

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
филиал МГУ в г. Севастополе
факультет естественных наук
кафедра физики и геофизики

УТВЕРЖДЕНО
на 20 24 - 20 25 учебный год
Методическим советом Филиала
Протокол № 10 от 19.08 20 24 г.
Заместитель директора по учебной работе
Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ

Директор
Филиала МГУ в г. Севастополе
О.А. Шпырко
« » 20 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Наименование дисциплины (модуля):

Введение в квантовую физику

код и наименование дисциплины (модуля)

Уровень высшего образования:

специалитет

Направление подготовки:

03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

(код и название направления/специальности)

Направленность (профиль) ОПОП:

общий

(если дисциплина (модуль) относится к вариативной части программы)

Форма обучения:

очная

очная, очно-заочная

Рабочая программа рассмотрена
на заседании кафедры физики и геофизики
протокол №4 от «21» июня 2023 г.
Заведующий кафедрой

(подпись)

(К.В. Показеев)

Рабочая программа одобрена
Методическим советом
Филиала МГУ в г. Севастополе
Протокол №6 от «28» июня 2023 г.

(подпись)

(Л.И. Теплова)

Севастополь, 2023

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по специальности 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика», утвержденным приказом МГУ от 29 декабря 2018 года № 1780 (в редакции приказа МГУ от 10 июня 2021 года № 609, от 7 октября 2021 года № 1048, от 21 декабря 2021 года № 1404), приказами об утверждении изменений в ОС МГУ от 29 мая 2023 года №700, от 29 мая 2023 года № 702, от 29 мая 2023 года № 703

Год (годы) приема на обучение: с 2020

курс – 2

семестры – 4

зачетных единиц – 3

академических часов – 72, в т.ч.

лекций – 36 часов

практических занятий – 36 часов

Форма промежуточной аттестации:

зачет в 3 семестре

Дисциплина «Введение в квантовую физику» входит в базовую часть профессионального цикла ОС МГУ по направлению подготовки 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика» (специалитет). Она является интегрированной, логически и содержательно-методически базирующейся на таких предметах, изучаемых в высшей школе, как «Общая физики», «Математический анализ» и «Аналитическая геометрия и линейная алгебра».

Кроме того, для успешного освоения дисциплины «Введение в квантовую физику» студент должен обладать основами знаний, полученных им в средней общеобразовательной школе по естественно-научным предметам (физике, математике, химии, астрономии и биологии).

2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть).

Успешное освоение дисциплин по общей физике и высшей математике.

3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать:

- основные квантово-физические понятия и термины;
- ключевые эксперименты и основные этапы развития квантовой физики;
- фундаментальные законы квантовой физики;
- основы математического аппарата квантовой механики;
- подходы к решению квантово-физических задач.

Уметь:

- мыслить квантово-физическими категориями;
- выявлять причинно-следственные связи между квантовыми природными явлениями;
- применять знания об основных квантово-физических понятиях, концепциях, теориях, закономерностях в отношении к конкретным объектам;
- обоснованно выдвигать гипотезы и предлагать пути их проверки;
- проводить анализ экспериментальных данных и делать выводы на их основе;
- проводить корректные оценки квантовых величин и решать квантово-физические задачи точно или в соответствующем приближении;
- работать с естественнонаучной (физической) информацией, содержащейся в сообщениях СМИ, ресурсах Интернета, научно-популярных статьях: владеть методами поиска, выделять смысловую основу и оценивать достоверность информации.

Владеть:

- умениями применять полученные знания для адекватного объяснения квантовых явлений окружающего мира.

Иметь опыт:

- при помощи фундаментальных законов квантовой физики доказывать существование причинно-следственных связей между квантовыми природными явлениями и объяснять соответствующие явления в окружающем мире.

4. Формат обучения – контактный.

5. Объем дисциплины (модуля) составляет 4 з.е., в том числе 68 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (аудиторная нагрузка), 76 академических часов на самостоятельную работу обучающихся.

