

*Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Северо-Осетинский государственный университет имени Коста
Левановича Хетагурова»*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
«Квантовая теория»**

Направление подготовки 03.03.01 Прикладные математика и физика

Профиль подготовки
«Конвергентные нано-, био-, информационные и когнитивные технологии»

Квалификация (степень) выпускника – бакалавр

Форма обучения – очная

Год начала подготовки - 2026

Утверждена в составе ОПОП.

Владикавказ, 2026

1. Структура и общая трудоемкость дисциплины – 4з.е. (144 ч.)

	Очная форма обучения
Курс	3
Семестр	7
Лекции	18
Практические занятия	18
Лабораторные занятия	-
Консультации	-
Итого аудиторных занятий	36
Самостоятельная работа	72
Курсовая работа	+
Контроль	36
Экзамен	+
Зачет с оценкой	-
Общее количество часов	144

2. Цели и задачи освоения дисциплины

Цель дисциплины:

- знакомство с необычными свойствами квантовых систем, обучение способам описания нерелятивистских квантовых систем, знакомство с основными методами описания релятивистских частиц.

Задачи дисциплины:

-знакомство с базовыми экспериментальными фактами в области квантовой физики, усвоение уравнений Шредингера, Паули и Дирака, описывающих квантовые явления, овладение математическими методами, позволяющими решать квантовые уравнения, решение задач, охватывающих основные приложения квантовой физики.

3. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Квантовая теория» относится к дисциплинам обязательной части Блока 1, Б1.О.16.05.

4. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций и достижение следующих результатов обучения.

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения	знать: основные принципы квантовой механики; методы описания квантовых систем; связь собственных векторов и собственных значений операторов с наблюдаемыми и измеряемыми физическими величинами; основные приближенные методы решения задач квантовой механики: квазиклассическое приближение, стационарную и нестационарную теорию возмущений, вариационный метод; методы и способы описания систем тождественных частиц в квантовой теории; методы описания рассеяния частиц; описание взаимодействия электромагнитного излучения с квантовыми системами зарядов; основы релятивистской квантовой теории. Уметь: владеть: культурой постановки задач квантовой механики; навыками теоретического анализа, моделирования и оценок свойств реальных физических систем, обладающих как дискретным, так и непрерывным спектром.
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки	знать: численные порядки величин, характеризующие квантовые явления; Уметь: находить безразмерные параметры, определяющие изучаемое явление; производить численные оценки по порядку величины; находить энергетические спектры и волновые функции в одномерных случаях; находить квантовомеханические средние с помощью известных волновых функций; владеть: навыками теоретического анализа, моделирования и оценок свойств реальных физических систем, обладающих как дискретным, так и непрерывным спектром.
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости	знать: численные порядки величин, характеризующие квантовые явления;

	полученных результатов	экспериментальные основы квантовой физики; Уметь: находить безразмерные параметры, определяющие изучаемое явление; определять возможность оптических переходов между состояниями систем зарядов и оценивать времена жизни возбужденных состояний.
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений	знать: описание взаимодействия электромагнитного излучения с квантовыми системами зарядов; Уметь: применять квазиклассическое приближение для оценки уровней энергии и вероятностей прохождения сквозь потенциальные барьеры; применять стационарную теорию возмущений для нахождения поправок к уровням энергии и волновым функциям; применять нестационарную теорию возмущений для нахождения вероятностей переходов между состояниями; решать задачи о нахождении состояний и энергетического спектра систем многих, в том числе тождественных, частиц; вычислять дифференциальные сечения рассеяния частиц различными потенциалами; определять возможность оптических переходов между состояниями систем зарядов и оценивать времена жизни возбужденных состояний. владеть: основными методами решения задач квантовой механики, в частности, о нахождении собственных функций и собственных значений операторов физических величин;

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

№	Наименование тем (вопросов), изучаемых по данной дисциплине	Занятия		Самостоятельная работа студентов		Формы контроля	Литература
		лек-ции	прак	Содержание	часы		
1.	Волновая механика простых систем и теория рассеяния Гипотеза квантов (фотонов), уравнение Эйнштейна для фотоэффекта. Импульс фотона и эффект Комптона. Волны де Бройля. Длина волны де Бройля для электрона. Плотность вероятности и амплитуда вероятности обнаружить частицу в заданной точке. Условие нормировки. Суперпозиция волн де Бройля (волновой пакет).	2	2	Амплитуда вероятности и плотность вероятности обнаружить частицу с заданным импульсом. Волновая функция. Нормировка волновых функций на единицу и на дельта-функцию. Волна де Бройля и оператор импульса.	8	Устный опрос, сообщения по вопросам темы, конспект, задачи на КР	[1-4]
2.	Волновая механика простых систем и теория рассеяния Уравнение Шредингера. Стационарные состояния. Уравнение непрерывности для плотности вероятности и плотность тока вероятности для частицы. Одномерное финитное и инфинитное движение частицы. Принцип суперпозиции. Гамильтониан линейного гармонического осциллятора. Операторы рождения и уничтожения. Энергетический спектр линейного осциллятора.	2	2	Построение собственных функций линейного осциллятора в координатном представлении. Полиномы Эрмита. Разделение переменных в квантовой задаче двух тел. Сведение задачи двух тел к движению частицы с приведённой массой в центральном поле. Оператор орбитального момента частицы в координатном представлении.	8	Устный опрос, сообщения по вопросам темы, конспект, задачи на КР	[1-4]
3.	Волновая механика простых систем и теория рассеяния Сферические гармоники. Гамильтониан частицы в сферических координатах. Разде-	2	2	Постановка задачи рассеяния. Упругое рассеяние. Амплитуда рассеяния. Сечение рассеяния. Функция Грина задачи	8	Устный опрос, сообщения по вопросам темы, конспект, задачи на КР	[1-4]

