


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 21 - 20 21 учебный год  
Методическим советом Филиала  
Протокол № 8 от «28» 06 20 21 г.  
Заместитель директора по учебной работе  
  
Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ  
Директор  
Филиала МГУ в г. Севастополе  
О.А. Шпырко  
«31» августа 20 21 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

Наименование дисциплины (модуля):

**Б-ПД Квантовая теория**

*код и наименование дисциплины (модуля)*

Уровень высшего образования:

**бакалавриат**

Направление подготовки:

**03.03.02 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 «27» августа 2021 г.

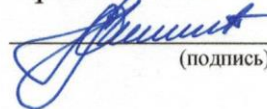
Заведующий кафедрой



(подпись)

(К.В. Показеев)

Рабочая программа одобрена  
Методическим советом  
Филиала МГУ в г. Севастополе  
Протокол №8 от «31» августа 2021 г.



(подпись)

(С.А. Наличаева)

Севастополь, 2021

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Физика» в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г.

Год (годы) приема на обучение 2016, 2017, 2018, 2019.

*курс – 3, 4*

*семестры – 6, 7*

*зачетных единиц – 9*

*академических часов – 174, в т.ч.*

*лекций – 104 часа*

*практических занятий – 70 часов*

*Форма промежуточной аттестации:*

*зачет в 6 семестре, экзамен в 7 семестре*

## **1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО.**

Дисциплина «Квантовая теория» входит в базовую часть профессионального цикла ОС МГУ по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» (бакалавр)». "Квантовая теория", читается после разделов "Теоретическая механика" и "Электродинамика" курса теоретической физики, представляет собой теоретическую основу для последующих разделов курса теоретической физики. В нем вводятся основные понятия и методы квантовой теории, способы теоретического описания, количественного и качественного анализа квантовых процессов в системах, состоящих из одной или многих частиц, а также в системах с неопределенным или меняющимся числом частиц.

Она является интегрированной, логически и содержательно-методически базирующейся на таких предметах, изучаемых в высшей школе, как «Общая физика», «Математический анализ» и «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Методы математической физики».

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

Успешное освоение дисциплины «Введение в квантовую физику», а также дисциплин из блока «Математика».

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

Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):

Знать:

- понятие состояний в квантовой теории, динамические переменные, элементы теории представлений;
- эволюцию векторов состояний со временем, уравнение Шредингера, гейзенберговскую форму основного уравнения, законы сохранения, представление взаимодействия;
- чистые и смешанные состояния, матрицу плотности;
- линейный гармонический осциллятор;
- общую теорию момента, включая спиновый;
- тождественность частиц, вторичное квантование;
- теорию водородоподобного и многоэлектронного атома;
- приближенные методы квантовой теории;
- упругое рассеяние частиц;
- теорию излучения;
- основы релятивистской квантовой теории.

Уметь:

- применять знания об основных квантово-физических понятиях, концепциях, теориях, закономерностях в отношении к конкретным объектам;
- 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:

- методом теории возмущений в квантовой механике;
- методом вторичного квантования;
- методами теории рассеяния;

- математическим аппаратом для решения краевых задач для стационарного уравнения Шредингера;
- математическим аппаратом линейной алгебры при решении задач по квантовой механике.

Иметь опыт:

- применения квантово-механической модели к решению задач в области квантовой теории.

**4. Формат обучения – контактный.**

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет 9 з.е., в том числе 174 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (аудиторная нагрузка), 150 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*			
<b>6 семестр</b>					
Общие положения квантовой теории	Консультации, 17	Решение задач, 11	22	50	-
Некоторые приложения квантовой теории	Консультации, 18	Решение задач, 13	24	55	-
Общая теория моментов	Консультации, 17	Решение задач, 11	22	50	-
Приближенные методы квантовой теории	Консультации, 17	Решение задач, 11	22	50	Контрольная работа
<b>7 семестр</b>					
Основы релятивистской квантовой теории	Консультации, 18	Решение задач, 13	24	55	-
Основы теории многих частиц	Консультации, 17	Решение задач, 11	22	50	Контрольная работа
Другие виды самостоятельной работы (при наличии): например, курсовая работа, творческая работа (эссе)	-	-	-	-	-
	104	70	136	310	
Промежуточная аттестация (зачет и экзамен)			14	14	
<b>Итого</b>				324	

