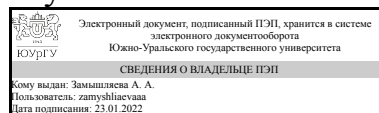


ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института
Институт естественных и точных
наук



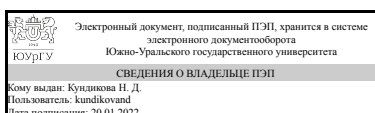
А. А. Замышляева

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.О.23 Квантовая механика
для направления 03.03.01 Прикладные математика и физика
уровень Бакалавриат
форма обучения очная
кафедра-разработчик Оптоинформатика

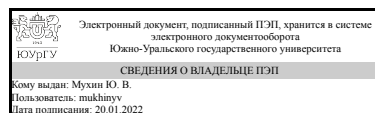
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.01 Прикладные математика и физика, утверждённым приказом Минобрнауки от 07.08.2020 № 890

Зав.кафедрой разработчика,
д.физ.-мат.н., проф.



Н. Д. Кундикова

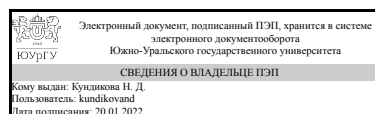
Разработчик программы,
к.физ.-мат.н., доцент



Ю. В. Мухин

СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления
д.физ.-мат.н., проф.



Н. Д. Кундикова

1. Цели и задачи дисциплины

Освоение основных понятий, представлений и методов, необходимых для описания движений микроскопических систем, формирование физической картины строения материи на атомном и субатомном уровнях.

Краткое содержание дисциплины

Курс содержит: 1) изложение математического аппарата, необходимого для адекватной интерпретации опытных фактов о свойствах и поведении микросистем, 2) мотивировку, формулировку и обсуждение основных положений нерелятивистской квантовой механики (аксиом), 3) формулировку квантовых законов движения в картинах Шредингера и Гейзенберга, 4) изложение приближенных методов решения задач квантовой механики (теории возмущений и вариационных методов), 5) рассмотрение квантовой теории момента импульса, имеющего орбитальное происхождение и связанного со спином частиц, 6) изучение особенностей в поведении систем, состоящих из тождественных частиц, 7) дает представления о характере и способах решения задач о рассеянии частиц и о тех изменениях, которые нужно сделать в нерелятивистском варианте теории, чтобы описать движения и релятивистских частиц.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности, в том числе в сфере педагогической деятельности	Знает: основные понятия квантовой механики: квантовая система, ее состояние, наблюдаемая; основные положения квантовой механики: аксиому состояний, аксиому наблюдаемых, аксиому о статистической интерпретации, принцип соответствия, принцип тождественности элементарных частиц Умеет: идентифицировать задачу как квантовомеханическую, выделять в изучаемой системе или процессе те части, которые требуют квантовомеханического рассмотрения Имеет практический опыт: методов интерпретации результатов квантовомеханических расчетов и экспериментов, оценки правильности найденного решения, его точности и адекватности рассматриваемому физическому явлению

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
1.О.12 Математический анализ, 1.О.15 Теория функций комплексного переменного,	Не предусмотрены

1.О.13 Дифференциальные уравнения, 1.О.21 Теоретическая механика, 1.О.17 Основы теории вероятности и стохастических процессов, 1.О.08 Общая физика. Электричество и магнетизм, 1.О.14 Линейная алгебра и аналитическая геометрия, 1.О.07 Общая физика. Термодинамика и молекулярная физика, 1.О.16 Вычислительная математика, 1.О.09 Общая физика. Оптика, 1.О.06 Общая физика. Механика	
--	--

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
1.О.06 Общая физика. Механика	Знает: фундаментальные понятия, законы и теории механики; основные физические эксперименты, повлиявшие на развитие механики., теоретические основы физических методов исследования; экспериментальные методы и средства для анализа и решения задач механики. Умеет: формулировать физические законы, анализировать их важность, актуальность, сферы применения; использовать физические законы и теории на практике, решать задачи по данному разделу общей физики., производить численные оценки по порядку величины; использовать возможности методов физических исследований для решения физических задач механики; делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента; анализировать, систематизировать и оценивать результаты оптических экспериментов; обобщать имеющиеся материалы. Имеет практический опыт: самостоятельно приобретать новые знания по механике; сопоставления результатов лабораторных экспериментов по механике с их теоретическими данными., владеет навыками грамотной обработки результатов лабораторных экспериментов и сопоставления их с теоретическими данными; обобщения и критической оценки результатов экспериментальных исследований.
1.О.08 Общая физика. Электричество и магнетизм	Знает: теоретические основы, основные понятия, законы и модели основных разделов общей физики; численные порядки величин, характерные для различных разделов общей физики., фундаментальные понятия, законы и теории электромагнетизма; основные физические эксперименты, повлиявшие на