	ление переменных в центральном поле. Уравнение для радиальной функции. Гамильтониан водородоподобного атома. Атомная система единиц. Энергетический спектр и радиальные волновые функции стационарных состояний водородоподобного атома. Главное, радиальное, орбитальное и магнитное квантовые числа.			рассеяния. Интегральное уравнение для задачи рассеяния. Приближение Борна. Метод парциальных волн. Фазы рассеяния. Резонансное рассеяние. Неупругое рассеяние. Оптическая теорема. Особенности рассеяния тождественных частиц.			
4.	Математические основы квантовой теории. Состояния и наблюдаемые. Эрмитовы и линейные операторы. Разложение волновых функций по собственным функциям оператора физической величины. Амплитуды вероятности. Условия ортогональности для собственных функций операторов физических величин. Вычисление средних значений. Теория представлений. Векторы состояний и сопряжённые векторы состояний. Условие полноты собственных векторов оператора физической величины.	2	2	Одновременно измеримые физические величины. Коммутаторы. Полный набор физических величин, описывающих квантовую систему. Соотношения неопределённости и когерентные состояния. Импульсное представление. Матричные представления: операторы-матрицы и векторы-столбцы. Унитарные преобразования векторов состояний и операторов.	8	Устный опрос, сообщения по вопросам темы, конспект, задачи на КР	[1-4]
5.	Математические основы квантовой теории. Матричная механика. Зависимость физических величин от времени. Оператор изменения физической величины во времени. Интегралы движения. Операторы изменения во времени координаты и импульса частицы в потенциальном поле. Коммутаторы и скобки Пуассона. Оператор эволюции.	2	2	Уравнение Гейзенберга для операторов физических величин. Пространственные сдвиги и оператор импульса. Повороты в пространстве и оператор углового момента. Орбитальный угловой момент частицы. Коммутационные соотношения для операторов углового момента. Система собственных векторов операторов углового момента. Спин ча-	8	Устный опрос, сообщения по вопросам темы, конспект, задачи на КР	[1-4]

	Представления Шредингера и Гейзенберга.			стицы. Матрицы Паули.			
6.	Основы релятивистской квантовой теории. Уравнение Клейна-Гордона. Уравнение Дирака. Градиентная инвариантность. Свободная релятивистская частица. Состояния с положительными и отрицательными энергиями. Частицы и античастицы. Уравнение Паули. Уравнение Шредингера во внешнем электромагнитном поле.	2	2	Поправки второго порядка по v/c : поправка к кинетической энергии, поправка Дарвина, спин-орбитальное взаимодействие. Частица в магнитном поле.	8	Устный опрос, сообщения по вопросам темы, конспект, задачи на КР	[1-4]
7.	Основы релятивистской квантовой теории. Уровни Ландау. Квантование свободного электромагнитного поля. Операторы рождения и уничтожения фотонов. Гамильтониан поля. Гамильтониан взаимодействия атома и поля. Электрическое дипольное излучение. Вероятность излучения и поглощения.	2	2	Правила отбора для электрического дипольного излучения. Магнитное дипольное и электрическое квадрупольное излучения. Рассеяние фотонов.	8	Устный опрос, сообщения по вопросам темы, конспект, задачи на КР	[1-4]
8.	Приближенные методы квантовой механики. Условие применимости квазиклассического приближения. Вид волновой функции частицы в квазиклассическом приближении. Решения уравнения Шредингера в окрестности точки поворота. Условия квантования Бора-Зоммерфельда. Вероятность проникновения частицы через барьер в квазиклассическом приближении. Первое и второе приближения теории стационарных возмущений. Критерий приме-	2	2	Стационарное возмущение вырожденных уровней дискретного спектра. Волновые функции нулевого приближения. Секулярное уравнение. Эффект Штарка в атоме водорода. Нестационарное возмущение дискретного спектра. Переходы под влиянием возмущения, действующего в течение конечного времени.	8	Устный опрос, сообщения по вопросам темы, конспект, задачи на КР	[1-4]

	нимости теории.						
9.	Приближенные методы квантовой механики. Адиабатические и внезапные возмущения. Переходы под действием периодического возмущения в дискретном и непрерывном спектрах. Правило Ферми. Распад квазистационарных состояний. Спин-орбитальное взаимодействие. Сложение моментов. Коэффициенты Клебша-Гордана. Полный угловой момент. Симметрии волновой функции тождественных частиц. Бозоны и фермионы.	2	2	Детерминант Слэтера. Принцип Паули. Атом гелия. Координатные и спиновые функции двух электронов. Вариационный принцип, вычисление энергии основного состояния. Метод Хартри-Фока. Приближение центрального поля. Интегралы движения в сложных атомах. Термы. Правила Хунда. LS-связь. Тонкая структура уровней. Правило интервалов Ланде. Эффекты Зеемана и Пашена-Бака. Парамагнетизм и диамагнетизм атомов.	8	Устный опрос, сообщения по вопросам темы, конспект, задачи на КР	[1-4]
Итого		18	18		72		

Примечания:

- Все виды учебной работы могут проводиться дистанционно на основании локальных нормативных актов.
- В целях реализации индивидуального подхода к обучению студентов, осуществляющих учебный процесс по индивидуальной траектории в рамках индивидуального рабочего плана, изучение данной дисциплины может осуществляться через индивидуальные консультации преподавателя очно, в часы консультаций, по электронной почте, а также платформы дистанционного обучения Moodle, личный кабинет студента на сайте СОГУ, других элементов ЭИОС СОГУ.

