

**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

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Общая физика: квантовая физика
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Программная инженерия передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра общей физики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

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

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 0 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 30 час.

Самостоятельная работа: 135 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 225, всего зач. ед.: 5

Количество контрольных работ, заданий: 3

Программу составили:

В.Ф. Козлов, канд. физ.-мат. наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой

Ю.В. Петров, д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор

Н.В. Сидоренко, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

Программа обсуждена на заседании кафедры общей физики 14.01.2020

Аннотация

Программа является составной частью курса общей физики, предназначенного для освоения студентами специальности "Информатика и вычислительная техника" учебного и научно-исследовательского центра по аэромеханике и летательной технике (УНИЦ АЛТ). Она нацелена на ознакомление обучающихся с базовыми понятиями и результатами квантовой механики. Знакомство обучающегося с предметом начинается с изложения экспериментальных и теоретических результатов, положенных в основания квантовой механики. Далее студент последовательно знакомится с математическим формализмом дисциплины и основными результатами его применения при решении ряда практически важных задач таких, как энергетические спектры водородоподобных атомов, вращательные спектры жестких ротаторов, колебательные спектры гармонических осцилляторов, прохождение частиц через потенциальные барьеры и т.д. В заключительной части программы излагаются общепризнанные на сегодняшний день элементы теорий строения и взаимодействий андронной материи.

Программой предусматривается самостоятельное освоение студентами теоретической составляющей дисциплины с использованием электронных средств дистанционного обучения и рекомендованной в программе учебной литературы, овладение основными приемами самостоятельного решения задач квантовой механики на семинарах под руководством преподавателя и приобретение навыков проведения экспериментальных измерений и обработки их результатов, а также знакомство с современными измерительными устройствами в учебных лабораториях физики УНИЦ АЛТ. В качестве помощи студентам в самостоятельном освоении теоретической составляющей курса программой предусмотрены в дни, отведенные по расписанию для практических занятий в лаборатории, консультации (10 ак. часов), проводимыми преподавателями-семинаристами учебных групп.

Для успешного освоения онлайн-курса слушателю желательно знать курсы общей физики: "Механика", "Термодинамика и молекулярная физика", «Электричество и магнетизм», "Оптика" и владеть основами математического анализа, теории вероятностей, теории функций комплексного переменного, уравнений математической физики, а также знать основы линейной алгебры.

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
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки

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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
---	---

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;
- ☐ 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.

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	Фотоэффект. Эффект Комптона.		2	2	15
2	Волны де Бройля. Соотношения неопределенностей.		2	2	16
3	Уравнение Шредингера. Потенциальные барьеры. Туннельный эффект.		4	2	10
4	Потенциальные ямы. Квазиклассическое приближение.		4	2	11
5	Водородоподобные атомы. Колебательные и вращательные спектры молекул.		4	2	24
6	Магнитный момент. Спин.		4	2	10
7	Ядерные модели. Радиоактивность.		4	2	11
8	Ядерные реакции.		2	2	24
9	Фундаментальные взаимодействия и частицы. Сильное взаимодействие.		2	2	7
10	Фундаментальные взаимодействия и частицы. Слабое взаимодействие.		2	2	7
11	Консультации.			10	
Итого часов			30	30	135
Подготовка к экзамену		30 час.			

Общая трудоёмкость	225 час., 5 зач.ед.
--------------------	---------------------

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

Семестр: 5 (Осенний)

1. Фотоэффект. Эффект Комптона.
2. Волны де Бройля. Соотношения неопределенностей.
3. Уравнение Шредингера. Потенциальные барьеры. Туннельный эффект.
4. Потенциальные ямы. Квазиклассическое приближение.
5. Водородоподобные атомы. Колебательные и вращательные спектры молекул.
6. Магнитный момент. Спин.
7. Ядерные модели. Радиоактивность.
8. Ядерные реакции.
9. Фундаментальные взаимодействия и частицы. Сильное взаимодействие.
10. Фундаментальные взаимодействия и частицы. Слабое взаимодействие.
11. Консультации.