	<p>развитие общей физики. Умеет: производить численные оценки по порядку величины; использовать возможности методов физических исследований для решения физических задач; понимать, излагать и критически анализировать физическую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями общей физики., формулировать физические законы, анализировать их важность, актуальность, сферы применения; использовать физические законы и теории на практике, решать задачи по данному разделу общей физики. Имеет практический опыт: самостоятельной работы с аппаратурой в физической лаборатории; навыками грамотной обработки результатов опыта и сопоставления их с теоретическими данными., самостоятельно приобретать новые знания по общей физике; сопоставления результатов лабораторных экспериментов с их теоретическими данными.</p>
1.О.12 Математический анализ	<p>Знает: основные свойства пределов последовательности и функций действительного переменного, производной, дифференциала, неопределенного интеграла; свойства функций, непрерывных на отрезке; основные "замечательные пределы", табличные формулы для производных и неопределенных интегралов, формулы дифференцирования, основные разложения элементарных функций по формуле Тейлора; Умеет: записывать высказывания при помощи логических символов; вычислять пределы последовательностей и функций действительного переменного; вычислять производные элементарных функций, раскладывать элементарные функции по формуле Тейлора; применять формулу Тейлора к нахождению главной степенной части при вычислении пределов функций; Имеет практический опыт: навыков владения предметного языка классического математического анализа, применяемого при построении теории пределов; навыков владения аппаратом теории пределов, дифференциального и интегрального исчисления для решения различных задач, возникающих в физике, технике, экономике и других прикладных дисциплинах, аппаратом дифференциального исчисления функций многих переменных, а также аппаратом интегрального исчисления для решения различных задач, возникающих в физике, технике, экономике и других прикладных дисциплинах;</p>
1.О.16 Вычислительная математика	<p>Знает: основные понятия и методы вычислительной математики; основные понятия и методы решения стандартных задач, использующих аппарат вычислительной</p>

	<p>математики; приближенное решение алгебраических и трансцендентных уравнений; решение систем линейных алгебраических уравнений; интерполирование функций; приближенное решение систем нелинейных уравнений., задачи и методы информатики; Умеет: решать типовые задачи изучаемой дисциплины., применять методы вычислительной математики при решении прикладных задач; Имеет практический опыт: подготовки задач к решению на ЭВМ, разработки приложений с использованием выбранной операционной системы и среды разработки.</p>
<p>1.О.15 Теория функций комплексного переменного</p>	<p>Знает: основные теоремы курса: Теорема о необходимом и достаточном условии дифференцируемости функции комплексного переменного в точке, Теорема о вычислении интеграла от функции комплексного переменного, Теорема Коши Умеет: решать следующие стандартные задачи: операции над комплексными числами, построение линий и областей на комплексной плоскости, определение и свойства основных элементарных (однозначных и многозначных) функций в комплексной области, проверка регулярности функций Имеет практический опыт: использования основных понятий курса: комплексные числа действия над комплексными числами, области и линии в комплексной плоскости, основные элементарные функции</p>
<p>1.О.07 Общая физика. Термодинамика и молекулярная физика</p>	<p>Знает: фундаментальные понятия, законы и теории по Термодинамике и молекулярной физике., теоретические основы физических методов исследования; экспериментальные методы и средства для анализа и решения задач термодинамики и молекулярной физики. Умеет: формулировать физические законы, анализировать их важность, актуальность, сферы применения; использовать физические законы и теории на практике, решать задачи по данному разделу общей физики., производить численные оценки по порядку величины; использовать возможности методов физических исследований для решения физических задач термодинамики и молекулярной физики; делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента; анализировать, систематизировать и оценивать результаты оптических экспериментов; обобщать имеющиеся материалы. Имеет практический опыт: самостоятельно приобретать новые знания по термодинамике и молекулярной физике; сопоставления результатов лабораторных экспериментов по макрофизике с их теоретическими данными., владеет навыками</p>

