения удовлетворительной оценки:

- Определить длину волны де-Бройля электрона с кинетической энергией 10эВ.
- Сформулировать закон Эйнштейна для фотоэффекта.
- Дать определение комптоновской длины волны электрона
- Определить энергетический спектр атома водорода в рамках модели Бора.
- Вычислить расстояние между нулевым и первым вращательным уровнями основного состояния молекулы азота. Расстояние между ядрами 0.3нм.
- Записать вид спектра квантового гармонического осциллятора состоящего из частицы массой  $m$  и «пружинки» жёсткости  $k$
- Определить магнитный момент электрона в 2р состоянии в атоме водорода
- Получить величину энергии расщепления для 1s состояний атома водорода в магнитном поле  $B=1$ Тл.
- Сформулировать принцип запрета Паули.
- Сформулировать правила Хунда для заполнения атомных оболочек.
- Сформулировать правила отбора излучательных переходов между атомными уровнями.
- Состав атомного ядра. Объяснить причину устойчивости ядра.
- В рамках капельной модели ядра определить тип распада ядра  $^{27}\text{Mg}$  (массовое число  $A$  не изменяется).
- В рамках оболочечной модели ядра объяснить особую устойчивость ядер с «магическими» массовыми числами: 4,16,40
- Определить размер ядра атома свинца.
- Объяснить причину непрерывности энергетического спектра электронов образующихся при бета-распаде.
- Нейтрон с энергией 100 кэВ упруго рассеивается на ядре. Какое минимально возможное значение прицельного параметра  $b$ , реализуется в таком процессе?
- Нейтральный пион распался на два гамма-кванта с энергиями 3.1 ГэВ и 2.0 ГэВ. Найти угол разлёта между гамма-квантами.
- При какой температуре давление равновесного излучения равно 1 Атм.?
- Оценить эффективную температуру непрерывного излучения гелий-неонового лазера мощностью 1 мВт и спектральной шириной линии  $10^4$ Гц.

#### 4. Критерии оценивания

Для допуска к зачёту студент должен решить все задачи из заданий. На зачёте преподаватель оценивает решения задач из домашних заданий, для чего может попросить студента прокомментировать решение любой задачи из задания. Ответ студента на теоретический вопрос оценивается в целом, и зачётная оценка выставляется согласно приведённым ниже критериям и изложенным выше замечаниям касательно письменной части экзамена:

Оценка «**отлично (10)**» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и за её пределами, а также умение уверенно применять их на практике при решении сложных нестандартных задач.

Оценка «**отлично (9)**» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач.

Оценка «**отлично (8)**» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания учебной программы и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач, однако допустившему некоторые неточности при ответе.

Оценка «**хорошо (7)**» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и уверенное понимание материала учебной программы и умение свободно применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка «**хорошо (6)**» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач.

Оценка «**хорошо (5)**» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала учебной программы и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач, однако допустил при ответе ряд грубых неточностей.

Оценка «**удовлетворительно (4)**» выставляется студенту, показавшему фрагментарный характер знаний, допускавшему неточности в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «**удовлетворительно (3)**» выставляется студенту, показавшему сильно фрагментарный характер знаний, допускавшему грубые ошибки в формулировке основных законов и базовых понятий, но при этом продемонстрировавшему способность решать простые задачи и владение основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения.

Оценка «**неудовлетворительно (2)**» или «**неудовлетворительно (1)**» выставляется студенту, который не знает значительную часть основного содержания программы, систематически допускает грубые ошибки при формулировании основных физических законов или не способен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

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

### **Порядок проведения дифференциального зачёта.**

Зачёт проходит в форме беседы преподавателя со студентом по темам избранных задач из заданий и выбранных теоретических вопросов.

На подготовку к ответу по теоретическому вопросу студенту даётся от 30 до 45 минут.

В процессе ответа на теоретический вопрос или пояснения решения задач из задания преподаватель может задавать уточняющие вопросы. После ответа преподаватель вправе задавать студенту любые дополнительные вопросы по программе курса.

### БИЛЕТ 1.

1. Вопрос по выбору.
2. Законы Ньютона. Движение тел в инерциальных и неинерциальных системах отсчета.
3. Задача.

### БИЛЕТ 2.

1. Вопрос по выбору.
2. Принцип относительности Галилея и принцип относительности Эйнштейна. Преобразования Лоренца. Инвариантность интервала.
3. Задача.

### БИЛЕТ 3.

1. Вопрос по выбору.
2. Законы сохранения энергии и импульса в классической механике. Упругие и неупругие столкновения.
3. Задача.