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

- Аудитория, оснащённая коммуникационными средствами с выходом в Интернет и оборудованием для коллективного просмотра видеолекций.
- 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

Дополнительная литература

1. 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.
2. Методы решения задач в общем курсе физики. Атомная и ядерная физика [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. П. Корявов .— М. : Студент, 2012 .— 327 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)

1. http://mipt.ru/education/chair/physics/S_V/method/ — методический раздел сайта кафедры Общей физики
2. <http://lib.mipt.ru/catalogue/1412/?t=750> – электронная библиотека МФТИ, раздел «Общая физика»
3. <https://mipt.ru/education/chair/physics/records/quantum/>

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 учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на практических занятиях;
- подготовку к практическим занятиям, контрольной работе, сдаче заданий, экзамену.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студентов осуществляется в форме групповых 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).

ПРИЛОЖЕНИЕ

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Программная инженерия передовая инженерная школа радиолокации, радионавигации и программной инженерии кафедра общей физики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

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

Разработчики:

В.Ф. Козлов, канд. физ.-мат. наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой
Ю.В. Петров, д-р физ.-мат. наук, доцент, профессор
Н.В. Сидоренко, канд. физ.-мат. наук, доцент, доцент

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-1.5 Определяет и оценивает практические последствия возможных вариантов решения задачи
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
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-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели

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

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.

К каждой теме семинара задачи разбиты на 2 группы:

0 гр. — задачи для самостоятельного решения студентами к предстоящему семинару. При необходимости эти задачи разбираются на семинаре.

1 гр. — задачи, рекомендованные для обсуждения на семинаре и для самостоятельного решения после него. Номера задач указаны по задачнику «Сборник задач по общему курсу физики. Ч. III. Атомная и ядерная физика. Строение вещества» / под ред. В.А. Овчинкина. — М.: Физматкнига, 2009. Решения этих задач студент оформляет в отдельной тетради, которая в установленные в задании сроки сдается преподавателю на проверку.

При сдаче заданий преподаватель по своему усмотрению может проводить для студентов учебной группы контрольные работы, в задачах которых отражены темы, рассмотренные на предшествующих семинарах.

Выполнение студентом каждой из указанных выше лабораторных работ производится в сроки, указанные в индивидуальном семестровом графике лабораторных работ (маршруте) обучающегося. Оно состоит из четырех этапов:

I. Подготовка к выполнению работы. Она производится, как правило, в течение недели, предшествующей лабораторному эксперименту, и включает в себя изучение описания работы и рекомендованной в описании учебной литературы, в которой излагается теория исследуемого явления, а также оформление в соответствии с действующими правилами лабораторного журнала студента.

II. Экспериментальные измерения в лаборатории. Этот этап начинается с допуска студента к работе преподавателем, проводящим в лаборатории занятия учебной группы. Он подразумевает проверку готовности студента к выполнению работы, включая его ответы на контрольные вопросы, с выставлением оценки в кафедральном журнале учебной группы в графу «Подготовка». В случае неготовности к проведению измерений студент не допускается к выполнению лабораторной работы, о чем делается соответствующая отметка в кафедральном журнале учебной группы. В дальнейшем, по мере готовности, он выполняет измерения во внеурочное время.

Допущенный к работе студент по окончании измерений предъявляет результаты преподавателю, а тот предлагает ему выполнить контрольный расчет параметров в соответствии с рабочими формулами для одной - двух экспериментальных точек. Если результаты расчета соответствуют прогнозируемым значениям – преподаватель ставит свою подпись в лабораторном журнале студента, если – нет, то предпринимаются меры по выяснению причин расхождения, включая повторные измерения.

III. Обработка результатов лабораторного эксперимента производится студентом самостоятельно в соответствии с действующими правилами (см.: «Лабораторный практикум по общей физике. Т. 1. Механика». Под редакцией А.Д. Гладуна. – М.: МФТИ, 2012, гл. 1). По завершении обработки результатов обучающийся должен подготовиться к защите лабораторной работы. Такая подготовка включает в себя самостоятельную проверку и анализ результатов обработки, подготовку ответов на контрольные вопросы из описания лабораторной работы, а также проработку по рекомендованным в описании учебникам теоретического материала, относящегося к изучаемой теме.