## 6.2. Содержание разделов (тем) дисциплины.

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
	Лекции	

1.	Тема 1.	<p>Понятие состояний. Векторы и совекторы состояний, пространство Гильберта. Условие нормировки. Разложение векторов состояний по базисным векторам, физический смысл коэффициентов разложения. Принцип суперпозиций состояний.</p> <p>Понятие динамических переменных. Операторы как наблюдаемые и их свойства. Собственные значения и собственные векторы наблюдаемых. Дискретный и непрерывный спектр собственных значений, их физическая интерпретация. Свойства собственных векторов, их полнота; разложение векторов состояний по системе собственных векторов наблюдаемой, физический смысл коэффициентов разложения; нормировка собственных векторов в случаях дискретного и непрерывного спектра. Понятие о полном наборе наблюдаемых. Средние значения физических величин. Соотношение неопределенности для некоммутирующих наблюдаемых. Измерение физических величин, понятие идеального измерения.</p> <p>Элементы теории представлений. Координатное, импульсное и матричное представление векторов состояний и наблюдаемых. Переход от одного представления к другому как результат унитарного преобразования. Волновая функция. Вероятностная интерпретация волновой функции; принцип причинности.</p> <p>Изменение векторов состояний со временем. Основное уравнение квантовой теории. Оператор Гамильтона. Нерелятивистское приближение, уравнение Шредингера. Дискретный и непрерывный спектры. Стационарные состояния. Уравнение непрерывности, нормировка.</p> <p>Гейзенберговская форма основного уравнения. Скобки Пуассона. Законы измерения и сохранения физических величин; связь интегралов движения с симметрией систем. Квантовый аналог теоремы вириала.</p> <p>Представление взаимодействия. S-матричная формулировка квантовой теории; вероятность перехода системы из начального в заданное конечное со-</p>
----	---------	---

		<p>стояние.</p> <p>Чистые и смешанные состояния. Понятие чистого состояния. Измерение и редукция исходного состояния. Смешанные состояния, понятие о матрице плотности; вычисление физических величин с помощью матрицы плотности.</p> <p>Соотношение квантовой и классической теории. Теоремы Эренфеста.</p> <p>Принцип соответствия.</p>
2.	Тема 2.	<p>Линейный гармонический осциллятор в координатном, импульсном и матричном представлениях и в представлении чисел заполнения.</p> <p>Движение электронов в периодическом поле. Зонная структура энергетического спектра.</p> <p>Общая теория движения в центрально-симметричном поле; собственные значения и собственные функции углового момента. Задача двух тел. Теория водородоподобного атома (с учетом движения ядра); матрица плотности; приближение неподвижного ядра. Энергетический спектр и собственные функции атома.</p>
3.	Тема 3.	<p>Волновые свойства частиц. Опыты Девиссона-Джермера и Томсона. Волны де-Бройля. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорость волн де-Бройля. Соотношения неопределенности.</p>
4.	Тема 4.	<p>Собственные значения и собственные векторы моментов. Спин электрона, собственные векторы оператора спина. Уравнение Паули, свойства матриц Паули.</p> <p>Векторное сложение скоростей, коэффициенты Клебша-Гордана. Шаровые спиноры.</p>
5.	Тема 5.	<p>Квазиклассическое приближение. Метод БВК. Туннельный эффект.</p> <p>Теория возмущений для стационарных задач с дискретным спектром (при отсутствии и наличии вырождения); первое и второе приближения. Эффект Штарка. Теория возмущений при наличии близких уровней.</p> <p>Вариационный метод Ритца.</p> <p>Нестационарная теория возмущений; адиабатическое и внезапное включение возмущения. Плотность числа конечных состояний и вероятность перехода в единицу времени под действием периодического возмущения. Принцип детального</p>