6. Образовательные технологии

Согласно учебному плану в ходе преподавания дисциплины используются традиционные образовательные технологии: лекции, семинарские занятия, самостоятельная работа студентов.

Также при проведении занятий и самостоятельной работе студентов могут быть использованы:

- *интерактивные технологии* («мозговой штурм», дебаты, коллоквиумы, презентационный метод, работа в группах и др.);
- *технологии контекстного обучения* – система дидактических форм, методов и средств, направленная на моделирование содержания будущей профессиональной деятельности специалиста (анализ конкретных ситуаций, методы работы с информационными базами данных, моделирование исторических ситуаций и др.);
- *технологии электронного обучения* (реализуется при помощи электронной образовательной среды СОГУ при использовании ресурсов ЭБС, при проведении автоматизированного тестирования и т. д.).

Все виды учебной работы могут проводиться дистанционно на основании локальных нормативных актов.

В целях реализации индивидуального подхода к обучению студентов, осуществляющих учебный процесс по индивидуальной траектории в рамках индивидуального рабочего плана, изучение дисциплины может осуществляться через индивидуальные консультации преподавателя очно, в часы консультаций, по электронной почте и с использованием платформ дистанционного обучения (ЭИОС СОГУ).

7. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы.

Самостоятельная работа обучающихся является одним из видов учебных занятий. Самостоятельная работа проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений обучающихся студентов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развития исследовательских умений.

К видам самостоятельной работы при изучении данной дисциплины относится: написание докладов, подготовка презентаций, самостоятельное изучение литературы по теме и составление по ней конспектов, работа со справочными материалами (терминологическими и иными словарями, энциклопедиями) и т.д.

Темы и формы внеаудиторной самостоятельной работы, ее трудоёмкость содержатся в разделе 5, табл. 5.1.

Методические рекомендации по дисциплине прилагаются.

Методические рекомендации по выполнению контрольной работы

Критерии оценки контрольной работы могут быть как общие, так и частные. К общим критериям можно отнести следующие:

- соответствие контрольной работы теме;
- глубина и полнота раскрытия темы;
- адекватность передачи содержания первоисточника; логичность, связность; доказательность;
- структурная упорядоченность (наличие введения, основной части, заключения, их оптимальное соотношение);
- оформление (наличие плана, списка литературы, культура цитирования, сноски и т. д.); языковая правильность.

Частные критерии относятся к конкретным структурным частям контрольной работы: введению, основной части, заключению.

1. Критерии оценки введения: наличие обоснования выбора темы, ее актуальности; наличие сформулированных целей и задач работы; наличие краткой характеристики первоисточников.

2. Критерии оценки основной части: структурирование материала по разделам, параграфам, абзацам; наличие заголовков к частям текста и их соответствие содержанию; проблемность и разносторонность в изложении материала; выделение в тексте основных понятий и терминов, их толкование; наличие примеров, иллюстрирующих теоретические положения.

3. Критерии оценки заключения: наличие выводов по результатам анализа; выражение своего мнения по проблеме; наличие приложения: рисунков и схем (при необходимости).

Все требования к контрольной работе сообщаются задолго до его написания. Общая оценка за контрольную работу выставляется следующим образом: от 65% до 80% - «удовлетворительно»; 80-90% - «хорошо»; 90-100% - «отлично».

Методические указания для преподавателей по проведению практических занятий

В начале занятия рекомендуется рассмотреть соответствующий теоретический материал. Затем идет практический разбор изучаемого материала, решаются задачи из сборников по введению в языкознание, разбирается каждый конкретный пример.

В начале практического занятия следует обратить на теоретические вопросы по теме занятия. Первоначально идет изложение теоретического материала темы занятия. Затем в ряде вопросов преподавателя следует сконцентрировать внимание на основных идеях темы занятия. Вопросы должны включать в себя различные вариации элементарных ситуаций, отображающих основные идеи темы занятия в их взаимной взаимосвязи. Задаваемые вопросы должны быть конкретными и максимально проявлять в студентах их сообразительность.

После предварительной части следует начинать разбирать вопросы, имеющие более длинные сценарии взаимодействия основных идей темы занятия.

Устный опрос требует от преподавателя большой предварительной подготовки: тщательного отбора содержания, всестороннего продумывания вопросов, задач и примеров, которые будут предложены, путей активизации деятельности всех студентов группы в процессе проверки, создания на занятии деловой и доброжелательной обстановки.

Различают фронтальный, индивидуальный и комбинированный опрос.

Фронтальный опрос проводится в форме беседы преподавателя с группой. Он органически сочетается с повторением пройденного, являясь средством для закрепления знаний и умений. Его достоинство в том, что на активную умственную работу можно вовлечь всех студентов группы. Для этого вопросы должны допускать краткую форму ответа, быть лаконичными, логически взаимосвязанными друг с другом, даны в такой последовательности, чтобы ответы студентов в совокупности могли раскрыть содержание раздела, темы. С помощью фронтального опроса преподаватель имеет возможность проверить выполнение студентами домашнего задания, выяснить готовность группы к изучению нового материала, определить сформированность основных понятий, усвоение нового учебного материала, который был только что разобран на занятии.

