

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Сердитова Наталья Евгеньевна  
Должность: проректор по образовательной деятельности  
Дата подписания: 25.08.2025 16:35:16  
Уникальный программный ключ:  
6cb002877b2a1ea640fdebb0cc541e4e05322d13

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Утверждаю:

Руководитель ООП

Е.В. Барабанова



«26» июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

**Квантовая механика**

Закреплена за кафедрой:	<b>Общей физики</b>
Направление подготовки:	<b>03.03.03 Радиофизика</b>
Направленность (профиль):	<b>Материалы и устройства радиоэлектроники (беспилотные системы, программно-аппаратные комплексы, системы автоматизированного проектирования)</b>
Квалификация:	<b>Бакалавр</b>
Форма обучения:	<b>очная</b>
Семестр:	<b>6,7</b>

Программу составил(и):  
*канд. физ.-мат. наук, доц., Зубков Виктор Викторович*

Тверь, 2025

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели освоения дисциплины (модуля):

Целью освоения дисциплины является формирование у студентов основных представлений об основании и методах, лежащих в основе квантовой парадигмы.

### Задачи:

Задачами освоения дисциплины являются:

- изучение основных физических моделей и процессов в рамках как нерелятивистской, так и релятивистской квантовой механики;
- установление связи между различными физическими явлениями, вывод основных законов в виде математических уравнений.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.О

### Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Раздел теоретической физики «Квантовая механика» излагается в 6-7 семестрах и его главной задачей является создание фундаментальной базы знаний, на основе которой в дальнейшем можно развивать более углубленное и детализированное изучение всех разделов физики в теоретической физике и различных специализированных курсов направления «Физика». Для успешного освоения дисциплины необходимо уверенно владеть математическим аппаратом в рамках курсов, читаемых для студентов-физиков. Некоторые необходимые элементы математического и функционального анализа и алгебры, не входящие в стандартный курс высшей математики, читаемой для физиков, вводятся по мере необходимости.

Интегральные уравнения

Дифференциальные уравнения

Аналитическая геометрия и линейная алгебра

Математический анализ

Векторный и тензорный анализ

Теория функций комплексного переменного

Теория вероятностей и математическая статистика

Атомная физика

Механика

Теоретическая механика

Электродинамика

Методы математической физики

Оптика

Электричество и магнетизм

Физика атомного ядра и элементарных частиц

**Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:**

Термодинамика и статистическая физика

Нанотехнологии в физике конденсированного состояния

Физика магнитных явлений

Микромагнетизм

Физика магнитных материалов

Физика полупроводников

Основы физического металловедения

Научно-исследовательская работа

### 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>Общая трудоемкость</b>	7 ЗЕТ
Часов по учебному плану	252
<b>в том числе:</b>	
аудиторные занятия	108
самостоятельная работа	117
часов на контроль	27

### 4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ОПК-1.1: Обладает базовыми знаниями в области физики и радиофизики

ОПК-2.2: Проводит теоретическое изучение объектов, систем и процессов в рамках темы научного исследования

УК-1.1: Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие

УК-1.2: Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи

УК-1.5: Рассматривает и предлагает возможные варианты решения поставленной задачи, оценивая их достоинства и недостатки

### 5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
экзамены	7
зачеты	6

### 6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

### 7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. Переход от старой к новой квантовой механике.					
1.1	Старая квантовая механика. Постулаты Нильса Бора. Переход к новой квантовой механике. Правила соответствия Макса Борна.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.6 Л1.7Л2.1 Л2.2 Л2.3	
1.2	Фундаментальное коммутационное соотношение. Уравнение Вернера Гайзенберга.	Лек	6	2	Л1.4 Л1.5 Л1.7	
	Раздел 2. Связь между операторами и измеримыми величинами. Математический аппарат квантовой механики.					