IV. Защита лабораторной работы обучающимся производится в контрольные сроки, указанные в его индивидуальном семестровом графике лабораторных работ, во время занятий в лаборатории согласно действующему расписанию. Лабораторная работа, не представленная к защите в течение месяца после лабораторного эксперимента, аннулируется преподавателем. Вместо нее студенту назначается другая из имеющегося перечня лабораторных работ.

Защита лабораторной работы подразумевает, прежде всего, проверку преподавателем результатов обработки данных экспериментальных измерений на их соответствие теоретической модели изучаемого явления или физического процесса. Если окажется, что результаты значительно расходятся с табличными значениями измеренных параметров, и причину расхождения обнаружить и устранить не удастся, студент может быть направлен преподавателем на выполнение повторных измерений и пересчет результатов.

В случае неудовлетворительного оформления отчета по результатам измерений студент также может быть отстранен преподавателем от защиты работы для устранения недочетов до следующего занятия по расписанию.

Обязательным при защите результатов лабораторной работы является установление степени освоения студентом теории исследуемого явления или физического процесса. Для этого преподаватель может использовать список контрольных вопросов из описания лабораторной работы. Преподаватель также может предложить студенту выполнить оценку вклада в погрешность измерений факторов, не учтенных в используемых при расчетах рабочих формулах.

По итогам защиты результатов работы преподаватель ставит в кафедральный журнал учебной группы соответствующую итоговую оценку (по 10-балльной шкале), учитывающую, в том числе, оценку за подготовку к работе.

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

Изучение дисциплины завершается дифференцированным зачетом и семестровым экзаменом.

Дифференцированный зачет

К сдаче зачета допускаются только студенты, успешно сдавшие два задания, выполнившие и успешно защитившие в соответствии с индивидуальным графиком все лабораторные работы. Итоговая оценка определяется как полусумма (с округлением до целого значения по 10-балльной системе) средних арифметических баллов оценок за задания и за лабораторные работы. В исключительных случаях со студентом, допускаящим в течение семестра нарушения учебного графика, может быть проведено дополнительное собеседование с целью установления степени освоения им программы дисциплины.

Экзамен

Семестровый экзамен состоит из двух частей: письменной и устной, причем в экзаменационную ведомость и зачетную книжку студента экзаменатором ставится одна общая оценка. Студенты, не имеющие дифференцированного зачета по дисциплине «Общая физика: квантовая физика», к устному экзамену не допускаются.

На письменном экзамене студенту предлагается решить 5 задач в течение 4 часов. Тематика задач полностью соответствует программе курса, однако все задачи письменного экзамена являются полностью оригинальными. С примерами задач прошлых лет можно ознакомиться на сайте кафедры общей физики в разделе экзаменационных материалов за 5-й семестр https://mipt.ru/education/chair/physics/S_V/. и в имеющемся в отделении УНИЦ АЛТ КОФ архиве письменных экзаменационных работ. По итогам письменного экзамена студенту выставляется промежуточная оценка. Один из возможных вариантов определения такой оценки представлен в разделе "Критерии оценивания". В дальнейшем она учитывается на устном экзамене при выставлении итоговой экзаменационной оценки по дисциплине.

На устном экзамене студент должен изложить экзаменатору материал экзаменационного билета (случайным образом выбранный вопрос из программы) и так называемый «вопрос по выбору». Его студент готовит заранее. Это может быть либо углубленное изложение одного из вопросов программы курса, либо вопрос, отсутствующий в программе курса, но имеющий непосредственное отношение к изучаемой дисциплине, а также изложение и защита результатов лабораторной работы, проделанной студентом в лабораторном практикуме в качестве дополнительной работы. На ответ по «вопросу по выбору» студенту предоставляется не более 10 минут.