	грамотной обработки результатов лабораторных экспериментов и сопоставления их с теоретическими данными; обобщения и критической оценки результатов экспериментальных исследований.
1.О.17 Основы теории вероятности и стохастических процессов	Знает: определения и свойства основных объектов изучения теории вероятностей, а также формулировки наиболее важных утверждений, методы их доказательств, возможные сферы приложений Умеет: решать задачи вычислительного и теоретического характера в области теории вероятностей, устанавливать взаимосвязи между вводимыми понятиями Имеет практический опыт: описания и анализа вероятностных моделей; установления взаимосвязей между различными теоретическими понятиями и результатами случайных экспериментов; использования методов точечных и интервальных оценок параметров распределения
1.О.14 Линейная алгебра и аналитическая геометрия	Знает: основные понятия линейной алгебры: матрицы, системы линейных уравнений, линейные пространства, линейные операторы, и основные свойства этих понятий. Умеет: решать системы линейных уравнений, выполнять действия над матрицами и квадратичными формами. Имеет практический опыт: построения линейных моделей объектов и процессов в виде матричных соотношений, систем линейных уравнений, линейных пространств и линейных операторов
1.О.13 Дифференциальные уравнения	Знает: основные понятия общей теории дифференциальных уравнений (поле направлений, интегральные кривые, изоклины, начальные условия, задача Коши и др.); теоремы, гарантирующие существование и/или единственность решения задачи Коши для дифференциальных уравнений и систем дифференциальных уравнений (теоремы Пикара и Пеано); основные типы дифференциальных уравнений высших порядков, допускающие понижение порядка и методы их решения. Умеет: решать дифференциальные уравнения первого порядка, интегрируемые в квадратурах; решать основные типы уравнений первого порядка, неразрешенные относительно производной; решать уравнения старших порядков понижением порядка. Имеет практический опыт: владеть навыками поиска областей единственности для дифференциальных уравнений, а также поиска особых решений.
1.О.21 Теоретическая механика	Знает: основные положения классической механики Ньютона, связь законов сохранения механики с симметрией пространства и времени, основные понятия механики Гамильтона. Умеет: использовать методы механики Ньютона и

	Гамильтона для анализа и расчетов динамики процессов в механических системах, использовать оптико-механическую аналогию для анализа квантовомеханических систем Имеет практический опыт: построения качественных и количественных механических моделей объектов и процессов в естественнонаучной сфере деятельности
1.О.09 Общая физика. Оптика	Знает: теоретические основы, основные понятия, законы и модели оптики; численные порядки величин, характерные для оптики ., теоретические основы физических методов исследования; экспериментальные методы и средства для анализа и решения задач оптики. Умеет: понимать, излагать и критически анализировать физическую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моделями оптики., производить численные оценки по порядку величины; использовать возможности методов физических исследований для решения физических задач оптики; делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента; анализировать, систематизировать и оценивать результаты оптических экспериментов; обобщать имеющиеся материалы. Имеет практический опыт: самостоятельной работы в физической лаборатории; культурой постановки и моделирования физических задач оптики., самостоятельной работы с аппаратурой в оптической лаборатории; владеет навыками грамотной обработки результатов лабораторных экспериментов и сопоставления их с теоретическими данными; обобщения и критической оценки результатов экспериментальных исследований.

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 ч., 96,75 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		5	6
Общая трудоёмкость дисциплины	216	108	108
<i>Аудиторные занятия:</i>	96	48	48
Лекции (Л)	32	16	16
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	64	32	32
Лабораторные работы (ЛР)	0	0	0

Самостоятельная работа (СРС)	105,25	53,75	51,5
с применением дистанционных образовательных технологий	0		
Подготовка к контрольным работам, разделы 3-6.	15	0	15
Подготовка к практическим занятиям по разделам 3-6.	15	0	15
Подготовка к контрольным работам №1-3 по разделам 1-3	18	18	0
Подготовка к практическим занятиям по теории, разделы 1-3	18	18	0
Подготовка к зачету.	17,75	17,75	0
Подготовка к экзамену.	21,5	0	21,5
Консультации и промежуточная аттестация	14,75	6,25	8,5
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	зачет	экзамен

5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Математические основы квантовой механики	14	6	8	0
2	Основные положения квантовой механики	22	6	16	0
3	Квантовая теория момента импульса	24	6	18	0
4	Приближенные методы квантовой механики	18	6	12	0
5	Квантовая механика систем тождественных частиц	8	4	4	0
6	Релятивистская квантовая механика. Теория рассеяния	10	4	6	0

