

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

на 20 24-20 25 учебный год
Методическим советом Филиала

Протокол № 10 от «22» 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):

Квантовая теория

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 – 3, 4

семестры – 6, 7

зачетных единиц – 8

академических часов – 175, в т.ч.

лекций – 105 часов

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 03.05.02 «Фундаментальная и прикладная физика» (специалитет). "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 8 з. е., в том числе 175 академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (аудиторная нагрузка), 113 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*			
6 семестр					
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
7 семестр					
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	
Итого				324	

6.2. Содержание разделов (тем) дисциплины.

№ п/п	Наименование разделов (тем) дисциплины	Содержание разделов (тем) дисциплин
Лекции		
1.	Тема 1.	Понятие состояний. Векторы и совекторы состояний, пространство Гильберта. Условие нормировки. Разложение векторов состояний по базисным векторам, физический смысл коэффициентов разложения. Принцип суперпозиций состояний. 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. 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. Изменение векторов состояний со временем. Основное уравнение квантовой теории. Оператор Гамильтона. Нерелятивистское приближение, уравнение Шредингера. Дискретный и непрерывный спектры. Стационарные состояния. Уравнение непрерывности, нормировка. Гейзенберговская форма основного уравнения. Скобки Пуассона. Законы измерения и сохранения физических величин; связь интегралов движения с симметрией систем. Квантовый аналог теоремы вириала.

		Представление взаимодействия. S-матричная формулировка квантовой теории; вероятность перехода системы из начального в заданное конечное состояние. 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. Соотношение квантовой и классической теории. Теоремы Эренфеста. Принцип соответствия.
2.	Тема 2.	Линейный гармонический осциллятор в координатном, импульсном и матричном представлениях и в представлении чисел заполнения. Движение электронов в периодическом поле. Зонная структура энергетического спектра. 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.
3.	Тема 3.	Волновые свойства частиц. Опыты Девиссона-Джермера и Томсона. Волны де-Бройля. Волновой пакет. Фазовая и групповая скорость волн де-Бройля. Соотношения неопределенности.
4.	Тема 4.	Собственные значения и собственные векторы моментов. Спин электрона, собственные векторы оператора спина. Уравнение Паули, свойства матриц Паули. Векторное сложение скоростей, коэффициенты Клебша-Гордана. Шаровые спиноры.
5.	Тема 5.	Квазиклассическое приближение. Метод БВК. Туннельный эффект. 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. Вариационный метод Ритца. Нестационарная теория возмущений; адиабатическое и внезапное включение

		возмущения. Плотность числа конечных состояний и вероятность перехода в единицу времени под действием периодического возмущения. Принцип детального равновесия. Феноменологическая теория излучения. Интенсивность вынужденного и спонтанного излучения в дипольном приближении. Правила отбора. Понятие об излучении высших мультипольностей. Упругое рассеяние частиц. Сечение рассеяния в первом борновском приближении, условие его применимости. Формула Резерфорда. Метод парциальных волн. Оптическая теорема. Фазовый анализ. Переход к борновскому приближению. S- и T- матрицы рассеяния. Теорема Липпмана- Швингера. Простейшие графики Фейнмана.
6.	Тема 6.	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. 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.). 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). Преобразование Фолди-Вусайзена, одночастичное приближение, "дрожание" Шредингера.