При подготовке к устному экзамену рекомендуется использовать следующий список экзаменационных вопросов:

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.
10. Движение в центральном поле, гамильтониан в сферических координатах, центробежная энергия, радиальное уравнение Шредингера
11. Уравнение Шредингера для атома водорода. Волновая функция основного состояния. Классификация электронных состояний атома водорода (без вывода).
12. Вращательный спектр пространственного ротатора. Вращательные и колебательные уровни молекул.
13. Магнитный орбитальный момент электронов, гиромагнитное отношение, g-фактор, магнетон Бора. Опыт Штерна-Герлаха. Гипотеза Уленбека и Гаудсмита о спине электрона, спиновый g-фактор.
14. Тождественность частиц, бозоны и фермионы, принцип Паули. Сложные атомы. Электронная конфигурация атома. Атомные термы, спектроскопическая запись состояния атома.
15. Фундаментальные взаимодействия и фундаментальные частицы (лептоны, кварки и переносчики взаимодействий, бозон Хиггса).

16. Кварковая структура адронов — мезоны, барионы. Сильное взаимодействие, квантовая хромодинамика.
17. Слабое взаимодействие. бозоны, слабые распады адронов.
18. Атомное ядро, зависимость радиуса от массового числа. Формула Вайцеккера для энергии связи ядра.
19. Ядерная радиоактивность. Закон радиоактивного распада, константа распада, период полураспада, среднее время жизни, вековое уравнение.
20. Альфа-распад, закон Гейгера-Нэттола и его вывод (формула Гамова).
21. Бета-распад атомных ядер (-захват), условия бета-распада.

Критерии оценивания

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПИСЬМЕННОЙ ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Для удобства преподавателя, проверяющего письменную экзаменационную работу студента, может быть использована следующая система критериев (предполагается использование 10-балльной шкалы оценок):

1. Задача решена верно (т. е. приведено обоснованное правильное решение). Возможно наличие мелких недочётов (несущественные арифметические ошибки).- 2 бал.
2. Задача решена правильно, но отсутствует численный ответ, или численный ответ на порядок и более отличается от правильного. - 1,5 бал.
3. Задача не решена, но основные физические законы, необходимые для решения, сформулированы правильно (при этом выкладки начаты, но не доведены до конца, либо в выкладках есть существенные ошибки, приведшие к неверному решению). - 1 бал.
4. Задача не решена. Основные физические законы, необходимые для решения, сформулированы правильно. Выкладки либо отсутствуют, либо они изначально неверны.- 0,5 бал.
5. Задача не решена, но была безуспешная попытка решить. - 0 бал.
6. Попытки решить задачу не было. - 0 бал.

Итоговая оценка за работу (по 10-балльной шкале) определяется как сумма баллов по всем задачам с округлением до ближайшего (сверху) целого. В дальнейшем она учитывается на устном экзамене при выставлении итоговой экзаменационной оценки по дисциплине. Оценка за письменную часть экзамена определяет максимальную итоговую оценку за экзамен. В исключительных случаях, если на устной части экзамена студент демонстрирует превосходные теоретические знания и уровень понимания предмета, итоговая оценка с согласия лектора курса может быть повышена, но не более чем на 2 балла (по 10-балльной шкале).

КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ОТВЕТОВ СТУДЕНТА НА УСТНОМ ЭКЗАМЕНЕ

На устном экзамене экзаменатор оценивает ответ студента в целом и выставляет оценку согласно приведённым ниже критериям и изложенным выше замечаниям касательно письменной части экзамена:

- Оценка «отлично (10)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания программы дисциплины 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 программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении нестандартных задач.
- Оценка «отлично (8)» выставляется студенту, показавшему всесторонние систематизированные глубокие знания программы дисциплины 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 программы дисциплины и умение свободно применять физические законы на практике при решении типовых задач.
- Оценка «хорошо (6)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание материала программы дисциплины и умение применять физические законы на практике при решении типовых задач.

- Оценка «хорошо (5)» выставляется студенту, если он продемонстрировал твердое знание и понимание материала программы дисциплины 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 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 неспособен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

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

Методические материалы, относящиеся к курсу "Общая физика: квантовая механика", находятся на сайте кафедры общей физики МФТИ: https://mipt.ru/education/chair/physics/S_V/method/

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

Промежуточный контроль знаний по дисциплине «Общая физика: квантовая физика» осуществляется контрольных работ, 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.