5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Введение. Предмет и задачи квантовой механики. Линейные пространства X над полем комплексных чисел C . Унитарные пространства $U(n)$ конечной размерности n , эрмитово скалярное произведение. Гильбертово пространство H . Обобщенный ряд Фурье. $L_2(\Omega)$ и l_2 -реализации H . Базисы в $L_2(\Omega)$ при $\dim\Omega=1$. Базисы в $L_2(\Omega)$ при $\dim\Omega>1$. $L_2(\Omega)$ как тензорное произведение одномерных подпространств. Реализация H как пространства l_2 вектор-столбцов бесконечной размерности. l_2 -реализация H как следствие $L_2(\Omega)$ -реализации. Волновая механика Шредингера и матричная механика Гейзенберга.	2
2	1	Алгебра линейных операторов в H . Оператор, эрмитово сопряженный к данному. Самосопряженные и эрмитовы операторы. Антиэрмитовы операторы. Унитарные операторы. Унитарные преобразования. Задача на собственные значения для линейных операторов в H . Основные теоремы о свойствах собственных значений (СЗ) и собственных векторов (СВ) эрмитовых операторов. Обобщенные решения задачи на СЗ. Обобщенная ортогональность СВ. Дельта-образные последовательности и дельта-функция Дирака. Свойства δ -функции Дирака.	2
3	1	Линейные операторы в $L_2(\Omega)$. Фундаментальные операторы квантовой механики - операторы координаты и импульса. Канонические	2

		коммутационные соотношения. Оператор Гамильтона. Задачи на СЗ для эрмитовых операторов в $L_2(\Omega)$, примеры. Линейные операторы в l_2 . Интеграл Фурье. Унитарная эквивалентность $L_2(R^3)$ реализаций H . Интегральные операторы, условие их эрмитовости. Оператор Фурье. Координатное и импульсное представления в квантовой механике. Фундаментальные операторы в координатном и импульсном представлениях.	
4	2	Мотивировка основных положений КМ. Вероятностный характер предсказаний КМ. Дискретные и непрерывные наблюдаемые. Амплитуды вероятностей, состояния квантовой системы и векторы гильбертова пространства. Наблюдаемые и эрмитовы операторы Собственные состояния наблюдаемых. Основные аксиомы КМ: 1) Аксиома состояний, 2) Аксиома наблюдаемых, 3) Аксиома о статистической интерпретации. Принцип суперпозиции. Явление квантовой интерференции. Физический смысл волновых функций (ВФ). Полные наборы коммутирующих наблюдаемых. Основные теоремы о наблюдаемых. Теорема о среднем значении наблюдаемой. Теорема о флуктуциях несовместных наблюдаемых – принцип неопределенностей Гейзенберга.	2
5	2	Универсальная алгебра наблюдаемых. Классические и квантовые скобки Пуассона. Алгебра Ли наблюдаемых. Принцип соответствия (дираковская формулировка). Принцип соответствия и перестановочные соотношения для фундаментальных операторов КМ. Явный вид основных операторов КМ - операторов кинетической и потенциальной энергии, момента импульса в координатном и импульсном представлениях. Оператор момента импульса в сферических координатах.	2
6	2	Квантовая динамика в картине Гейзенберга. Физический смысл зависимости наблюдаемых от времени. Интегралы движения. Пример: линейный гармонический осциллятор. Теорема Эренфеста. Контрпример - ангармонический линейный осциллятор. Квантовая динамика в картине Шредингера. Уравнение Шредингера. Стационарное уравнение Шредингера. Уравнение непрерывности. Закон сохранения «квантовой информации». Парадокс ЭПР и квантовая информатика.	2
7	3	Преобразование векторов состояния и наблюдаемых при вращениях. Пассивная точка зрения на вращения: вращения системы координат. Компоненты оператора углового момента как генераторы группы вращений. Оператор поворота на конечный угол. Коммутационные соотношения между компонентами оператора углового момента и компонентами векторной наблюдаемой. Активная точка зрения: вращение вектора состояния. Связь между операторами вращения системы координат и состояния. Свойства операторов компонент углового момента, вытекающие только из коммутационных соотношений. Спектры операторов l_z, l_2 . Ограниченность спектра l_z сверху и снизу, дискретность, эквидистантность. Свойство спектра быть целым или полуцелым. Спин частиц. Классификация частиц: бозоны и фермионы. Связь границ спектра с собственными значениями оператора l_2 .	2
8	3	Система собственных функций операторов l_2, l_z . Случай орбитального движения. Сферические гармоники. Оператор инверсии и четность состояния. Частицы со спином $1/2$. Преобразование векторов состояния при вращениях системы координат. Явный вид операторов поворота. Бинарные преобразования. Спиноры.	2
9	3	Сложение угловых моментов. Сложение спиновых моментов двух частиц со спином $1/2$. Триплетные и синглетные состояния. Пример: атом гелия. Орто- и парасостояния гелия. Сложение орбитального и спинового момента частицы со спином $1/2$. Полный момент импульса частицы. Общий случай: сложение полных моментов двух подсистем квантовомеханической системы. Коэффициенты Клебша-Гордана.	2
10-11	4	Приближенные методы квантовой механики. Стационарная теория	4