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

6.1. Структура дисциплины (модуля) по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий.

Наименование разделов и тем дисциплины (модуля), Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	Номинальные трудозатраты обучающегося		Всего академических часов	Форма текущего контроля успеваемости (наименование)	
	Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы				Самостоятельная работа обучающегося, академические часы
	Занятия лекционного типа*	Занятия семинарского типа*			
<u>Квантовые свойства излучения</u> 1.1. Законы теплового излучения. Квантовая теория излучения. 1.2. Фотонный газ и его свойства. Квантовая оптика. Корпускулярно-волновой дуализм света	Консультации, 5	Решение задач, 5	9	19	-
<u>Волновые свойства частиц</u> 2.1. Гипотеза де Бройля. Экспериментальные подтверждения гипотезы де Бройля 2.2. Волновой пакет. Соотношения неопределенностей.	Консультации, 5	Решение задач, 6	10	21	-
<u>Основные постулаты квантовой механики</u> 3.1. Волновая функция. Принцип суперпозиции. Уравнение Шредингера. Вектор	Консультации, 5	Решение задач, 6	10	21	Контрольная работа

плотности потока вероятности. 3.2. Представление физических величин операторами. Собственные функции и собственные значения операторов. 3.3. Измерения физических величин в квантовых системах.					
<u>Стационарные задачи квантовой механики</u> 4.1. Уравнение Шредингера для стационарных состояний. Частица в потенциальной яме с непроницаемыми стенками. 4.2. Движение частицы в областях потенциального порога и потенциального барьера. 4.3. Потенциальная яма конечной глубины. Квантовый гармонический осциллятор.	Кон-сультации, 5	Решение задач, 6	10	21	-
<u>Квантовая теория атома</u> 5.1. Квантовые свойства атомов. Теория Бора атома водорода. 5.2. Квантовомеханическое описание водородоподобных атомов. Квантовые числа и их физический смысл. 5.3. Опыт Штерна - Герлаха. Гипотеза о спине электрона. Атом в магнитном поле. Вынужденное излучение атомов.	Кон-сультации, 5	Решение задач, 6	10	21	-
<u>Квантовые статистические распределения</u> 6.1. Квантовомеханическое описание системы	Кон-сультации, 5	Решение задач, 5	9	19	Контрольная работа

многих частиц. Атом гелия. Многоэлектронные атомы 6.2. Распределение Бозе-Эйнштейна. Распределение Ферми-Дирака 6.3. Электронный газ в металлах Эмиссия электронов из металла					
<u>Компьютерное моделирование в квантовой физике</u> (обзорная лекция)	Консультации, 4	-	10	14	-
Другие виды самостоятельной работы (при наличии): например, курсовая работа, творческая работа (эссе)	-	-	-	-	-
	34	34	68	76	
Промежуточная аттестация (экзамен)			8		
Итого				144	

6.2. Содержание разделов (тем) дисциплины.

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
Лекции		
1.	Законы теплового излучения. Квантовая теория излучения.	Характеристики теплового излучения. Закон Кирхгофа. Закон Стефана — Больцмана. Закон смещения Вина. Объемная плотность энергии равновесного излучения. Формула Рэлея — Джинса. Принципиальные внутренние противоречия в классической физике. Гипотеза о квантах. Формула Планка.
2.	Фотонный газ и его свойства. Квантовая оптика. Корпускулярно-волновой дуализм света.	Фотонная теория излучения. Опыт Боте. Уравнение состояния фотонного газа. Термодинамические характеристики фотонного газа. Тепловое излучение Вселенной. Фотоэффект. Эффект Комптона. Корпускулярно-волновой дуализм света.
3.	Гипотеза де Бройля. Экспериментальные подтверждения гипотезы де Бройля.	Волновые свойства частиц. Корпускулярно-волновой дуализм материи. Свойства волн де Бройля. Расчет длины волны де Бройля для нерелятивистских и релятивистских частиц. Преломление электронных волн в металле. Опыт Дэвиссона и Джермера. Дифракция электронов на поликристаллах. Дифракция оди-