К каждой теме семинара задачи разбиты на 2 группы:

0 гр. — задачи для самостоятельного решения студентами к предстоящему семинару. При необходимости эти задачи разбираются на семинаре.

1 гр. — задачи, рекомендованные для обсуждения на семинаре и для самостоятельного решения после него. Номера задач указаны по задачнику «Сборник задач по общему курсу физики. Ч. III. Атомная и ядерная физика. Строение вещества» / под ред. В.А. Овчинкина. — М.: Физматкнига, 2009. Решения этих задач студент оформляет в отдельной тетради, которая в установленные в задании сроки сдается преподавателю на проверку.

При сдаче заданий преподаватель по своему усмотрению может проводить для студентов учебной группы контрольные работы, в задачах которых отражены темы, рассмотренные на предшествующих семинарах.

Изучение дисциплины завершается дифференцированным зачетом и семестровым экзаменом.

Дифференцированный зачет

Для получения зачёта студенту необходимо в установленные учебным графиком сдать два задания и выполнить установленное учебным графиком количество лабораторных работ. Выполнение каждой работы из индивидуального семестрового графика лабораторных работ (маршрута) обучающегося состоит из четырех этапов:

1. Подготовка к выполнению работы. Она производится, как правило, в течение недели, предшествующей лабораторному эксперименту, и включает в себя изучение описания работы и рекомендованной в описании учебной литературы, в которой излагается теория исследуемого явления, а также оформление в соответствии с действующими правилами лабораторного журнала студента.

2. Экспериментальные измерения в лаборатории. Этот этап начинается с допуска студента к работе преподавателем, проводящим в лаборатории занятия учебной группы. Он подразумевает проверку готовности студента к выполнению работы, включая его ответы на контрольные вопросы, с выставлением оценки в кафедральном журнале учебной группы в графу «Подготовка». В случае неготовности к проведению измерений студент не допускается к выполнению лабораторной работы, о чем делается соответствующая отметка в кафедральном журнале учебной группы. В дальнейшем, по мере готовности, он выполняет измерения во внеурочное время.

Допущенный к работе студент по окончании измерений предъявляет результаты преподавателю, а тот предлагает ему выполнить контрольный расчет параметров в соответствии с рабочими формулами для одной - двух экспериментальных точек. Если результаты расчета соответствуют прогнозируемым значениям – преподаватель ставит свою подпись в лабораторном журнале студента, если – нет, то предпринимаются меры по выяснению причин расхождения, включая повторные измерения.

3. Обработка результатов лабораторного эксперимента производится студентом самостоятельно в соответствии с действующими правилами (см.: «Лабораторный практикум по общей физике. Т. 1. Механика». Под редакцией А.Д. Гладуна. – М.: МФТИ, 2012, гл. 1). По завершении обработки результатов обучающийся должен подготовиться к защите лабораторной работы. Такая подготовка включает в себя самостоятельную проверку и анализ результатов обработки, подготовку ответов на контрольные вопросы из описания лабораторной работы, а также проработку по рекомендованным в описании учебникам теоретического материала, относящегося к изучаемой теме.

4. Защита лабораторной работы обучающимся производится в контрольные сроки, указанные в его индивидуальном семестровом графике лабораторных работ, во время занятий в лаборатории согласно действующему расписанию. Лабораторная работа, не представленная к защите в течение месяца после лабораторного эксперимента, аннулируется преподавателем. Вместо нее студенту назначается другая из имеющегося перечня лабораторных работ.

Защита лабораторной работы подразумевает, прежде всего, проверку преподавателем результатов обработки данных экспериментальных измерений на их соответствие теоретической модели изучаемого явления или физического процесса. Если окажется, что результаты значительно расходятся с табличными значениями измеренных параметров, и причину расхождения обнаружить и устранить не удастся, студент может быть направлен преподавателем на выполнение повторных измерений и пересчет результатов.