		возмущений. Теория возмущений Рэлея-Шредингера для невырожденного спектра. Теория возмущений при наличии вырождения. Случай близко расположенных уровней.	
12	4	Приближенные методы квантовой механики. Теория возмущений Вигнера-Бриллюэна. Теория возмущений, зависящих от времени. Вариационные методы. Метод Ритца-Хиллерааса.	2
13-14	5	Принцип неразличимости частиц в квантовой механике. Оператор перестановки пары частиц, его свойства. Свойства симметрии волновой функции системы тождественных частиц: бозоны и фермионы. Принцип Паули, различные формулировки.	4
15	6	Уравнение Клейна-Гордона. Уравнение Дирака (УД). Матрицы Дирака. Плотность тока вероятности в теории Дирака. Решение УД для свободной частицы. УД для частицы во внешнем поле. Уравнение Паули.	2
16	6	Элементы теории рассеяния. Постановка задачи рассеяния. Дифференциальное сечение упругого рассеяния. Функция Грина. Интегральное уравнение рассеяния. Борновское приближение. Метод парциальных волн.	2

5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1-2	1	Аксиомы линейного пространства (ЛП). Характеризация множеств как ЛП. Линейная зависимость и независимость элементов ЛП. Размерность и базис ЛП. Смена базиса. Аксиомы эрмитова скалярного произведения. Норма вектора и метрика пространства. Унитарные пространства. Ортонормированные (декартовы) базисы. Процедура ортогонализации Грамма-Шмидта. Аксиомы гильбертова пространства (ГП). Сходимость последовательности элементов в ГП. Метрическая полнота. Сепарабельность. Функциональная $L_2(\Omega)$ реализация ГП. Декартовы базисы в случае $\dim\Omega=1$: $\Omega=[0,a]$ и $\Omega=\mathbb{R}$. Тригонометрические и обобщенные ряды Фурье. Полиномы Эрмита. Случай $\dim\Omega>1$, примеры базисов, многомерные ряды Фурье. L_2 -реализация ГП. L_2 -реализация ГП как следствие $L_2(\Omega)$ -реализации ГП.	4
3-4	1	Линейные операторы в ГП. Сопряженные и самосопряженные операторы. Унитарные операторы. Задачи на собственные значения (СЗ) для линейных операторов в ГП. Свойства СЗ и собственных векторов (СВ) эрмитовых операторов. Обобщенная ортогональность и свойства δ -функции Дирака. Линейные операторы в $L_2(\Omega)$. Фундаментальные операторы КМ - операторы координаты и импульса, их свойства. Операторы Гамильтона (Г). Задачи на СЗ для оператора Г. Интеграл Фурье. Прямое и обратное преобразования Фурье. Координатное и импульсное представления в КМ. Задача о линейном гармоническом осцилляторе в координатном и импульсном представлениях.	4
5-6	2	Основные положения (аксиомы) квантовой механики. Основные теоремы о средних значениях наблюдаемых. Полные наборы коммутирующих наблюдаемых. Соотношение неопределенностей. Контрольная работа №1.	4
7-8	2	Универсальная алгебра наблюдаемых (алгебра Ли). Дираковский принцип соответствия. Явный вид основных наблюдаемых КМ. Квантовая динамика, картина Шредингера. Уравнение Шредингера (УШ). Стационарное УШ. Пример: свободная частица.	4
9-10	2	Общие свойства одномерного движения. Энергетический спектр и волновые функции стационарных уровней в прямоугольных ямах. Число уровней в одномерных ямах. Ямы с δ -функциями Дирака.	4