2.1	Связь между операторами и измеримыми величинами. Оператор плотности. Теория измерений.	Лек	6	6	Л1.3 Л1.7	
2.2	Математический аппарат квантовой механики. Гильбертово пространство и векторы состояния. Операторы.	Пр	6	9	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
2.3	Эрмитовы и унитарные операторы. Матрица плотности. Теория измерений.	Ср	6	10		
	Раздел 3. Эволюция квантовой системы. Картины Гайзенберга и Шредингера. Постулаты квантовой механики.					
3.1	Эволюция квантовой системы. Картины Гайзенберга и Шредингера. Уравнение Шредингера. Уравнение фон Неймана. Постулаты квантовой механики.	Лек	6	1	Л1.1 Л1.5 Л1.7	
3.2	Координатное и импульсное представления в квантовой механике	Лек	6	1	Л1.1 Л1.6 Л1.7	
3.3	Совместимые наблюдаемые. Полный набор наблюдаемых. Соотношение неопределенностей Гайзенберга.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.7	
3.4	Оператор эволюции и пропагатор. Стационарные состояния квантовой системы. Взгляд Фейнмана: интегралы по траекториям	Лек	6	2	Л1.7	
3.5	Эволюция квантовой системы.	Пр	6	4	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
3.6	Свободное движение. Волновой пакет. Уравнение непрерывности.	Лек	6	1	Л1.1 Л1.7	
3.7	Гармонический осциллятор. Операторы рождения и уничтожения.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.5 Л1.7	
3.8	Симметрии в квантовой механике. Интегралы движения.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.7	
3.9	Переход к классической механике. Теорема вириала. Теоремы Эренфеста.	Лек	6	1	Л1.1 Л1.5 Л1.7	
3.10	Гармонический осциллятор. Когерентные состояния.	Пр	6	4	Л1.3 Л1.7	

3.11	Одномерные задачи. Потенциальные ямы и барьеры.	Пр	6	5	Л1.5 Л1.7	
3.12	Эволюция квантовой системы.	Ср	6	9	Л1.1 Л1.2 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
3.13	Гармонический осциллятор. Когерентные состояния.	Ср	6	8	Л1.1 Л1.2 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
3.14	Одномерные задачи. Потенциальные ямы и барьеры.	Ср	6	10	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
	Раздел 4. Эволюция системы в центральном поле.					
4.1	Оператор углового момента в квантовой механике.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.5 Л1.7	
4.2	Задача двух тел в квантовой механике.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
4.3	Атом водорода.	Лек	6	2	Л1.1 Л1.3 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
4.4	Угловой момент. Движение в центральных полях.	Пр	6	6	Л1.1 Л1.5 Л1.6	
4.5	Задача двух тел в квантовой механике.	Ср	6	15	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
	Раздел 5. Приближенные методы решения задач в квантовой механике					
5.1	Квазиклассика. ВКБ приближение.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.5 Л1.7	
5.2	Стационарная теория возмущений.	Лек	7	3	Л1.1 Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
5.3	Нестационарная теория возмущений. Теория переходов.	Лек	7	4	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	

5.4	Вариационный принцип Ритца и вариационный метод Ритца	Лек	7	1	Л1.1 Л1.7	
5.5	ВКБ приближение в квантовой механике	Пр	7	2	Л1.1 Л1.7	
5.6	Стационарная теория возмущений.	Пр	7	4	Л1.4 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
5.7	Теория переходов	Пр	7	2	Л1.7	
5.8	Стационарная теория возмущений.	Ср	7	20	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
5.9	Нестационарная теория возмущений. Теория переходов.	Ср	7	18	Л1.1 Л1.6 Л1.7	
	Раздел 6. Спин. Магнитные взаимодействия с элементами релятивистской квантовой теории					
6.1	Спин. Уравнение Паули.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.5 Л1.7	
6.2	Элементы релятивистской квантовой механики. Уравнение Дирака	Лек	7	2	Л1.7	
6.3	Свободная дираковская частица. Античастицы.	Лек	7	2	Л1.7	
6.4	Квазирелятивистское приближение. Спин-орбитальное взаимодействие и контактное взаимодействие.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
6.5	Сложение моментов. Коэффициенты Клебша-Гордана.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	
6.6	Поправки к состоянию атома водорода. Тонкая структура атома. Сверхтонкая структура атома.	Лек	7	2	Л1.1 Л1.7	
6.7	Тожественные частицы. Бозоны и фермионы. Принцип Паули.	Лек	7	1	Л1.1 Л1.7	
6.8	Методы Хартри и Хартри-Фока	Лек	7	2	Л1.1 Л1.7	
6.9	Атом гелия	Лек	7	1	Л1.7	
6.10	Эволюция спина. ЭПР.	Пр	7	2	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.7	