Индивидуальный опрос предполагает обстоятельные, связные ответы студентов на вопрос, относящийся к изучаемому учебному материалу, поэтому он служит важным учебным средством развития речи, памяти, мышления студентов. Чтобы сделать такую проверку более глубокой, необходимо ставить перед студентами вопросы, требующие развернутого ответа.

Вопросы для индивидуального опроса должны быть четкими, ясными, конкретными, емкими, иметь прикладной характер, охватывать основной, ранее пройденный материал программы. Их содержание должно стимулировать студентов логически мыслить, сравнивать, анализировать, доказывать, подбирать убедительные примеры, устанавливать

причинно-следственные связи, делать обоснованные выводы и этим способствовать объективному выявлению знаний студентов.

Вопросы обычно задают всей группе и после небольшой паузы, необходимой для того, чтобы студенты поняли его и приготовились к ответу, вызывают для ответа конкретного студента.

Письменная проверка, наряду с устной, является важнейшим методом контроля знаний, умений и навыков студентов. Однородность работ, выполняемых студентами, позволяет предъявлять ко всем одинаковые требования, попытается объективность оценки результатов обучения. Применение этого метода дает возможность в наиболее короткий срок одновременно проверить усвоение учебного материала всеми студентами группы, определить направления для индивидуальной работы с каждым.

Письменная проверка используется во всех видах контроля и осуществляется как в аудиторной, так и во внеаудиторной работе (выполнение домашних заданий).

8. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, рубежной аттестации и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Рабочая программа предусматривает проведение лекционных и практических занятий, а также следующие виды работ: самостоятельную работу студентов по подготовке устных сообщений, написанию докладов, подготовку презентаций и обсуждений по темам дисциплины - работу в активной и интерактивной формах.

Рабочая программа предполагает текущий и промежуточный контроль знаний.

Текущий контроль – это непрерывно осуществляемый мониторинг уровня усвоения знаний и формирования умений и навыков в течение семестра или учебного года. Текущий контроль знаний, умений и навыков студентов осуществляется в ходе учебных (аудиторных) занятий, проводимых по расписанию. Формами текущего контроля выступают опросы на занятиях с целью проверки наличия знаний, необходимых для усвоения нового материала или для выяснения степени усвоения изложенного материала; рефераты, доклады, презентации, контрольные работы и др.

Рубежный контроль осуществляется по окончании изучения материала в конце семестра в заранее установленное время. Рубежный контроль проводится с целью определения качества усвоения материала учебного модуля или дисциплины в целом.

8.1. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

Основными формами *текущего контроля* знаний по дисциплине являются:

- выполнение практических работ;
- задания по теме, вынесенной на самостоятельное изучение;
- проверка домашнего конспекта.

Форма *рубежного контроля*: тест

Формы *промежуточной аттестации*: зачет/экзамен.

Формы контроля и критерии оценивания

Эт ап	Форма контро- ля	Критерии оценивания (процент от максимального кол-ва баллов)			
		86-100 %	71–85%	50–70%	Менее 50%
		отлично / зачет	хорошо / зачет	удовлетвори- тельно / зачет	неудовлетвори- тельно / незачет
1. Текущий контроль (max 40 баллов)					
		33–37 баллов	28–32 баллов	19–27 баллов	0–18 баллов
	Текущая работа в течение модуля (max 37	Студент актив- но работает на занятиях, пре- восходно вы- полняет все за-	Студент актив- но работает на занятиях, хоро- шо выполняет задания препо-	Студент недо- статочно актив- но работает на занятиях, удовлетвори-	Студент недоста- точно активно работает на заня- тиях, неудовле- творительно вы-

	б.)	дания преподавателя.	давателя.	тельно выполняет задания преподавателя.	полняет задания преподавателя.
		3 балла	2 балла	1 балл	0 баллов
	Реферат / доклад / конспект (маx 3б.)	Тема полностью раскрыта. Превосходное владение материалом. Высокий уровень самостоятельности, логичности, аргументированности. Превосходный стиль изложения.	Тема в основном раскрыта. Хорошее владение материалом. Средний уровень самостоятельности, логичности, аргументированности. Хороший стиль изложения.	Тема частично раскрыта. Удовлетворительное владение материалом. Низкий уровень самостоятельности, логичности, аргументированности. Удовлетворительный стиль изложения.	Тема не раскрыта. Неудовлетворительное владение материалом. Недостаточный уровень самостоятельности, логичности, аргументированности. Неудовлетворительный стиль изложения.
2. Рубежный контроль (30 б.)					
	тест/контрольная работа	Количество баллов за выполнение каждого задания указываются в тесте/контрольной работе.			
3. Промежуточная аттестация по дисциплине – 30 баллов					
		Критерии оценивания (процент от максимального кол-ва баллов)			
		86–100 %	71–85%	50–70%	0–49 %
	Зачет/Экзамен	Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос. Ответ формулируется в терминах науки, изложен литературным языком, логичен, доказателен, демонстрирует авторскую позицию студента.	Дан полный ответ на поставленный вопрос, показано умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи. Но допущены незначительные ошибки, исправленные студентом с помощью «наводящих» вопросов преподавателя.	Дан недостаточно полный ответ. Студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. Речевое оформление требует поправок, коррекции.	Не получены ответы по базовым вопросам дисциплины или дан неполный ответ и допущены грубые ошибки. Речь неграмотная. Уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента не только на поставленный вопрос, но и на другие вопросы дисциплины.

Пересчет полученной суммы баллов по дисциплине в оценку производится в соответствии с действующим локальным нормативным актом.