11-12	2	Квантовая динамика, картина Гейзенберга. Задача о линейном гармоническом осцилляторе. Теорема Эренфеста. Движения частицы в однородном поле: стационарные состояния, функция Эйри. Асимптотика функции Эйри. Контрольная работа №2.	4
13-14	3	Оператор момента импульса, коммутационные соотношения для него, следующие из принципа соответствия. Явный вид оператора момента в координатном и импульсном представлении. Оператор момента в сферической системе координат. Преобразование вектора состояний при повороте состояния и системы координат. Компоненты оператора углового момента как генераторы группы вращений.	4
15-16	3	Спектр операторов J_2 и J_z . Общие свойства спектра, следующие из коммутационных соотношений. Общая система собственных функций операторов J_2 , J_z в случае орбитального момента. Сферические гармоники. Оператор инверсии и четность состояния. Контрольная работа №3 по разделам 1-3.	4
17-18	3	Сложение угловых моментов: 1) две частицы со спином $1/2$, классификация состояний на синглетные и триплетные, 2) полный момент импульса частицы со спином $1/2$, 3) сложение произвольных моментов - общие представления.	4
19-21	3	Преобразование вектора состояния при вращениях системы координат для частиц со спином $1/2$. Явный вид операторов спина в представлении, в котором операторы S_2, S_z диагональны. Матрицы Паули, их свойства. Контрольная работа №1(4) по разделу 3.	6
22-23	4	Приближенные методы КМ. Теория возмущений Рэлея-Шредингера для невырожденного спектра и для случая вырождения. Пример: энергия ионизации атома гелия.	4
24-25	4	Вариационные методы. Вариационный принцип. Метод Ритца-Хиллерааса для основного состояния системы. Пример: энергия основного состояния атома гелия. Нестационарная теория возмущений.	4
26-27	4	Быстрые и медленные возмущения. Высокочастотные возмущения. Нестационарные возмущения в непрерывном спектре. Контрольная работа №2(5) по разделу 4.	4
28-29	5	Системы тождественных частиц в квантовой механике. Операторы перестановки частиц. Свойства симметрии векторов состояния по отношению к перестановкам частиц. Фермионы и бозоны. Принцип Паули. Система фермионов. Детерминант Слэтера.	4
30-31	6	Элементы релятивистской квантовой механики. Уравнения Клейна-Гордона. Уравнение Дирака. Теория рассеяния. Дифференциальное сечение рассеяния. Борновское приближение. Метод парциальных волн.	4
32	6	Формула Резерфорда. Контрольная работа №3(6) по разделам 5-6.	2

5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к контрольным работам, разделы 3-6.	См. литературу к практическим занятиям по разделам 1-3 и 3-6.	6	15
Подготовка к практическим занятиям по	1) Елютин П.В., Кривченков В.Д.	6	15

разделам 3-6.	Квантовая механика с задачами. - М., Физматлит, 2001 г., , глава 4, с. 59-77; глава 6, с. 96-116; глава 9, с.147-176; глава 13, с.223-237 - 300 с. 2) Боум А. Квантовая механика: Основы и приложения. - М., Мир, 1990 г., глава 3, с. 162-196; глава 8, с. 297-307; глава 9, с. 308-332; глава 15, с. 466-490. - 720 с. 3) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика, т. 3, Квантовая механика (нерелятивистская теория). Издание 6-е. — М.: Физматлит, 2004 г., глава 4, с. 112-135; глава 6, с. 171-248; глава 8, с. 249-275; глава 9, с.281-290; глава 17, с. 609-616, 622- 630. - 800 с. 4) Мессиа А. Квантовая механика, т.2. – М., Наука, 1978 г., глава 13, с. 13-77, - 583 с.		
Подготовка к контрольным работам №1-3 по разделам 1-3	См. литературу к практическим занятиям по разделам 1-3.	5	18
Подготовка к практическим занятиям по теории, разделы 1-3	1) Елютин П.В.,Кривченков В.Д. Квантовая механика с задачами. - М., Физматлит, 2001 г., глава 1, с.5-23; 24-36. - 300 с. 2) Боум А. Квантовая механика: Основы и приложения. - М., Мир, 1990, глава 1, с.8-63. - 720 с. 3) Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика, т. 3, Квантовая механика (нерелятивистская теория). Издание 6-е. — М.: Физматлит, 2004 г., глава 1, с. 13-39; 44-111. – 800 с. 4) Мессиа А. Квантовая механика, т.2. – М., Наука, 1978 г., глава 13, с. 13-77, 583 с.	5	18
Подготовка к зачету.	См. литературу к практическим занятиям по разделам 1-3.	5	17,75
Подготовка к экзамену.	См. литературу к практическим занятиям по разделам 1-3 и 3-6.	6	21,5

6. Текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-мestr	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учи-тыва-ется в ПА
1	5	Текущий контроль	Письменная контрольная работа №1	1	10	В контрольной работе 5 задач, покрывающих изучаемые разделы курса. Максимальный балл за контрольную работу 10. Каждая задача оценивается в 2 балла. Если	зачет

						приводится верное решение и верный ответ, тогда начисляется 2 балла. Если решение не приводится, или оно неверно, то начисляется 0 баллов независимо от ответа. При наличии только верного решения начисляется один балл.	
2	5	Текущий контроль	Письменная контрольная работа №2	1	10	В контрольной работе 5 задач, покрывающих изучаемые разделы курса. Максимальный балл за контрольную работу 10. Каждая задача оценивается в 2 балла. Если приводится верное решение и верный ответ, тогда начисляется 2 балла. Если решение не приводится, или оно неверно, то начисляется 0 баллов независимо от ответа. При наличии только верного решения начисляется один балл.	зачет
3	5	Текущий контроль	Письменная контрольная работа №3	1	10	В контрольной работе 5 задач, покрывающих изучаемые разделы курса. Максимальный балл за контрольную работу 10. Каждая задача оценивается в 2 балла. Если приводится верное решение и верный ответ, тогда начисляется 2 балла. Если решение не приводится, или оно неверно, то начисляется 0 баллов независимо от ответа. При наличии только верного решения начисляется один балл.	зачет
4	5	Бонус	Усердие в учёбе	-	15	Бонусы начисляются по усмотрению преподавателя за: активную работу на лекциях и семинарах; наличие полных конспектов лекций и семинаров; аккуратное исполнение всех заданий в срок; etc..	зачет
5	5	Промежуточная аттестация	Контрольное мероприятие промежуточной аттестации	-	10	Контрольное мероприятие (КМ) промежуточной аттестации является письменной работой. В работе 5 задач, покрывающих изучаемые разделы курса. Максимальный балл за КМ промежуточной аттестации 10. Каждая задача оценивается в 2 балла. Если приводится верное решение и верный ответ, тогда начисляется 2 балла. Если решение не приводится, или оно неверно, то начисляется 0 баллов независимо от ответа. При наличии только верного решения начисляется один балл.	зачет
6	6	Текущий контроль	Письменная контрольная работа №4	1	10	В контрольной работе 5 задач, покрывающих изучаемые разделы курса. Максимальный балл за контрольную работу 10. Каждая задача	экзамен

						оценивается в 2 балла. Если приводится верное решение и верный ответ, тогда начисляется 2 балла. Если решение не приводится, или оно неверно, то начисляется 0 баллов независимо от ответа. При наличии только верного решения начисляется один балл.	
7	6	Текущий контроль	Письменная контрольная работа №5	1	10	В контрольной работе 5 задач, покрывающих изучаемые разделы курса. Максимальный балл за контрольную работу 10. Каждая задача оценивается в 2 балла. Если приводится верное решение и верный ответ, тогда начисляется 2 балла. Если решение не приводится, или оно неверно, то начисляется 0 баллов независимо от ответа. При наличии только верного решения начисляется один балл.	экзамен
8	6	Текущий контроль	Письменная контрольная работа №6	1	10	В контрольной работе 5 задач, покрывающих изучаемые разделы курса. Максимальный балл за контрольную работу 10. Каждая задача оценивается в 2 балла. Если приводится верное решение и верный ответ, тогда начисляется 2 балла. Если решение не приводится, или оно неверно, то начисляется 0 баллов независимо от ответа. При наличии только верного решения начисляется один балл.	экзамен
9	6	Бонус	Усердие в учёбе	-	15	Бонусы начисляются по усмотрению преподавателя за: активную работу на лекциях и семинарах; наличие полных конспектов лекций и семинаров; аккуратное исполнение всех заданий в срок; etc..	экзамен
10	6	Промежуточная аттестация	Контрольное мероприятие промежуточной аттестации	-	20	Экзамен является обязательным контрольным мероприятием промежуточной аттестации. Экзамен является письменной работой. Максимальное количество баллов за мероприятие - 20. Вес мероприятия - 2. Работа включает 5 задач, покрывающих изучаемые разделы курса. Каждая из задач оценивается в 4 балла. Если приводится верное решение и верный полный ответ, тогда начисляется 4 балла. Если решение не приводится, или оно неверно, то начисляется 0 баллов независимо от ответа. При наличии верного решения начисляются баллы от 2-х до 4-х в зависимости от полноты решения и от верности и полноты ответа: верное	экзамен