6.11	Сложение моментов в квантовой механике	Пр	7	2	Л1.1 Л1.7	
6.12	Атом гелия. Теория возмущений. Вариационный метод Ритца.	Пр	7	4	Л1.7	
6.13	Метод Хартри-Фока.	Пр	7	2	Л1.7	
6.14	LS- и jj-связь	Пр	7	2	Л1.7	
6.15	Движение в магнитном поле.	Пр	7	2	Л1.7	
6.16	Взаимодействие атомов с классическим электромагнитным полем	Пр	7	4	Л1.7	
6.17	LS- и jj-связь	Ср	7	10	Л1.1 Л1.7	
6.18	Взаимодействие атомов с классическим электромагнитным полем	Ср	7	12	Л1.1 Л1.7	
6.19	Метод Хартри-Фока.	Ср	7	5	Л1.1 Л1.6 Л1.7	
	Раздел 7. Контроль					
7.1	Экзамен	Экзамен	7	27		

### Образовательные технологии

классические лекции, решение групповых и индивидуальных задач.

### Список образовательных технологий

1	Активное слушание
---	-------------------

## 8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

### 8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

Смотри приложение

### 8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

см. приложение

### 8.3. Требования к рейтинг-контролю

Если семестр заканчивается зачетом, то максимальное число баллов 100 за семестр.

Изучение дисциплины в течение семестра подразделено на 2 модуля:

1 модуль: максимум – 40 баллов, из них 30 баллов – текущая работа, 10 баллов – рейтинг-контроль;

2 модуль: максимум – 60 баллов, из них 50 баллов – текущая работа, 10 баллов – рейтинг-контроль.

Обучающемуся, набравшему 40 баллов и выше по итогам работы в семестре, выставляется «зачет». Обучающийся, набравший до 39 баллов, сдает зачет.

Если семестр заканчивается экзаменом, всего студент может получить 100 баллов = 60 баллов на модули + 40 баллов на экзамене

В каждом модуле студент может получить максимум 30 баллов, из них 20 баллов за текущую работу, а 10 баллов – за рейтинговый контроль.

Обучающемуся, набравшему 40–54 балла, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в рейтинговой ведомости учета успеваемости и зачетной книжке может быть выставлена оценка «удовлетворительно».

Обучающемуся, набравшему 55–57 баллов, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в графе рейтинговой ведомости учета успеваемости «Премиальные баллы» может быть добавлено 15 баллов и выставлена экзаменационная оценка «хорошо».

Обучающемуся, набравшему 58–60 баллов, при подведении итогов семестра (на последнем занятии по дисциплине) в графе рейтинговой ведомости учета успеваемости «Премиальные баллы» может быть добавлено 27 баллов и выставлена экзаменационная оценка «отлично».

Обучающийся, набравший до 39 баллов включительно, сдает экзамен.

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 9.1. Рекомендуемая литература

#### 9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Ландау, Лифшиц, Теоретическая физика. Том 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория), Москва: Издательская фирма "Физико-математическая литература" (ФИЗМАТЛИТ), 2016, ISBN: 978-5-9221-0530-9, URL: <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=369173">https://znanium.com/catalog/document?id=369173</a>
Л1.2	Львовский, Отличная квантовая механика : решения. Часть 2, Москва: ООО "Альпина нон-фикшн", 2019, ISBN: 978-5-91671-952-9, URL: <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=368826">https://znanium.com/catalog/document?id=368826</a>
Л1.3	Львовский, Отличная квантовая механика : учебное пособие. Часть 1, Москва: ООО "Альпина нон-фикшн", 2019, ISBN: 978-5-91671-952-9, URL: <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=368791">https://znanium.com/catalog/document?id=368791</a>
Л1.4	Ведринский Р.В., Квантовая механика, Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета (ЮФУ), 2009, ISBN: 978-5-9275-0706-1, URL: <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=96700">https://znanium.com/catalog/document?id=96700</a>
Л1.5	Краснопевцев, Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела, Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2010, ISBN: 978-5-7782-1464-4, URL: <a href="https://znanium.com/catalog/document?id=52371">https://znanium.com/catalog/document?id=52371</a>
Л1.6	Савельев И. В., Основы теоретической физики. В 2 томах. Том 2. Квантовая механика, Санкт-Петербург: Лань, 2023, ISBN: 978-5-507-47138-6, URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/330521">https://e.lanbook.com/book/330521</a>
Л1.7	Киселёв В. В., Квантовая механика: курс лекций, Москва: МЦНМО, 2009, ISBN: 978-5-94057-497-2, URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=62965">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=62965</a>