8.2. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Перечень контрольных вопросов к экзамену:

1. Какую роль в квантовой теории играют операторы? Какие операторы называют линейными, эрмитово сопряженными, эрмитовыми? Что называют одновременно измеримыми величинами? Что называют соотношениями неопределенностей?

2. Как в квантовой теории определяется состояние частицы? Какое уравнение определяет эволюцию состояния частицы? Какие состояния называют стационарными? Что называют условиями нормировки и полноты?

3. Что в квантовой теории называют оператором изменения физической величины во времени? Какие физические величины называют интегралами движения?

4. Волновая функция и вектор состояния - это одно и то же? Что называют координатным и импульсным представлениями? Как выглядят операторы координаты и импульса частицы в этих представлениях? Как выглядят собственные функции указанных операторов в этих представлениях?

5. Что называют матричными представлениями? Как преобразуются векторы состояний и операторы физических величин из одного матричного представления в другое? Какие операторы называют унитарными?

6. Что называют представлениями Шредингера и Гейзенберга? Рассмотрите в качестве примера свободное движение частицы.

Как описывается линейный гармонический осциллятор в классической и квантовой теориях? Каким уравнением определяются волновые функции стационарных состояний в координатном представлении? Как выглядят волновые функции для первых 3-4 стационарных состояний? Как выглядит волновая функция, описывающая эволюцию линейного осциллятора в самом общем случае?

7. Каким уравнением определяются векторы стационарных состояний и уровни энергии линейного гармонического осциллятора? В чем состоит суть метода установления спектра линейного оператора, основанного на введении операторов $\hat{a}$ и $\hat{a}^\dagger$?

8. Что называют модами свободного электромагнитного поля в ограниченном объеме V ? Какова энергия моды? Что называют квантованием свободного электромагнитного поля?

9. Что называют операторами потенциалов и напряженностей свободного электромагнитного поля? Как выглядит гамильтониан? Каков его спектр? Какими уравнениями определяются состояния свободного квантованного электромагнитного поля?

10. Что называют оператором углового момента частицы? Почему угловой момент сохраняется в центральном поле? Как выглядят операторы $\hat{L}^2$ и $\hat{L}_z$ в координатном представлении (в декартовых и сферических координатах)? Что называют сферическими гармониками? Почему орбитальный момент частицы всегда кратен постоянной Планка $\hbar$?

11. Как выглядит стационарное уравнение Шредингера, описывающее частицу в центральном поле, в декартовых и сферических координатах? В какой форме ищется волновая функция частицы в центральном поле? Рассмотрите примеры - водородоподобный атом и объемный гармонический осциллятор.

12. Как описывается водородоподобный атом в классической и квантовой теориях? Что в квантовой теории называют полным набором физических величин и что в данном случае выступает в качестве такого набора? Какому уравнению удовлетворяют радиальные волновые функции стационарных состояний и как они выглядят для первых 3-х состояний? Что называют атомной системой единиц?

13. Какие приемы используются для определения спектров сложных квантовых си-

стем? Что называют вырожденными и невырожденными уровнями, дискретным и непрерывным спектрами? Какой формулой определяется дискретный спектр водородоподобного атома? Какими квантовые числа характеризуют уровни этого атома? Что называют кулоновским (случайным) вырождением?

14. Как в квантовой теории из условия изотропии пространства выводится закон сохранения углового момента? Какой явный вид приобретает оператор углового момента в применении к движущейся частице? Как выглядит этот оператор в декартовых координатах? Каким коммутационным соотношениям удовлетворяют операторы проекций углового момента?

15. Что называют спиновым угловым моментом (спином) частиц? В чем состоит суть метода, устанавливающего, что спин частицы может быть только целым или полуцелым числом? Какой формулой определяется результат действия операторов $\hat{J}_x, \hat{J}_y, \hat{J}_z$ на спиновое состояние частицы? Что такое спиноры для частиц со спином $1/2$? Что называют матрицами Паули?

16. Что называется квазиклассическим приближением? Как выглядит волновая функция частицы в этом приближении в классически разрешенной и классически запрещенной областях? Что называется правилом Бора-Зоммерфельда? Что называют фазовым объемом, приходящимся на одно квантовое состояние?

17. В каких случаях для решения уравнений в задаче о прохождении частицы через потенциальный барьер может быть использовано квазиклассическое приближение? Как выглядит формула для вероятности прохождения частицы через потенциальный барьер в квазиклассическом приближении?

18. Что называют стационарной теорией возмущений? Каковы поправки 1-го и 2-го порядков к энергии невырожденного уровня дискретного спектра и поправка 1-го порядка к вектору состояния, соответствующего тому же уровню? В чем состоит условие применимости стационарной теории возмущений?

Что происходит или может произойти с вырожденным уровнем дискретного спектра под влиянием стационарного возмущения? Чем определяются поправки 1-го порядка к векторам состояний и энергиям этих же состояний?

19. Как эволюционирует вектор состояния квантовой системы под действием возмущения, зависящего от времени? Рассмотрите случай, когда возмущение начинает действовать на систему, находящуюся в одном из невырожденных состояний дискретного спектра.

20. Что называют "внезапным возмущением"? Чем определяется вероятность перехода системы из одного состояния дискретного спектра в другое под действием внезапного возмущения?

21. Чем определяется вероятность перехода системы из одного состояния дискретного спектра в другое под действием слабого возмущения, действующего в течение конечного времени? Что называют "адиабатическим возмущением"?

22. Чем определяется вероятность перехода из состояния дискретного спектра в непрерывный спектр под действием периодического возмущения? В чем состоит условие применимости?