						решение неверный ответ - 2 балла; верное решение и неполный ответ -3 балла; верное и полное решение и неточный ответ -3 балла; верное решение и полный верный ответ - 4 балла.	
--	--	--	--	--	--	--	--

6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
зачет	Зачет может выставляться по результатам текущего контроля и бонусов. Студент может улучшить свой рейтинг, пройдя контрольное мероприятие (КМ) промежуточной аттестации. КМ промежуточной аттестации является письменной работой.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения
экзамен	Экзамен является обязательным контрольным мероприятием промежуточной аттестации. Экзамен является письменной работой.	В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения

6.3. Оценочные материалы

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ОПК-1	Знает: основные понятия квантовой механики: квантовая система, ее состояние, наблюдаемая; основные положения квантовой механики: аксиому состояний, аксиому наблюдаемых, аксиому о статистической интерпретации, принцип соответствия, принцип тождественности элементарных частиц	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ОПК-1	Умеет: идентифицировать задачу как квантовомеханическую, выделять в изучаемой системе или процессе те части, которые требуют квантовомеханического рассмотрения	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ОПК-1	Имеет практический опыт: методов интерпретации результатов квантовомеханических расчетов и экспериментов, оценки правильности найденного решения, его точности и адекватности рассматриваемому физическому явлению	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

Фонды оценочных средств по каждому контрольному мероприятию находятся в приложениях.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

Не предусмотрена

б) дополнительная литература:

1. Мессиа, А. Квантовая механика Т. 2 В 2-х т. Пер. с фр. П. П. Кулиша; Под ред. Л. Д. Фаддеева. - М.: Наука, 1979. - 583 с. ил.
2. Ландау, Л. Д. Теоретическая физика Т. 3 Квантовая механика. Нерелятивистская теория В 10 т.: Учеб. пособие для физ. спец. ун-тов. - 4-е изд., испр. - М.: Наука, 1989. - 768 с.

3. Боум, А. Квантовая механика: основы и приложения Пер. с англ. А. В. Леонидова; Под ред. В. И. Манько. - М.: Мир, 1990. - 720 с. ил.

в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:
Не предусмотрены

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Парфенов, П.С. Квантовая механика. Методическое пособие к практикуму по квантовой физике. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : НИУ ИТМО, 2012. — 133 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/43453> — Загл. с экрана.

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Парфенов, П.С. Квантовая механика. Методическое пособие к практикуму по квантовой физике. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — СПб. : НИУ ИТМО, 2012. — 133 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/43453> — Загл. с экрана.

Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Ландау, Л. Д. Теоретическая физика : учебное пособие : в 10 томах / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под редакцией Л. П. Питаевского. — 6-е изд., испр. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2021 — Том 3 : Квантовая механика (нерелятивистская теория) — 2021. — 800 с. — ISBN 978-5-9221-0530-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/185658 . — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Курс теоретической физики в задачах и упражнениях : учебно-методическое пособие / Ю. Х. Векилов, Ю. М. Кузьмин, С. И. Мухин, Я. М. Муковский. — Москва : МИСИС, 2005. — 285 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/116479 . — Режим доступа: для авториз. пользователей.
3	Методические пособия для самостоятельной работы студента	Электронно-библиотечная система Znanium.com	Белоусов, Ю. М. Задачи по теоретической физике: Учебное пособие/Ю.М.Белоусов, С.Н.Бурмистров, А.И.Тернов - Долгопрудный: Интеллект, 2013. - 584 с. ISBN 978-5-91559-134-8. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/510284 . – Режим доступа: по подписке.

Перечень используемого программного обеспечения:

1. Microsoft-Office(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Лекции	507 (16)	проектор, компьютер, программное обеспечение PowerPoint