#### 9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л12.1	Елютин П. В., Кривченков В. Д., Квантовая механика с задачами, Москва: Физматлит, 2001, ISBN: 978-5-9221-0077-9, URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=68967">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=68967</a>
Л12.2	Ведринский Р. В., Квантовая механика, Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2009, ISBN: 978-5-9275-0706-1, URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=240937">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=240937</a>

Л2.3	Краснопевцев Е. А., Квантовая механика в приложениях к физике твердого тела, Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2010, ISBN: 978-5-7782-1464-4, URL: <a href="https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=435995">https://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=435995</a>
------	--

### 9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	OpenOffice
5	WinDjView

### 9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС «ZNANIUM.COM»
2	ЭБС «ЮРАИТ»
3	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
4	ЭБС «Лань»
5	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU (подписка на журналы)
6	Журналы American Chemical Society (ACS)
7	Журналы American Institute of Physics (AIP)
8	Журналы издательства Taylor&Francis
9	Ресурсы издательства Springer Nature
10	Архивы журналов издательства Nature
11	Архивы журналов издательства The Institute of Physics
12	Архивы журналов издательства Oxford University Press

## 10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-218	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-226	комплект учебной мебели, Микшерный пульт, Аудиокомплект, Интерактивная система, проектор, Телекоммуникационные шкафы, экран, компьютер
3-228	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран
3-227	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран

## 11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Смотри приложение

Приложение

**Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности компетенции**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания		
Начальный	<i>Задания для проверки сформированности знаний:</i>	<i>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</i>	<i>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</i>	<i>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</i>
	Евклидово и гильбертово пространства	Дает определение евклидовому и гильбертову пространствам. Описывает свойства пространства. Понимает их сходство и различие.	Дает определение евклидовому и гильбертову пространствам. Описывает свойства пространства. Затрудняется ответить в чем их сходство и различие.	Дает определение евклидовому и гильбертову пространствам. Испытывает трудности (путается) в описании свойств евклидового и гильбертового пространств. Затрудняется ответить, в чем их сходство и различие.
	Базис. Линейные операторы. Среднее значение оператора. Функции операторов	Имеет четкие представления о физических величинах и их связей с операторами. И умеет оценивать связь измеряемых величин с собственными значениями	Имеет четкие представления о физических величинах и их связей с операторами. Плохо умеет оценивать связь измеряемых величин с собственными значениями	Имеет четкие представления о физических величинах и их связей с операторами. Не умеет оценивать связь измеряемых величин с собственными значениями операторов.

		операторов.	значениями операторов.	
Промежуточный	<b>Задания для проверки сформированности умений:</b>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>
	Найти вероятность отражения частицы при прохождении над одномерным потенциальным барьером $V(x) = V_0$ при $ x  > a$ ; $V(x) = 0$ при $ x  < a$ (энергия частицы больше высоты барьера).	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает уравнение Шредингера в применении к стационарному случаю и уверенно применяет ее, записывая необходимые соотношения. Получает решение.	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает уравнение Шредингера в применении к стационарному случаю. Неуверенно использует физические условия, накладываемые на волновую функцию при решении уравнения Шредингера, записывая необходимые соотношения. Получает решение.	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает уравнение Шредингера в применении к стационарному случаю. С трудом применяет ее, записывая необходимые соотношения.
	Найти дифференциальное сечение упругого рассеяния $\alpha$ -частицы на $\alpha$ -частице (в системе центра масс).	Понимает математический аппарат квантовой теории, и записывает основные соотношения квантовой механики. Умеет получить квантовое решение в	Понимает математический аппарат квантовой теории, но неуверенно записывает основные соотношения квантовой механики. Возникают трудности в получении	Понимает математический аппарат квантовой теории, и с трудом записывает основные соотношения квантовой механики. Получает неправильный ответ.

