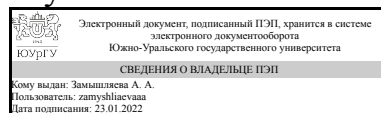


# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор института  
Институт естественных и точных  
наук



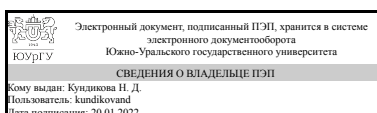
А. А. Замышляева

## 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

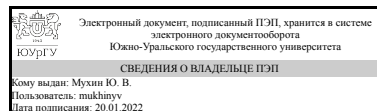
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.01 Прикладные математика и физика, утверждённым приказом Минобрнауки от 07.08.2020 № 890

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



Н. Д. Кундикова

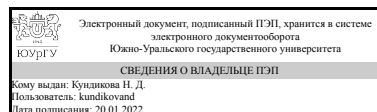
Разработчик программы,  
к.физ.-мат.н., доцент



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

<p>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</p>	
---	--

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	<p>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.</p>
1.О.08 Общая физика. Электричество и магнетизм	<p>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>

	<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 $\delta$ -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 $\delta$ -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 $\delta$ -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: <a href="https://e.lanbook.com/book/185658">https://e.lanbook.com/book/185658</a> . — 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: <a href="https://e.lanbook.com/book/116479">https://e.lanbook.com/book/116479</a> . — 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: <a href="https://znanium.com/catalog/product/510284">https://znanium.com/catalog/product/510284</a> . – 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