		ночных электронов. Эффект Рамзауэра. Опыты по дифракции нейтронов и пучков частиц.
4.	Волновой пакет. Соотношения неопределенностей.	Свойства микрочастиц. Волновой пакет. Расплывание и редукция волнового пакета. Соотношение неопределенностей Гейзенберга. Следствия из соотношения неопределенностей.
5.	Волновая функция. Принцип суперпозиции. Уравнение Шредингера. Вектор плотности потока вероятности.	Особенности описания движения частиц в квантовой механике. Свойства волновой функции. Принцип суперпозиции квантовых состояний. Уравнение Шредингера. Плотность потока вероятности.
6.	Представление физических величин операторами. Собственные функции и собственные значения операторов.	Квантово-механические операторы физических величин. Уравнение на собственные значения и собственные функции операторов. Основные свойства собственных функций. Спектры собственных значений операторов.
7.	Измерения физических величин в квантовых системах.	Квантовый ансамбль. Одновременное измерение разных физических величин.
Семинары		
1.	Уравнение Шредингера для стационарных состояний. Частица в потенциальной яме с непроницаемыми стенками.	Разделение переменных в уравнении Шредингера. Волновые функции частицы в одномерной потенциальной яме. Трехмерная потенциальная яма.
2.	Движение частицы в областях потенциального порога и потенциального барьера.	Отражение частицы от потенциального порога. Прохождение частицы через потенциальный барьер (туннельный эффект). Холодная эмиссия электронов из металла. Квантовая природа альфа-распада ядер.
3.	Потенциальная яма конечной глубины. Квантовый гармонический осциллятор.	Одномерная потенциальная яма с одной бесконечно высокой стенкой. Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины. Квантование энергии гармонического осциллятора и его волновые функции.
4.	Квантовые свойства атомов. Теория Бора атома водорода.	Излучение атомов. Опыт Франка - Герца. Постулаты Бора. Планетарная модель атома водорода. Квантование энергии атома. Объяснение спектра атома водорода.
5.	Квантово-механическое описание водородоподобных атомов. Квантовые числа и их физический смысл.	Водородоподобный атом без учета спина. Квантование энергии и волновые функции атома. Главное, орбитальное (азимутальное) и магнитное квантовые числа. Формула пространственного квантования.
6.	Опыт Штерна - Герлаха. Гипотеза о спине электрона. Атом в магнитном поле. Вынужденное излучение атомов.	Схема опыта Штерна - Герлаха. Спин электрона. Спин-орбитальное взаимодействие. Магнитный момент атома. Эффект Зеемана. Электронный парамагнитный резонанс. Квантовая теория равновесного излучения. Среды с инверсной

		заселенностью энергетических уровней. Квантовые усилители и генераторы.
7.	Квантово-механическое описание системы многих частиц. Атом гелия.	Неразличимость тождественных частиц в квантовой механике. Симметричные и антисимметричные состояния. Бозоны и фермионы. Волновая функция системы невзаимодействующих частиц. Принцип Паули. Атом гелия.

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости осуществляется путём самостоятельного решения задач домашних контрольных работ и самостоятельной разработки студентом реферата на выбранную тему и его публичной защиты. Указанные работы выполняются в свободное от обязательных учебных занятий время (во внеаудиторное время) под руководством преподавателя.