		<p>равновесия. Феноменологическая теория излучения. Интенсивность вынужденного и спонтанного излучения в дипольном приближении. Правила отбора. Понятие об излучении высших мультипольностей.</p> <p>Упругое рассеяние частиц. Сечение рассеяния в первом борновском приближении, условие его применимости. Формула Резерфорда.</p> <p>Метод парциальных волн. Оптическая теорема. Фазовый анализ. Переход к борновскому приближению. S- и T- матрицы рассеяния. Теорема Липпмана- Швингера. Простейшие графики Фейнмана.</p>
6.	Тема 6.	<p>Ограниченность нерелятивистской квантовой теории, необходимость учета релятивистских эффектов. Уравнение Клейна-Фока-Гордона (КФГ) и его применимость к описанию частиц с нулевым спином. Положительно- и отрицательно-частотные решения. Плотность заряда и тока, условие нормировки; частицы и античастицы. Уравнение КФГ в электромагнитном поле, двузначность плотности заряда.</p> <p>Уравнение Дирака. Уравнение Дирака в гамильтоновой и ковариантной формах, его применимость к описанию частиц со спином половина. Матрицы Дирака и их свойства. Уравнение непрерывности и нормировка волновой функции. Ковариантность уравнения Дирака относительно пространственно- временных вращений и P, T, C - преобразований, физические следствия. Тензорная размерность матриц Дирака. Введение разных типов взаимодействия частиц (скалярного, псевдоскалярного, векторного и т.д.).</p> <p>Угловой, собственный и полный механический момент в теории Дирака. Решение уравнения Дирака для свободных частиц, предсказание позитронов; понятие об электрон-позитронном вакууме. Возможность рождения электрон- позитронных пар электрическим полем (на основе туннельного эффекта).</p> <p>Преобразование Фолди-Вусайзена, одночастичное приближение, "дрожание" Шредингера.</p> <p>Квазиклассическое приближение уравнения Дирака во внешнем электромагнитном поле; спин-орбитальная, контактная и релятивистская поправки; пере-</p>



		ход к уравнению Паули. Тонкая структура энергетических уровней атома водорода. Лэмбовский сдвиг уровней (по Вельтону). Сверхтонкая структура. Нормальный и аномальный эффект Зеемана.
7.	Тема 7.	<p>Тождественные частицы. Основное уравнение для системы частиц. Тождественные частицы, симметричные и антисимметричные состояния. Приближение невзаимодействующих частиц. Принцип Паули, принцип неразличимости тождественных частиц.</p> <p>Обменные эффекты при рассеянии тождественных частиц со спином ноль и половина.</p> <p>Теория двухэлектронных атомов, пара- и орто-состояния, обменные эффекты. Многоэлектронные атомы, метод Хартри-Фока. Строение сложных атомов, система элементов Менделеева. Статистический метод Томаса-Ферми.</p> <p>Теория простейших молекул. Гетеро- и гомеоплярные молекулы. Валентность. Ион молекулы водорода (адиабатическое приближение). Молекула водорода, силы Ван дер Ваальса. Молекулы с "возбужденными" атомами.</p> <p>Вторичное квантование. Вторичное квантование в случае бозонов. Вторичное квантование в случае фермионов. Оператор Гамильтона в представлении вторичного квантования, несохранение числа частиц в заданном состоянии при включении взаимодействия.</p> <p>Вторичное квантование свободного электромагнитного поля, фотоны. Операторы Гамильтона, импульса и собственного момента в представлении вторичного квантования. Вероятность переходов во вторично-квантованном электромагнитном поле. Интенсивности поглощения и излучения фотонов (в дипольном приближении).</p> <p>Простейшие графики Фейнмана и расчет представляемых ими процессов. Колебания в твердом теле, фононы.</p>
<b>Семинары</b>		
1.	<b>Понятие состояний.</b>	Векторы и совекторы состояний, пространство Гильберта. Условие нормировки. Разложение векторов состояний по базисным векторам, физический смысл коэффициентов разложения. Принцип суперпозиций состояний.