В случае неудовлетворительного оформления отчета по результатам измерений студент также может быть отстранен преподавателем от защиты работы для устранения недочетов до следующего занятия по расписанию.

Обязательным при защите результатов лабораторной работы является установление степени освоения студентом теории исследуемого явления или физического процесса. Для этого преподаватель может использовать список контрольных вопросов из описания лабораторной работы. Преподаватель также может предложить студенту выполнить оценку вклада в погрешность измерений факторов, не учтенных в используемых при расчетах рабочих формулах.

По итогам защиты результатов работы преподаватель ставит в кафедральный журнал учебной группы соответствующую итоговую оценку (по 10-бальной шкале), учитывающую, в том числе, оценку за подготовку к работе.

По окончании семестра каждый обучающийся должен получить дифференцированный зачет по дисциплине «Общая физика: механика». К сдаче зачета допускаются только студенты, успешно сдавшие два задания, выполнившие и успешно защитившие в соответствии с индивидуальным графиком все лабораторные работы. Итоговая оценка определяется как полусумма (с округлением до целого значения по 10-балльной системе) средних арифметических баллов оценок за задания и за лабораторные работы. В исключительных случаях со студентом, допускавшим в течение семестра нарушения учебного графика, может быть проведено дополнительное собеседование с целью установления степени освоения им программы дисциплины.

Экзамен

Семестровый экзамен состоит из двух частей: письменной и устной, причем в экзаменационную ведомость и зачетную книжку студента экзаменатором ставится одна общая

оценка. Студенты, не имеющие дифференцированного зачета по дисциплине «Общая физика: квантовая физика», к устному экзамену не допускаются.

На письменном экзамене студенту предлагается решить 5 задач в течение 4 часов. Тематика задач полностью соответствует программе курса, однако все задачи письменного экзамена являются полностью оригинальными. С примерами задач прошлых лет можно ознакомиться на сайте кафедры общей физики в разделе экзаменационных материалов за 5-й семестр https://mipt.ru/education/chair/physics/S_V. По итогам письменного экзамена студенту выставляется промежуточная оценка. Один из возможных вариантов определения такой оценки представлен в ниже приведенной таблице (итоговая оценка за работу (по 10-балльной шкале) определяется как сумма баллов по всем задачам с округлением до ближайшего (сверху) целого):

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОВЕРКЕ ЭКЗАМЕНАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Символ	Балл	Обоснование
+	2	Задача решена верно (т. е. приведено обоснованное правильное решение). Возможно наличие мелких недочётов (несущественные арифметические ошибки)
±	1,5	Задача решена правильно, но отсутствует численный ответ, или численный ответ на порядок и более отличается от правильного
+/-	1	Задача не решена, но основные физические законы, необходимые для решения, сформулированы правильно (при этом выкладки начаты, но не доведены до конца, либо в выкладках есть существенные ошибки, приведшие к неверному решению)
∓	0,5	Задача не решена. Основные физические законы, необходимые для решения, сформулированы правильно. Выкладки либо отсутствуют, либо они изначально неверны
-	0	Задача не решена, но была безуспешная попытка решить
0	0	Попытки решить задачу не было

В дальнейшем она учитывается на устном экзамене при выставлении итоговой экзаменационной оценки по дисциплине.

На устном экзамене студент должен изложить экзаменатору материал экзаменационного билета (случайным образом выбранный вопрос из программы) и так называемый «вопрос по выбору». Его студент готовит заранее. Это может быть либо углубленное изложение одного из вопросов программы курса, либо вопрос, отсутствующий в программе курса, но имеющий непосредственное отношение к изучаемой дисциплине, а также изложение и защита результатов лабораторной работы, проделанной студентом в лабораторном практикуме в качестве дополнительной работы. На ответ по «вопросу по выбору» студенту предоставляется не более 10 минут.