Примерная тематика рефератов:

- 1) Непрерывное и дискретное.
- 2) Теория фотоэффекта.
- 3) Туннельный эффект и соотношение неопределенностей.
- 4) Сканирующий туннельный микроскоп.
- 5) Обменное взаимодействие.
- 6) Закон сохранения четности.
- 7) Правила отбора.
- 8) Пространственные распределения ("орбиты") электрона в атоме водорода.
- 9) Рентгеновские спектры.
- 10) ЯМР-томография.
- 11) Электронный парамагнитный резонанс.
- 12) Ядерный магнитный резонанс.
- 13) Сверхпроводимость и сверхтекучесть.
- 14) Сложение моментов количества движения.
- 15) Эффект Штарка.
- 16) Квантовая телепортация.
- 17) Чистые и смешанные состояния в квантовой механике.

7.2 Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

- для экзамена

Вопросы к экзамену:

1. Тепловое излучение. Излучательная и поглощательная способность вещества и их соотношение. Объёмная плотность излучения.
2. Модель абсолютно черного тела. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина.
3. Термодинамика равновесного теплового излучения. Формула Рэлея-Джинса.
4. Ограниченность классической теории излучения. Элементы квантового подхода. Формула Планка.
5. Основные представления о квантовой теории излучения света атомами и молекулами. Квантование светового поля. Модель двухуровневой системы.
6. Взаимодействие двухуровневой системы с излучением: спонтанные и вынужденные переходы. Коэффициенты Эйнштейна.
7. Явления, противоречащие классической теории излучения. Законы фотоэффекта.

8. Формула Эйнштейна для фотоэффекта. Тормозное рентгеновское излучение.
9. Фотоны: опыты Боте и Боте-Гейгера. Эффект Комптона.
10. Инверсная заселенность уровней. Квантовые усилители оптического излучения. Лазеры. Принципы работы рубинового, гелий-неонового лазеров.
11. Модели атома. Ядерная (планетарная) модель, её недостатки. Опыты Резерфорда.
12. Опыты Франка-Герца. Постулаты Бора. Спектральные особенности излучения атома водорода: формула Бальмера.
13. Корпускулярно-волновой дуализм. Опытное подтверждение волновых свойств частиц: опыты Дэвиссона-Джермера, Томсона-Тартаковского, Фабриканта-Вибермана-Сушкина. Волны де-Бройля, интерференция электронов.
14. Основные постулаты квантовой теории, постановка задачи. Волновая функция, её статистический смысл. Полное описание состояния, полный набор физических величин.
15. Принцип измерения в квантовой механике, соотношение неопределенностей. Понятие одновременной измеримости физических величин.
16. Принцип суперпозиции. Основные свойства волновой функции. Непрерывный и дискретный спектры. Нормировки волновых функций.
17. Операторы физических величин. Собственные значения и собственные функции операторов. Физический смысл эрмитовости оператора. Спектры собственных значений операторов.
18. Среднее значение физической величины в квантовой механике. Соотношение между собственными функциями операторов одновременно измеримых физических величин.
19. Слож. и умнож. операторов. Коммутатор операторов. Полн. набор (полн. изм-ие).
20. Гамильтониан. Основное (волновое) уравнение квантовой механики.
21. Дифференцирование операторов по времени. Стационарные состояния. Вырожденные уровни стационарных состояний.
22. Фinitные (связанные) и инфинитные движения, связь со спектром.
23. Матрицы физических величин. Умножение матриц. Дифференцирование матриц по времени. Физический смысл эрмитовости матриц в квантовой механике. Физический смысл диагональности матриц.
24. Оператор импульса. Собственные значения и собственные функции оператора импульса. Коммутаторы, включающие компоненты импульса. Соотношение неопределенностей.
25. Момент импульса. Правила коммутации для момента и его компонент. Собственные значения момента и проекций момента импульса. Собственные функции момента импульса. Правило отбора по моменту.
26. Уравнение Шредингера. Плотность потока вероятности и уравнение неразрывности.
27. Общие свойства решений уравнения Шредингера.
28. Потенц. яма. Потенциальная стенка. Потенциальный барьер. Туннельный эффект.
29. Центральное-симметричное поле. Атом водорода. Вырожденность уровней.
30. Линейный осциллятор. Ротатор.
31. Сложение моментов. Спин. Опыт Штерна-Герлаха.
32. Эффект Зеемана. Электронный парамагнитный резонанс.
33. Тождественность частиц. Фермионы и бозоны.
34. Атом гелия.
35. Распределение Бозе-Эйнштейна.
36. Распределение Ферми-Дирака.
37. Электронный газ в металлах.
38. Электронная эмиссия из металла.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)				
Оценка	2	3	4	5
РО и				