2.	<b>Понятие динамических переменных.</b>	Операторы как наблюдаемые и их свойства. Собственные значения и собственные векторы наблюдаемых. Дискретный и непрерывный спектр собственных значений, их физическая интерпретация. Свойства собственных векторов, их полнота; разложение векторов состояний по системе собственных векторов наблюдаемой, физический смысл коэффициентов разложения; нормировка собственных векторов в случаях дискретного и непрерывного спектра.
3.	<b>Понятие о полном наборе наблюдаемых.</b>	Средние значения физических величин. Соотношение неопределенности для некоммутирующих наблюдаемых. Измерение физических величин, понятие идеального измерения.
4.	<b>Элементы теории представлений.</b>	Координатное, импульсное и матричное представление векторов состояний и наблюдаемых. Переход от одного представления к другому как результат унитарного преобразования. Волновая функция. Вероятностная интерпретация волновой функции; принцип причинности.
5.	<b>Изменение векторов состояний со временем.</b>	Основное уравнение квантовой теории. Оператор Гамильтона. Нерелятивистское приближение, уравнение Шредингера. Дискретный и непрерывный спектры. Стационарные состояния. Уравнение непрерывности, нормировка.
6.	<b>Гейзенберговская форма основного уравнения.</b>	Скобки Пуассона. Законы измерения и сохранения физических величин; связь интегралов движения с симметрией систем. Квантовый аналог теоремы вириала.
7.	<b>Представление взаимодействия.</b>	S-матричная формулировка квантовой теории; вероятность перехода системы из начального в заданное конечное состояние.
8.	<b>Чистые и смешанные состояния.</b>	Понятие чистого состояния. Измерение и редукция исходного состояния. Смешанные состояния, понятие о матрице плотности; вычисление физических величин с помощью матрицы плотности.
9.	<b>Линейный гармонический осциллятор.</b>	Осциллятор в координатном, импульсном и матричном представлениях и в представлении чисел заполнения.
10.	<b>Общая теория движения в центрально-симметричном поле.</b>	Собственные значения и собственные функции углового момента.
11.	<b>Собственные значения и собственные векторы моментов.</b>	Спин электрона, собственные векторы оператора спина.

## **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.

По итогам освоения дисциплины проводится промежуточная аттестация: зачет в 6 семестре и экзамен в 7 семестре. Для успешной сдачи зачета, необходимо уметь решать задачи на рассматриваемые в рамках курса темы. По результатам устного экзамена учащийся получает оценку «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно».

Примерная тематика рефератов:

- 1). Матрица плотности и ее свойства.
- 2). Повышающие и понижающие операторы.
- 3). Структура энергетических уровней энергии атома.
- 4). Квантование электромагнитного поля.
- 5). Движение в магнитном поле.
- 6). Вариационный принцип Боголюбова.
- 7). Упругое и неупругое рассеяние частиц.
- 8). Диаграммы Фейнмана.
- 9). Электрон-позитронный вакуум.
- 10). Метод самосогласованного поля Хартри-Фока в молекулярном моделировании.
- 11). Обменная энергия.
- 12). Вторичное квантование.
- 13). Рассеяние света атомом.
- 14). Интенсивности излучения и поглощения света атомом.

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

- для экзамена

Вопросы к экзамену:

1. Гейзенберговская форма основного уравнения квантовой теории; интегралы движения.
2. Представление взаимодействия; S- матричная формулировка квантовой теории.
3. Чистые и смешанные состояния. Понятие о матрице плотности и ее свойства.
4. Линейный гармонический осциллятор в предст-нии повышающих и понижающих операторов.
5. Задача двух тел; водородоподобный атом.
6. Общая теория моментов.
7. Векторное сложение моментов; коэффициенты Клебша-Гордана.
8. Шаровые спиноры.
9. Теория возмущений для стационарных задач с дискретным невырожденным (первое и второе приближение) и вырожденным (первое приближение) спектром.
10. Вариационный метод Ритца.
11. Теория возмущений для нестационарных задач. Вероятности переходов под действием периодического возмущения; принцип детального равновесия.
12. Упругое рассеяние частиц. Сечение рассеяния в первом борновском приближении.
13. Квазиклассическое приближение; метод БВК.
14. Метод парциальных волн в теории рассеяния. Оптическая теорема. Фазовый анализ.
15. S- и T- матрицы рассеяния. Ур-ие Липпмана-Швингера. Простейшие диаграммы Фейнмана.
16. Уравнение Клейна-Гордона-Фока. Нормировка волновой функции. Состояния с положительными и отрицательными зарядами.