		приближенном и точном случаях. Сравнение с классическим случаем. Получает правильный ответ.	точного решения и в сравнении с классическим случаем. Получает правильный ответ.	
	<i>Задания для проверки сформированности знаний:</i>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>
	Знать постулаты квантовой механики.	Знает постулаты квантовой механики. Умеет правильно перевести физическую задачу на язык квантовой механики.	Знает постулаты квантовой механики. Неуверенно переводит физическую задачу на язык квантовой механики.	Знает постулаты квантовой механики. Но не умеет связать постулаты квантовой механики с решением квантовой задачи.
	Уравнение Дирака для электрона во внешнем электромагнитном поле. Уравнение Паули.	Знает физический смысл уравнений. Записывает уравнение Дирака и Паули. Выводит их из уравнения Шредингера.	Знает физический смысл уравнений. Записывает уравнение Дирака и Паули. Испытывает трудности при выводе их из уравнения Шредингера.	Знает физический смысл уравнений. Записывает уравнение Дирака и Паули. Не может вывести их из уравнения Шредингера.

<b>Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина</b>	<b>Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков</b>	<b>Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания</b>		
Начальный	<i>Задания для проверки сформированности знаний:</i>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>

	Свойства скалярного произведения.	Знает определение скалярного произведения. Выводит из определения доказательства свойств скалярного произведения. Приводит примеры.	Знает определение скалярного произведения. Испытывает сложность с доказательствам свойств скалярного произведения, но дает им определение. Приводит примеры.	Знает определение скалярного произведения. Формулирует свойства скалярного произведения. Не может вывести их из определения скалярного произведения.
	Свойства эрмитовых операторов.	Дает определение эрмитову оператору. описывает его свойства. Выводит основные математические формулы для эрмитовых операторов	Дает определение эрмитову оператору. описывает его свойства. Испытывает трудности с выводом основных математических формул для эрмитовых операторов.	Дает определение эрмитову оператору. описывает его свойства. Приводит (без вывода) основные математические формулы для эрмитовых операторов.
Промежуточный	<b>Задания для проверки сформированности умений:</b>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>
	Найти уровни энергии и вектора состояния одномерного гармонического осциллятора в постоянном внешнем поле $H = p^2/2m + kx^2/2 - Fx$ . Сравнить точный ответ с первой поправкой к осцилляторным уровням энергии, если внешнее поле рассматривается как возмущение.	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает математические приемы для получения точного решения гармонического осциллятора	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает математические приемы получения точного решения гармонического осциллятора	Понимает физику явления, указанного в условии задачи. Знает математические приемы получения точного решения гармонического осциллятора, но не может получить

		. Получает решение.	, но возникаю трудности с получением точного решения. Получает решение.	точное решение.
Доказать, что если $[\hat{A}, \hat{B}] = 1$ , то $[\hat{A}, \hat{B}^2] = 2\hat{B}$	Понимает математический аппарат квантовой теории, и записывает основные соотношения квантовой механики. Получает правильный ответ.	Понимает математический аппарат квантовой теории, но неуверенно записывает основные соотношения квантовой механики. Получает правильный ответ.	Понимает математический аппарат квантовой теории, и с трудом записывает основные соотношения квантовой механики. Получает неправильный ответ.	
<b>Задания для проверки сформированности знаний:</b>	<b>Высокий уровень (3 балла по каждому критерию)</b>	<b>Средний уровень (2 балла по каждому критерию)</b>	<b>Низкий уровень (1 балл по каждому критерию)</b>	
Знать основные положения волновой механики.	Знает основные положения волновой механики. Умеет правильно оценивать средние значения наблюдаемых физических величин.	Знает основные положения волновой механики. Умеет правильно оценивать средние значения наблюдаемых физических величин в основных частных случаях.	Знает основные положения волновой механики. Но не умеет оценивать средние значения наблюдаемых физических величин.	
Свободное движение релятивистского электрона.	Знает основные положения квантовой физики для свободного движения релятивистского электрона. Записывает	Знает основные положения квантовой физики для свободного движения релятивистского электрона. Записывает	Знает основные положения квантовой физики для свободного движения релятивистского электрона. Не может	

		и объясняет основные физические формулы.	и объясняет некоторые из основных физических формул.	объяснить основных физических формул.
--	--	--	--	---------------------------------------

## Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

### – планы практических (семинарских) занятий:

Семинар 1. Решение задач на тему «Исторические предпосылки создания квантовой механики».

Примеры задач:

Найти расщепление уровней энергии атома водорода в однородном магнитном поле  $\vec{H}$ .

Семинар 2. Решение задач на тему «Линейные операторы. Задача на собственные функции и собственные значения. Эрмитовы операторы и их свойства».