соответствующие виды оценочных средств				
Знания (домашние задания, рефераты)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
Умения (контрольные работы)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (владения, опыт деятельности) (экзамен)	Отсутствие навыков (владений, опыта)	Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта)	В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме	Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач

8. Ресурсное обеспечение:

– Перечень основной и дополнительной литературы.

1. Сивухин Д.В. Курс общей физики: в 5 т. Т 5, ч. 1 / Д.В. Сивухин. – 2-е изд. стер. – М.: Физматлит, 2002. – 784 с.
2. Иродов И.Е. Квантовая физика. Основные законы / И.Е. Иродов. – 7-е изд. – М.: Лаборатория знаний, 2017. – 261 с.
3. Иродов И.Е. Физика макросистем. Основные законы / И.Е. Иродов. – 6-е изд. – М.: Лаборатория знаний, 2015. – 210 с.
4. Иродов И.Е. Задачи по квантовой физике / И.Е. Иродов. – 5-е изд. – М.: Лаборатория знаний, 2015. – 220 с.
5. Гуляев А.В., Красильников С.С., Попов А.М., Тихонова О.В. Сто одиннадцать задач по атомной физике / А.В. Гуляев, С.С. Красильников, А.М. Попов, О.В. Тихонова. – М.: Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, 2012. – 196 с.
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: в 10 т. Т 2 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – 8-е изд. стер. – М.: Физматлит, 2006. – 536 с.
7. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики / Д.И. Блохинцев – 7-е изд. стер. – М.: Лань, 2004. – 672 с.

– Описание материально-технического обеспечения.

Учебный кабинет №173, (40,71м²)
 Учебных столов – 9 шт., стульев – 19 шт.,
 3-х створчатая доска для мела – 1 шт.,
 Стол для преподавателя – 1 шт.
 Стационарный экран для проектора – 1 шт.

9. Соответствие результатов обучения по данному элементу ОПОП результатам освоения ОПОП указано в общей характеристике ОПОП.

10. Язык преподавания русский.

11. Преподаватель (преподаватели).

Профессор кафедры физики и геофизики, доктор физико-математических наук Александр Алексеевич Слепышев.

12. Автор (авторы) программы.

Старший преподаватель кафедры физики и геофизики Андрей Валерьевич Сулимов.

**ОФОРМЛЕНИЕ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА
ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ И ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ,
ПРОВОДИМОЙ В ФОРМЕ УСТНОГО ЭКЗАМЕНА**

Формат (в зависимости от количества вопросов, наличия или отсутствия задач и т.п.) А-5 или А-6

ФИЛИАЛ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
УНИВЕРСИТЕТА имени М.В. ЛОМОНОСОВА в г. СЕВАСТОПОЛЕ

Направление 03.05.02 Фундаментальная и прикладная физика

(шифр (шифры) и название (названия) направления (направлений) подготовки)

Учебная дисциплина Введение в квантовую физику

Семестр 4

Экзаменационный билет № 1

1. Модель абсолютно черного тела. Закон Стефана-Больцмана. Закон смещения Вина.
2. Основные постулаты квантовой теории, постановка задачи. Волновая функция, её статистический смысл. Полное описание состояния, полный набор физических величин.
3. Тожественность частиц. Фермионы и бозоны.

Утверждено на заседании кафедры,
протокол № ____ от « ____ » _____ 20__ г.

Зав. кафедрой _____ (Ф.И.О)

Преподаватель _____ (Ф.И.О)