17. Уравнение Дирака. Матрицы Дирака и их свойства.
18. Решение уравнения Дирака для свободных частиц; понятие об электрон-позитронном вакууме.
19. Квазирелятивистское приближение уравнения Дирака.
20. Тонкая структура энергетических уровней атома водорода.
21. Лэмбовский сдвиг уровней.
22. Уравнение для системы частиц. Тожественные частицы. Симметричные и антисимметричные состояния. Принцип Паули.
23. Теория двухэлектронных атомов. Пара- и ортосостояния. Обменная энергия.
24. Метод самосогласованного поля Хартри-Фока.
25. Метод Томаса-Ферми.
26. Ион молекулы водорода. Молекула водорода. Силы Ван-дер-Ваальса.
27. Представление чисел заполнения в случае Бозе-частиц. Гамильтониан системы в представлении вторичного квантования.
28. Представление чисел заполнения в случае Ферми-частиц. Гамильтониан системы в представлении вторичного квантования.
29. Вторичное квантование свободного электромагнитного поля. Гамильтониан, импульс и собственный момент поля в представлении вторичного квантования.
30. Вероятности переходов во вторично-квантованном электромагнитном поле. Интенсивности излучения и поглощения в дипольном приближении.

Задачи к билетам:

1. Найти операторы координаты и импульса линейного гармонического осциллятора в гейзенберговском представлении.
2. Найти волновую функцию нерелятивистской заряженной частицы в однородном постоянном электрическом поле.
3. Состояние частицы в центрально-симметричном поле задано вектором  $|l, m\rangle = |l, 0\rangle$ . Найти вероятности того, что проекция углового момента частицы на направление  $\vec{n}$ , составляющее с осью  $z$  угол  $\vartheta$ , окажется равной 1, -1, 0. Вычислить средние значения  $\langle \hat{L}\vec{n} \rangle$  и  $\langle (\hat{L}\vec{n})^2 \rangle$ .
4. Определить электростатический потенциал атома водорода в основном состоянии.
5. Вычислить создаваемую угловым движением электрона напряженность магнитного поля в центре атома водорода.
6. Найти матричный вид операторов  $\hat{J}_{1,2,3}, \hat{J}_{\pm}, \hat{J}^2$  для частиц со спином  $j=1/2$ .
7. Построить для электрона спиновую матрицу плотности. Какой вид она имеет в случае чистых состояний.
8. Оценить вероятность ионизации 1-электронного атома в основном состоянии при  $\beta$ -распаде его ядра.
9. Найти закон тока холодной эмиссии электронов из металла от прилагаемого электр-го поля.
10. Эмпирический закон  $\alpha$ -распада ядер имеет вид  $N = N_0 \exp(-\lambda t)$ , где  $N_0$  - начальное число протонов в ядре. Оценить  $\lambda$ .
11. Найти поправки к энергетическим уровням осциллятора, обусловленные слабой ангармоничностью  $V = \alpha x^3 + \beta x^4$ .
12. В первом порядке теории возмущений найти поправки к энергетическим уровням атома водорода, обусловленные неточностью сферически-симметричного ядра.
13. В первом порядке теории возмущений найти поправки к энергетическим уровням атома водорода, обусловленные релятивистской поправкой.
14. Найти расщепление спектральных линий атома водорода в "сильном" и "слабом" однородном постоянном магнитном поле.
15. Найти расщепление энергетического уровня  $n=2$  атома водорода в "сильном" однородном постоянном электрическом поле.
16. Газ состоит из атомов водорода в основном состоянии. Найти (без учета спина) его магнитную восприимчивость.
17. Вычислить магнитный момент атома водорода в состоянии  $|n, j, m_j, l\rangle$ .