23. Что называют уравнением Клейна-Гордона для свободной частицы? Какое уравнение непрерывности соответствует этому уравнению?

24. Что называют уравнением Дирака для свободной частицы? Какое уравнение непрерывности соответствует этому уравнению?

25. Чем определяется волновая функция свободной релятивистской частицы со спином $1/2$ в квантовой механике? Какой вид принимает волновая функция свободной частицы в нерелятивистском пределе?

26. Какую форму приобретают уравнение Клейна-Гордона и уравнение Дирака для частиц, взаимодействующих с электромагнитным полем? Обладает ли уравнение Дирака свойством инвариантности при калибровочном преобразовании потенциалов электромагнитного поля?

27. Как выглядит "нерелятивистский предел" уравнения Дирака? Что называют уравнением Паули? Приведите примеры частиц, которые описываются этим уравнением. Обладает ли уравнение Паули свойством инвариантности при калибровочном преобразовании входящих в него потенциалов электромагнитного поля?

28. Как описывается движение бесспиновой заряженной частицы в постоянном и однородном магнитном поле в классической и квантовой теориях? В какой форме ищется волновая функция? Что называют уровнями Ландау?

29. Как выглядит "нерелятивистский предел" уравнения Дирака в случае взаимодействия частицы со стационарным электрическим полем? Каковы поправки второго порядка по v/c нерелятивистскому гамильтониану? Что называют спин-орбитальным взаимодействием? Как это взаимодействие влияет на вырожденные уровни атома водорода?

30. В чем состоит задача сложения угловых моментов в квантовой теории? Что называют коэффициентами Клебша-Гордона?

31. Как в квантовой теории описываются системы, состоящие из многих частиц? Какими свойствами обладает волновая функция в случае, когда некоторые из частиц являются тождественными? Что называют фермионами и бозонами? Что называют детерминантом Слетера?

32. Как в квантовой теории описываются системы, состоящие из двух тождественных частиц? При каких условиях возможно разделение пространственных координат и спиновых переменных?

33. Как описывается гелиеподобный атом? В чем состоит суть метода приближенного определения энергий основного и возбужденных состояний? Что называют обменным взаимодействием?

34. Что называют вариационным методом поиска волновых функций и энергий основных состояний квантовых систем? Рассмотрите в качестве примера атом гелия.

Как выглядит стационарное уравнение Шредингера для сложного атома без учета релятивистских поправок? В чем состоит суть методов Хартри и Хартри-Фока, используемых для описания сложных атомов? Как выглядит гамильтониан сложного атома в приближении центрального поля? Что называют термами сложного атома? Что называется тонкой структурой термов и что является причиной появления этой структуры? Что называют правилом интервалов Ланде?

35. Как выглядит гамильтониан сложного атома, помещенного в постоянное и однородное магнитное поле, с учетом спин-орбитального взаимодействия? Чем определяются расщепления уровней в слабом (эффект Зеемана) и сильном (эффект Пашена-Бака) полях? Что называют фактором Ланде?

36. Как в рамках квантовой механики может быть найдена диамагнитная восприимчивость атома гелия?

37. Как выглядит гамильтониан атома в приближении центрального поля, если он (атом) находится в ограниченном (но очень большом) объеме V и взаимодействует со сво-

бодным электромагнитным полем? Как выглядит гамильтониан системы "атом + свободное электромагнитное поле", если поле рассматривается как квантовая система? Что происходит при взаимодействии атома и поля?

38. Что называют спонтанным излучением атома? Что называют дипольным приближением в теории излучения? Чем определяется полная вероятность излучения в единицу времени для заданного перехода? Что называют правилами отбора по четности?

39. Как в нерелятивистской квантовой механике задача о движении двух взаимодействующих частиц преобразуется в задачу об одной частице, движущейся в центральном поле? Рассмотрите в качестве примера атом водорода.

40. Чем определяется решение квантовомеханической задачи о рассеянии частицы на неподвижном центре? Что называют амплитудой рассеяния? Как дифференциальное сечение связано с амплитудой рассеяния?

41. Задача рассеяния двух сталкивающихся частиц - это задача двух тел, которая в нерелятивистской квантовой механике преобразуется в задачу рассеяния одной частицы на неподвижном рассеивающем центре. Чем определяется дифференциальное сечение рассеяния частицы на неподвижном центре? Что меняется в постановке задачи, если две исходные сталкивающиеся частицы являются тождественными?

42. Что называют функцией Грина задачи рассеяния? Что называют интегральным уравнением рассеяния? Как интегральное уравнение определяет связь между амплитудой рассеяния и рассеивающим потенциалом?

43. Что называют борновским приближением в задаче рассеяния? В чем состоит условие применимости данного приближения? Если скорость движения частиц важна для применимости борновского приближения, то объясните, почему и насколько важна?

44. Что называют методом парциальных волн в квантовой задаче рассеяния? Что называют парциальной волной? Что называют сферическими функциями Бесселя, Неймана и Ганкеля? Каковы асимптотики этих функций? Что называют формулой Релея?

45. Что называют фазой рассеяния парциальной волны? При каких условиях данная парциальная волна искажается или, наоборот, не искажается потенциалом рассеивающего центра? Чем определяется амплитуда рассеяния в методе парциальных волн? Чем определяются дифференциальное и полное сечения упругого рассеяния в этом же методе? Что называют резонансным рассеянием?

46. Чем определяется полное сечение неупругого рассеяния в методе парциальных волн?