При подготовке к устному экзамену рекомендуется использовать следующий список экзаменационных вопросов:

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.
10. Движение в центральном поле, гамильтониан в сферических координатах, центробежная энергия, радиальное уравнение Шредингера
11. Уравнение Шредингера для атома водорода. Волновая функция основного состояния. Классификация электронных состояний атома водорода (без вывода).
12. Вращательный спектр пространственного ротатора. Вращательные и колебательные уровни молекул.
13. Магнитный орбитальный момент электронов, гиромагнитное отношение, g-фактор, магнетон Бора. Опыт Штерна-Герлаха. Гипотеза Уленбека и Гаудсмита о спине электрона, спиновый g-фактор.
14. Тождественность частиц, бозоны и фермионы, принцип Паули. Сложные атомы. Электронная конфигурация атома. Атомные термы, спектроскопическая запись состояния атома.
15. Фундаментальные взаимодействия и фундаментальные частицы (лептоны, кварки и переносчики взаимодействий, бозон Хиггса).
16. Кварковая структура адронов — мезоны, барионы. Сильное взаимодействие, квантовая хромодинамика.
17. Слабое взаимодействие. W^{\pm}, Z^0 бозоны, слабые распады адронов.
18. Атомное ядро, зависимость радиуса от массового числа. Формула Вайцеккера для энергии связи ядра.
19. Ядерная радиоактивность. Закон радиоактивного распада, константа распада, период полураспада, среднее время жизни, вековое уравнение.
20. Альфа-распад, закон Гейгера-Нэттола и его вывод (формула Гамова).
21. Бета-распад атомных ядер (β^{-}, β^{+}, E -захват), условия бета-распада.

4. Критерии оценивания

Оценка за письменную часть экзамена определяет максимальную итоговую оценку за экзамен. В исключительных случаях, если на устной части экзамена студент демонстрирует превосходные теоретические знания и уровень понимания предмета, итоговая оценка

с согласия лектора курса может быть повышена, но не более чем на 2 балла (по 10-балльной шкале).

На устном экзамене преподаватель оценивает ответ студента в целом и выставляет оценку 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 неспособен корректно применять физические законы даже для решения простых задач.

Порядок проведения письменного экзамена.

Время проведения письменной части экзамена составляет 4 астрономических часа. На экзамене не разрешается пользоваться какими-либо записями и учебными пособиями. Категорически запрещается включать любые устройства, которые могут служить средствами связи – ноутбуки, планшеты, телефоны и т.п. Нарушители удаляются с экзамена с оценкой «неудовлетворительно». Разрешается пользоваться калькуляторами. Запрещается пользоваться калькуляторами в мобильных телефонах, ноутбуках и т.п.

Порядок проведения устного экзамена.

Экзамен проходит в традиционной форме беседы преподавателя со студентом по теме экзаменационного билета. На подготовку к ответу по билету студенту даётся 45÷55 минут. В течение экзамена студенту не разрешается пользоваться вычислительной техникой, литературой, заранее подготовленными собственными записями и другими материалами, относящимися к предмету, кроме экзаменационной программы курса.

В процессе ответа на «вопрос по выбору» разрешается пользоваться заранее подготовленным планом ответа и заранее подготовленными иллюстрациями/графиками, представленными в бумажном виде, либо на электронном носителе (планшет/ноутбук). Используемые графики или иллюстрации не должны содержать частей текста доклада. На подготовку ответа на «вопрос по выбору» (повторение) даётся не более 5 минут, а на ответ по «вопросу по выбору» студенту предоставляется не более 10 минут.

В процессе ответа по билету экзаменатор может задавать уточняющие вопросы. После ответа по билету экзаменатор вправе задавать студенту любые дополнительные вопросы по программе курса.

В совокупности опрос обучающегося на устном экзамене не должен превышать двух астрономических часов.