18. Найти спектрально-угловое распределение и поляризацию спонтанного дипольного и электрического квадрупольного излучения заряженного линейного гармонического осциллятора.
19. В первом борновском приближении найти дифференциальное сечение упругого рассеяния заряженных частиц на неподвижном ядре с распределенной плотностью заряда  $\rho_e = \rho_e(r)$ .
20. Доказать, что комбинация  $A^v \equiv \bar{\psi} \gamma^5 \gamma^v \psi$  обладает свойствами псевдовектора.
21. Найти поправку к энергии основного состояния парагелия, обусловленную движением ядра.
22. Найти в первом борновском приближении дифференциальное сечение рассеяния электронов на электронах.
23. Найти сечение рассеяния медленных (с  $l \sim 0$ ) частиц в поле
 
$$U = \begin{cases} -U_0 < 0, & r < a \\ 0 & , r > a \end{cases}$$
24. Пользуясь моделью Томаса-Ферми, доказать, что все электроны положительного многоэлектронного иона атома заключены внутри сферы конечного радиуса.
25. Получить матричный вид операторов рождения и уничтожения частиц в заданном квантовом состоянии в случаях бозонов и фермионов.
26. Доказать, что собственные значения операторов  $\hat{N}_k = \hat{C}_k^+ \hat{C}_k$  бозонов и фермионов являются целыми неотрицательными числами.
27. Доказать, что в случае фермионов  $\hat{N}_k^s = \hat{N}_k$ , а в случае бозонов  $(\hat{C}_k^+)^s (\hat{C}_k)^s = \hat{N}_k (\hat{N}_k - 1) \dots (\hat{N}_k - s + 1)$ , где  $\hat{N}_k = \hat{C}_k^+ \hat{C}_k$ , а  $s$  - целое положительное число.
28. В рамках вторично-квантованной теории электромагнитного поля найти интенсивности спонтанного и индуцированного излучения и поглощения заряженного линейного осциллятора в дипольном приближении.
29. Пользуясь диаграммной техникой, построить матричный элемент, отвечающий эффекту комптоновского рассеяния, и найти сечение рассеяния.
30. Найти частоту перехода атома водорода между его триплетным и синглетным состояниями.

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)				
Оценка	2	3	4	5
РО и соответствующие виды оценочных средств				
<b>Знания</b> (домашние задания)	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированные знания	Сформированные систематические знания
<b>Умения</b> (контрольные работы)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки</b> (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

- для зачета

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)				
Оценка	Не зачтено		Зачтено	
РО и соответствующие виды оценочных средств				
<b>Знания</b>	Отсутствие	Фрагментарные	Общие, но не структурированные	Сформированные

(домашние задания)	знаний	знания	рированные знания	систематические знания
<b>Умения</b> (контрольные работы)	Отсутствие умений	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
<b>Навыки</b> (владения, опыт деятельности) (зачет)	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. Иродов И.Е. Задачи по квантовой физике / И.Е. Иродов. – 5-е изд. – М.: Лаборатория знаний, 2015. – 220 с.
2. Блохинцев Д.И. Основы квантовой механики / Д.И. Блохинцев – 7-е изд. стер. – М.: Лань, 2004. – 672 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика: в 10 т. Т 3 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – 5-е изд. стер. – М.: Физматлит, 2001. – 808 с.

### – Описание материально-технического обеспечения.

- Учебный кабинет №172, (39,78 м<sup>2</sup>)
- 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).**

Кандидат физико-математических наук, доцент Константин Владимирович Парфенов.  
Доцент кафедры физики и геофизики, кандидат физико-математических наук Николай Борисович Косых.

**12. Автор (авторы) программы.**

Старший преподаватель кафедры физики и геофизики, руководитель образовательной программы по направлению подготовки 03.03.02 «Физика» 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 03.03.02 Физика

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

Учебная дисциплина Квантовая теория

Семестр 7

**Экзаменационный билет  
№ 1**

1. Задача двух тел; водородоподобный атом.
2. Представление чисел заполнения в случае Ферми-частиц. Гамильтониан системы в представлении вторичного квантования.
3. Задача.

Утверждено на заседании кафедры,  
протокол № \_\_\_ от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ (Ф.И.О)

Преподаватель \_\_\_\_\_ (Ф.И.О)