47. Чем определяется полное сечение взаимодействия частиц с рассеивающим центром? Что называют оптической теоремой?

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Приступая к работе, каждый студент должен принимать во внимание следующие положения.

Дисциплина построена по тематическому принципу, каждая тема представляет собой логически заверченный раздел.

Лекционный материал посвящен рассмотрению ключевых, базовых положений курсов и разъяснению учебных заданий, выносимых на самостоятельную работу студентов.

Практические занятия проводятся с целью закрепления усвоенной информации, приобретения навыков ее применения при решении практических задач в соответствующей предметной области.

Самостоятельная работа студентов направлена на самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовку к практическим занятиям, а также выполнения всех видов самостоятельной работы.

Для успешного освоения дисциплины, необходимо выполнить все виды самостоятельной работы, используя рекомендуемые источники информации.

10. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Теоретическая физика : в 10 т. Т 3 : Квантовая механика. Нерелятивистская теория : учеб. пособие для вузов: рек. М-вом образования РФ / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского .— 6-е изд., испр. — М. :Физматлит, 2008 .— 800 с.
2. Задачи по теоретической физике : учеб. пособие для вузов / Ю. М. Белоусов, С. Н. Бурмистров, А. И. Тернов .— Долгопрудный : Интеллект, 2013 .— 584 с.
3. Задачи по квантовой механике. Т. 1 : [учеб. пособие для вузов] / З. Флюгге ; пер. с англ. Б. А. Лысова ; под ред. и с предисл. А. А. Соколова .— 3-е изд. — М. : ЛКИ, 2010 .— 344 с.
4. Задачи по квантовой механике. Т. 2 : [учеб. пособие для вузов] / З. Флюгге ; пер. с англ. Б. А. Лысова ; под ред. и с предисл. А. А. Соколова .— 3-е изд. — М. : ЛКИ, 2010 .— 320 с. Фонд литературы кафедры

б) дополнительная литература:

1. Задачи по квантовой механике: учеб. пособие для вузов / В. М. Галицкий, Б. М. Карнаков, В. И. Коган .— М. : Наука, 1992 .— 880 с.
2. Квантовая механика: учеб. пособие для вузов / А. С. Давыдов .— 2-е изд., испр. и перераб. — М. : Наука, 1973 .— 704 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

- необходимый для обеспечения данной дисциплины комплект лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, а также электронные библиотечные системы, с которыми у СОГУ имеется действующий договор:

№ п/п	Наименование	№ договора(лицензия)	Страна-производитель
1.	Windows 10 Enterprise	№ 4100072800 Microsoft Products (MPSA) от 04.2016 г	США
2.	Windows 10 Pro for Workstations	№ 4100072800 Microsoft Products (MPSA) от 04.2016 г	США
3.	Windows 7 Enterprise	№ 4100072800 Microsoft Products (MPSA) от 04.2016 г	США
4.	Windows 7 Professional	№ 4100072800 Microsoft Products (MPSA) от 04.2016 г	США
5.	Office Standard 2016	№ 4100072800 Microsoft Products (MPSA) от 04.2016 г	США
6.	Office Standard 2013	№ 4100072800 Microsoft Products (MPSA) от 04.2016 г	США
7.	Office Standard 2010	№ 4100072800 Microsoft Products (MPSA) от 04.2016 г	США
8.	Корпоративная электронная	№КИС-1965-2025 от 12.01.2026	Россия

	почта (Яндекс.Почта)		
9.	Программное обеспечение 1С: Предприятие. Бухгалтерский Учет. Типовая конфигурация 8 сетевая версия	№ СД/108 от 29.08.2017 «МАКСИМУМ-СОФТ СОФТ» бессрочно	Россия
10.	Система поиска текстовых заимствований «Антиплагиат. ВУЗ»	№ SBR003-250010357500001 от 05.02.2025 (действителен до 04.02.2026) с ОАО «АнтиПлагиат»	Россия
11.	Программное обеспечение 1С: Предприятие 8.3 Управление торговлей	№КП /108 от 29.08.2017 с ООО «Максимум» (бессрочно)	Россия
12.	Программное обеспечение 1С: Зарплата и кадры государственного учреждения 8	№СД./ №9., 08.06.2025 г. «МАКСИМУМ-СОФТ СОФТ» бессрочно	Россия
13.	1С: Бухгалтерия 8. Базовая версия	№9 от 21.05.2019, «МАКСИМУМ-СОФТ СОФТ» бессрочно	Россия
14.	Планы	№2191-24, от 09.01.2025 г. (тех.поддержка до 26.02.2026 г.) ООО ЛММИС	Россия
15.	ПО Лаборатории ММИС (Деканат, ПК, Ведомости, Тестирование, интернет расширение и др.)	№2435-24 от 04.03.2025 ООО ЛММИС	Россия
16.	VSDESK	№ 210406/01 от 06.04.2021г. ИП И,А.Сергеевич	Россия
17.	DIRECTUM RX – Система электронного документооборота	ООО Галактика ИТ договор № 120320/Д/А от 14.03.2022	Россия
18.	MOODLE	Бесплатное	-
19.	ЭБС «Консультант студента»	http://www.studentlibrary.ru Требуется регистрация в библиотеке СОГУ	Россия
20.	РусГард	Бесплатное	Россия
21.	Система веб-конференций (bigbluebutton)	Бесплатное	-
22.	Средства криптографической защиты (КриптоПро CSP, Крипто АРМ)	№120680, от 21.01.2025 ООО «Цифровые технологии»	Россия
23.	Средства криптографической защиты (ViPNet)	№0000-0000008 от 17.01.2025 ООО Экспресс-линк	Россия
24.	Средства криптографической защиты (Континент TLS)	№25/08/22 СЛ от 04.09.2025 ООО СКБ-Сервис	Россия
25.	Kaspersky Endpoint Security	№ СФ00-001239 от 13.02.2025 ООО Системный Софт	Россия