Перечень контрольных вопросов для устного экзамена:

1. Квантовая природа света. Внешний фотоэффект. Уравнение Эйнштейна.
2. Волновая природа частиц. Эффект Комптона.
3. Корпускулярно-волновой дуализм. Волны де Бройля. Опыты Девиссона-Джермера и Томсона по дифракции электронов.
4. Волновая функция. Операторы координаты и импульса. Средние значения физических величин.
5. Соотношение неопределенностей для координаты и импульса.
6. Постулаты Бора. Энергетический спектр водородоподобных атомов.
7. Характеристическое рентгеновское излучение, закон Мозли.
8. Нестационарное и стационарное уравнение Шредингера.
9. Квантовый гармонический осциллятор
10. Квантовый ротатор
11. Молекулярные спектры: колебательные и вращательные уровни
12. Опыты Штерна и Герлаха. Спин электрона. Орбитальный и спиновый магнитные моменты электрона.
13. Тожественность частиц. Симметрия волновой функции относительно перестановки частиц. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.
14. Спин-орбитальное взаимодействие. Тонкая и сверхтонкая структура оптических спектров.
15. Капельная модель ядра и формула Вайцеккера.
16. Закон радиоактивного распада. Период полураспада и время жизни.
17. Туннелирование частиц сквозь потенциальный барьер. Альфа-распад. Закон Гейгера-Нэттола и его объяснение.
18. Типы бета-распадов. Объяснение непрерывности энергетического спектра электронов. Нейтрино.
19. Ядерные реакции. Составное ядро. Сечение нерезонансных реакций. Закон Бете.
20. Деление ядер под действием нейтронов. Принцип работы ядерного реактора на тепловых нейтронах.
21. Соотношение неопределенностей для энергии и времени. Оценка времени жизни виртуальных частиц, радиусов сильного и слабого взаимодействий.
22. Фундаментальные взаимодействия и фундаментальные частицы (лептоны, кварки и переносчики взаимодействий, бозон Хиггса). Кварковая структура адронов.

Примеры задач, которые следует предлагать для решения экзаменуемому студенту:

1. Почему макроскопические (даже очень маленькие) объекты не проявляют волновых свойств? Оцените среднеквадратичную скорость капельки тумана радиусом $r = 0,1$ мкм взвешенной в воздухе при комнатной температуре. Оцените длину волны де Бройля для такой капельки.

2. Частица массы m заключена в одномерном потенциальном ящике шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками. Оценить на основе соотношения неопределённости, какую работу надо затратить на сжатие ящика вдвое. Считайте, что частица находится в основном состоянии.

3. При какой кинетической энергии электрона его дебройлевская и комптоновская длины волн равны между собой?

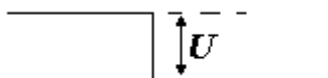
4. Луч лазера мощностью 10^{10} Вт падает по нормали на зеркально отражающую поверхность. Оцените величину силы, действующую на эту поверхность.

5. Показать, что свободный электрон в вакууме не может ни поглощать, ни излучать фотон, а лишь их рассеивать.

6. Считая, что вне ядра волновая функция основного состояния дейтрона (система протон - нейтрон) в системе центра инерции имеет вид $\psi(r) = \text{const} \exp(-kr)/r$, где r – относительное расстояние между протоном и нейтроном, $k = 2,3 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-1}$, определить среднее расстояние между протоном и нейтроном и минимальную энергию γ -кванта, способного расщепить ядро на составные части.

7. Частица массы m находится в одномерной потенциальной яме шириной a с непроницаемыми стенками ($0 < x < a$). Состояние частицы в начальный момент описывается волновой функцией $\psi = Ax(a - x)$. Найти вероятность пребывания частицы на 1, 2, 3 энергетических уровнях. Определить среднее значение энергии частицы в данном состоянии.

8. На ступеньку глубиной $U = 10$ эВ слева падает поток электронов энергией $E = 100$ эВ. и концентрацией $n = 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Определить коэффициент отражения и давление, испытываемое ступенькой.



11. Найти первые два минимальных значения энергии электрона, при которых он беспрепятственно пройдет над прямоугольным потенциальным барьером высотой $U_0 = 10$ эВ и шириной $d = 5 \cdot 10^{-8} \text{ см}$.

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 вращательными 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 $2p$ состоянии в атоме водорода

- Получить величину энергии расщепления для $1s$ состояний атома водорода в магнитном поле $B = 1 \text{ Тл}$.
- 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}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 .