		Квазиклассическое приближение уравнения Дирака во внешнем электромагнитном поле; спин-орбитальная, контактная и релятивистская поправки; переход к уравнению Паули. Тонкая структура энергетических уровней атома водорода. Лэмбовский сдвиг уровней (по Вельтону). Сверхтонкая структура. Нормальный и аномальный эффект Зеемана.
7.	Тема 7.	Тождественные частицы. Основное уравнение для системы частиц. Тождественные частицы, симметричные и антисимметричные состояния. Приближение невзаимодействующих частиц. Принцип Паули, принцип неразличимости тождественных частиц. Обменные эффекты при рассеянии тождественных частиц со спином ноль и половина. Теория двухэлектронных атомов, пара- и орто-состояния, обменные эффекты. Многоэлектронные атомы, метод Хартри-Фока. Строение сложных атомов, система элементов Менделеева. Статистический метод Томаса-Ферми. Теория простейших молекул. Гетеро- и гомеополлярные молекулы. Валентность. Ион молекулы водорода (адиабатическое приближение). Молекула водорода, силы Ван дер Ваальса. Молекулы с "возбужденными" атомами. 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. 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). Простейшие графики Фейнмана и расчет представляемых ими процессов. Колебания в твердом теле, фононы.
Семинары		
1.	Понятие состояний.	Векторы и совекторы состояний, пространство Гильберта. Условие нормировки. Разложение векторов состояний

		по базисным векторам, физический смысл коэффициентов разложения. Принцип суперпозиций состояний.
2.	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.
3.	Понятие о полном наборе наблюдаемых.	Средние значения физических величин. Соотношение неопределенности для некоммутирующих наблюдаемых. Измерение физических величин, понятие идеального измерения.
4.	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.
5.	Изменение векторов состояний со временем.	Основное уравнение квантовой теории. Оператор Гамильтона. Нерелятивистское приближение, уравнение Шредингера. Дискретный и непрерывный спектры. Стационарные состояния. Уравнение непрерывности, нормировка.
6.	Гейзенберговская форма основного уравнения.	Скобки Пуассона. Законы измерения и сохранения физических величин; связь интегралов движения с симметрией систем. Квантовый аналог теоремы вириала.
7.	Представление взаимодействия.	S-матричная формулировка квантовой теории; вероятность перехода системы из начального в заданное конечное состояние.
8.	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.
9.	Линейный гармонический осциллятор.	Осциллятор в координатном, импульсном и матричном представлениях и в представлении чисел заполнения.
10.	Общая теория движения в центрально-симметричном поле.	Собственные значения и собственные функции углового момента.

11.	Собственные значения и собственные векторы моментов.	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 $|l, m\rangle = |1, 0\rangle$. Найти вероятности того, что проекция углового момента частицы на направление $\vec{n}$, составляющее с осью z угол ϑ , окажется равной 1, -1, 0. Вычислить средние значения $\langle \hat{L}\vec{n} \rangle$ и $\langle \hat{L}\vec{n} \rangle^2$.
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 вер-ть ионизации 1-электронного атома в основном состоянии при β -распаде его ядра.
9. Найти зав-ть тока холодной эмиссии электронов из металла от прилагаемого электр-го поля.
10. Эмпирический закон α -распада ядер имеет вид $N = N_0 \exp(-\lambda t)$, где N_0 - начальное число протонов в ядре. Оценить λ .
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 неточечностью 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 $A^\nu \equiv \bar{\psi} \gamma^5 \gamma^\nu \psi$ обладает свойствами псевдовектора.
21. Найти поправку к энергии основного состояния паракелия, обусловленную движением ядра.
22. Найти в первом борновском приближении дифференциальное сечение рассеяния электронов на электронах.
23. Найти сечение рассеяния медленных ($s \sim 0$) частиц в поле

$$U = \begin{cases} -U_0 < 0, & r < a \\ 0 & , \quad r > a \end{cases}$$
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 РО и соответствующие виды оценочных средств	2	3	4	5
Знания (домашние задания)	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 не принципиального 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

- для зачета

ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)				
Оценка РО и соответствующие виды оценочных средств	Не зачтено	Зачтено		
Знания (домашние задания)	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 не принципиального характера)	Успешное и систематическое умение
Навыки (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 м²)
- Учебных столов – 9 шт., стульев – 19 шт.,
- 3-х створчатая доска для мела – 1 шт.,
- Стол для преподавателя – 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 03.05.02 Фундаментальная и прикладная 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.)