**Реестр электронных библиотечных систем (ЭБС)
и электронных образовательных ресурсов, доступ к которым обеспечен
для обучающихся по образовательным программам,
реализуемым в 2026-2027 учебном году**

Название базы данных	Платформа и (или) адрес в сети Интернет	Реквизиты	Правообладатель	Количество ключей
«Университетская библиотека Online» Базовая коллекция	https://biblioclub.ru Требуется регистрация.	Договор № 571-12/2025 от 12.01.2026 г. С 01.01.2026 г. - 31.12.2026 г.	ООО «НексМедиа»	Без ограничения количества пользователей
Информационно-аналитическая система SCIENCE INDEX: рефераты и полные тексты научных статей и публикаций, российские научные и научно-технические журналы	eLIBRARY.RU http://elibrary.ru/org Требуется регистрация.	Лицензионный договор № 310-5051/2025 от 31.03.2025 г. С 14.04.2025 г. - 20.04.2026 г.	ООО «Научная электронная библиотека eLibrary.ru»	Доступ по IP адресам вуза без ограничений по количеству пользователей
eLIBRARY.RU - интегрированный научный информационный портал в российской зоне сети Интернет, включающий базы данных научных изданий и сервисы для информационного обеспечения науки и высшего образования.	eLIBRARY.RU http://elibrary.ru/org Требуется регистрация.	Ресурс открытого доступа	ООО «Научная электронная библиотека eLibrary.ru»	Доступ осуществляется по IP адресам вуза без ограничений по количеству пользователей
«Юрайт» - Учебники по всем специальностям и направлениям подготовки. - ЦУМК по федеральному проекту «Кадры для цифровой экономики»	«Юрайт» https://urait.ru/info/courses?utm_source=m_campaign Требуется регистрация.	Договор № 6237 от 05.12.2023 г. С 31.12.2023 - 31.12.2026 г.	ООО «Электронное издательство ЮРАЙТ»	Доступ по IP адресам вуза без ограничений по количеству пользователей
Универсальная база данных East View - полнотекстовый доступ к научным журналам	https://dlib.eastview.com Логин: Khetagurov. Пароль: Khetagurov.	№210-П от 12.01.2026 г. С 01.01.2026 г. - 31.12.2026 г.	ООО «ИВИС»	Без ограничения количества пользователей
«SocHum» - электронная библиотека социогуманитарного знания (коллекция учебно-методической литературы и научных журналов социогуманитарной коллекции научно-исследовательских институтов РАН	https://sochum.ru	Ресурс открытого доступа	Государственный академический университет гуманитарных наук (ГАУГН)	Доступ осуществляется по IP адресам вуза без ограничений по количеству пользователей.
Polpred.com - открытая электронная библиотечная система и интернет-сервисы «Де-	https://www.polpred.com/	Ресурс открытого доступа		Доступ осуществляется по IP адресам вуза без огра-

ловые средства массовой информации». Доступ к статьям 600 газет, журналов информагентств с архивом за 20 лет: - обзор СМИ; - Россия и зарубежье; - Федеральные округа РФ. - внешняя экономика, право.				ничений по количеству пользователей.
Национальная электронная Библиотека «НЭБ»	https://rusneb.ru/ Требуется регистрация.	Договор № 4513-п от 26.12.2023 г. (на 10 лет с последующей автоматической пролонгацией) Без ограничения срока	Российская государственная библиотека	Доступ осуществляется по IP адресам вуза без ограничений по количеству пользователей

Электронные образовательные ресурсы

Наименование ресурса	Содержание ресурса	Ссылка на ресурс в сети Интернет
Единое окно доступа к образовательным ресурсам	Каталог образовательных интернет-ресурсов и полнотекстовая электронная учебно-методическая библиотека для общего и профессионального образования	https://web.archive.org/web/20191122092928/http://window.edu.ru/
«КиберЛенинка»	Собрание научных статей, в основном на русском языке, хотя есть и иностранные публикации.	https://cyberleninka.ru/
Всенаука	Естественные, гуманитарные и социальные науки, психология	Всенаука https://vsenauka.ru/
Библиотекарь. Ру	Бесплатная интернет-библиотека. Книги, статьи, документы по русской и мировой истории, искусству, культуре, прикладным наукам, учебники, научные статьи, методические пособия. Электронные книги, учебники, периодика, графика, справочная и техническая литература. На сайте представлено около 10.000 книг доступных для онлайн чтения. - более 50 полнотекстовых справочников и энциклопедий; - Древнерусская литература - летописи, жития святых, воинские повести древней Руси; - сведения иностранных писателей о средневековой России; - большой раздел репринтов книг, газет и журналов 19 века; - биографии и труды русских учёных и писателей; - классическая литература. Мемуары, дневники; - учебники и научные работы по 20 дисциплинам; - более 15.000 картин и художественных изображений.	https://bibliotekar.ru/

10. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также самостоятельной работы обучающихся: преподавательский стол; стул; столы обучающихся; стулья; кафедра; классная доска, мультимедийный комплекс (проектор, экран), ноутбук, колонки, программное обеспечение.

Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- при наличии по дисциплине курсовой работы продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.