Примеры задач:

1. Доказать, что если  $[\hat{A}, \hat{B}] = 1$ , то  $[\hat{A}, \hat{B}^2] = 2\hat{B}$
2. Доказать, что если  $\hat{A}$  и  $\hat{B}$  эрмитовы и не коммутируют, то оператор  $i[\hat{A}, \hat{B}]$  - эрмитов.

Семинар 3. Решение задач на тему «Уравнение Шредингера. Уравнение непрерывности. Стационарное решение».

Примеры задач:

Найти уровни энергии в одномерной симметричной потенциальной яме:  
 $V(x) = -V_0$  при  $|x| < a$ ;  $V(x) = 0$  при  $|x| > a$ .

Семинар 4. Решение задач на тему «Соотношение неопределенности Гейзенберга».

Примеры задач:

Показать, что между размером участка  $\Delta x$ , в котором локализована группа волн и разбросом волновых векторов  $\Delta k$  группы волн существует соотношение  $\Delta x \cdot \Delta k \sim \pi$ .

Семинар 5. Решение задач на тему «Задача движения в поле центральных сил. Водородоподобный атом».

Примеры задач:

1. Рассчитать расщепление уровня атома водорода с  $n=2$  в слабом однородном электрическом поле.

Семинар 6. Решение задач на тему «Квантовый осциллятор. Спектр. Матричное представление.».

Примеры задач:

1. Найти уровни энергии и вектора состояния одномерного гармонического осциллятора в постоянном внешнем поле  $H = p^2/2m + kx^2/2 - Fx$ . Сравнить точный ответ с первой поправкой к осцилляторным уровням энергии, если внешнее поле рассматривается как возмущение.

Семинар 7. Решение задач на тему «Матричное представление квантовой механики. Эрмитовы матрицы. Унитарные матрицы и различные преобразования. Свойство унитарных матриц. Определение функции операторов.».

Примеры задач:

1. Показать, что если оператор  $A$  — скаляр, то  $\langle J'M' | A | JM \rangle = \delta_{JJ'} \delta_{MM'} \langle J | A | J \rangle$ , т.е. его матричные элементы диагональны, но  $J$  и  $M$  и не зависят от  $M$ .

Семинар 8. Решение задач на тему «Момент импульса. Правила коммутации. Собственные функции и собственные значения.».

Примеры задач:

3. Указать, между какими уровнями заряженного сферического гармонического осциллятора возможны электромагнитные переходы в дипольном приближении. Вычислить время жизни первого возбужденного состояния осциллятора в этом приближении.

Семинар 9. Решение задач на тему «Гейзенберговское представление. Гейзенберговское уравнение движения. Связь с уравнениями Гамильтона.».

Примеры задач:

1. Найти вероятность отражения частицы при прохождении над одномерным потенциальным барьером  $V(x) = V_0$  при  $|x| > a$ ;  $V(x) = 0$  при  $|x| < a$  (энергия частицы больше высоты барьера).

Семинар 10. Решение задач на тему «Законы сохранения и сохраняющиеся величины. Преобразования симметрии. Общие свойства преобразования. Понятие о теории групп и неприводимых представлениях.».

Примеры задач:

1. Найти вероятность перехода атома трития  $\text{H}^3$  из  $1s$  состояния в  $1s$  состояние иона  $\text{He}^{3+}$  при  $\beta$ -распаде одного из нейтронов ядра.

Семинар 11. Решение задач на тему «Стационарная теория возмущений (невыврожденный случай и с учётом вырождения).».

Примеры задач:

2. Двухуровневая система с состояниями  $|1\rangle$ ,  $|2\rangle$ , энергии которых есть  $\hbar\omega_1$ ,  $\hbar\omega_2$ , подвергается действию не зависящего от времени возмущения  $W$ . Вычислить вероятность обнаружить то или иное состояние в момент времени  $t$ , если в момент времени  $t=0$  система находилась в основном состоянии.

**– методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:**

1. Изучить рекомендуемую литературу.
2. Просмотреть задачи, разобранные на аудиторных занятиях.
3. Разобрать задачи, рекомендованные преподавателем для самостоятельного решения, используя, при необходимости, примеры решения аналогичных задач.
4. Обсудить проблемы, возникшие при решении задач с преподавателем.