

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 27.10.2023 15:15:00

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Введение в квантовую механику

Закреплена за подразделением Кафедра функциональных наносистем и высокотемпературных материалов

Направление подготовки 22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Квалификация **Инженер-исследователь**

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **3 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 108

в том числе:

аудиторные занятия 51

самостоятельная работа 57

Формы контроля в семестрах:
зачет с оценкой 4

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	4 (2.2)		Итого	
	Неделя 18			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	34	34	34	34
Практические	17	17	17	17
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	57	57	57	57
Итого	108	108	108	108

Программу составил(и):

к.ф.-.м.н., доц., Карпенков Дмитрий Юрьевич

Рабочая программа

Введение в квантовую механику

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-23_6-ПП.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра функциональных наносистем и высокотемпературных материалов

Протокол от г., №

Руководитель подразделения Кузнецов Денис Валерьевич

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Сформировать у студентов представления о квантовомеханических закономерностях, лежащих в основе современной физики и ее фундаментальных приложений.
-----	---

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.О
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Математика	
2.1.2	Органическая химия	
2.1.3	Химия	
2.1.4	Аналитическая геометрия	
2.1.5	Инженерная и компьютерная графика	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Введение в квантовую теорию твердого тела	
2.2.2	Дефекты кристаллической решетки	
2.2.3	Компьютеризация эксперимента	
2.2.4	Металловедение инновационных материалов	
2.2.5	Методы вычислительной физики	
2.2.6	Методы исследования материалов	
2.2.7	Планирование и организация научно-исследовательской работы	
2.2.8	Планирование научного эксперимента	
2.2.9	Теория поверхностных явлений	
2.2.10	Теория симметрии	
2.2.11	Техника физико-химического эксперимента	
2.2.12	Физика полупроводников	
2.2.13	Физические свойства кристаллов	
2.2.14	Электроника	
2.2.15	Защита интеллектуальной собственности и патентоведение	
2.2.16	Коррозия и защита металлов	
2.2.17	Метрология, стандартизация и технические измерения	
2.2.18	Механические свойства материалов	
2.2.19	Статистическая физика	
2.2.20	Физика металлов	
2.2.21	Физические свойства твердых тел	
2.2.22	Атомное строение фаз	
2.2.23	Компьютерная металлография	
2.2.24	Методы исследования структур и материалов. Часть 1	
2.2.25	Методы физико-химических исследований	
2.2.26	Научно-исследовательская работа	
2.2.27	Научно-исследовательская работа	
2.2.28	Научно-исследовательская работа	
2.2.29	Научно-исследовательская работа	
2.2.30	Основы физики поверхности	
2.2.31	Современные методы получения наночастиц и наноматериалов	
2.2.32	Физико-химия металлов и неметаллических материалов	
2.2.33	Физические основы деформации и разрушения	
2.2.34	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.35	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.36	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.37	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.38	Биофизика	
2.2.39	Материаловедение и технологии перспективных материалов	

2.2.40	Методы исследования характеристик и свойств материалов
2.2.41	Тензорные методы в кристаллофизике
2.2.42	Физические основы магнетизма и процессы перемагничивания материалов
2.2.43	Бионаномедицина
2.2.44	Математическое и компьютерное моделирование материалов и процессов
2.2.45	Оптические явления в кристаллах. Часть 1
2.2.46	Современные конструкционные материалы
2.2.47	Спектроскопические методы анализа поверхности
2.2.48	Физико-химия получения и обработки материалов
2.2.49	Физические свойства и функциональные явления в наноматериалах
2.2.50	Инновационные конструкционные материалы для медицины
2.2.51	Порошковая металлургия высокотемпературных и сверхтвердых материалов
2.2.52	Практическое применение методов анализа Big data
2.2.53	Применение лазерных систем
2.2.54	Современные материалы медицинского назначения
2.2.55	Физические методы исследования материалов
2.2.56	Цифровая электроника
2.2.57	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.58	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.59	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.60	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.61	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.62	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.63	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.64	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.65	Физико-химия получения и обработки высокотемпературных материалов

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-2: Способен к поиску и выбору сферы применения результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

Знать:

ПК-2-31 Основные положения квантовой механики, элементы теории представлений, решение простейших задач квантовой механики, основы теории атомов и молекул

ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя знания фундаментальных наук, методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания

Знать:

ОПК-1-31 Постулаты квантовой теории. Квантовую теорию гармонических колебаний. Общую теорию момента количества движения, включая спиновый. Основы релятивистской квантовой теории, основанной на уравнениях Клейна-Фока и Дирака.

ПК-2: Способен к поиску и выбору сферы применения результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

Уметь:

ПК-2-У1 Использовать математический аппарат квантовой механики в нерелятивистском и релятивистском случаях, физически интерпретировать квантовые процессы

ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя знания фундаментальных наук, методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания

Уметь:

ОПК-1-У1 Уметь находить аналитические решения задач квантовой теории. Уметь осуществлять математическую постановку задач квантовой теории, практически применять теоретические знания при решении физических задач. Уметь приобретать новые знания, используя современные образовательные информационные технологии.

ПК-2: Способен к поиску и выбору сферы применения результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

Владеть:

ПК-2-В1 Основными методами научных исследований, статистической обработкой экспериментальных данных с помощью современных информационных технологий

ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя знания фундаментальных наук, методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания

Владеть:

ОПК-1-В1 Математическим аппаратом для решения задач квантовой теории.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	Раздел 1. Физические основы квантовой теории.							
1.1	Эксперименты конца XIX – начала XX века и их интерпретация. Дуализм явлений микромира, дискретные свойства волн, волновые свойства частиц. Волновая функция. Принцип суперпозиций. Волны Де Бройля. Наблюдаемые и состояния. Чистые и смешанные состояния. Эволюция состояний и физических величин. Уравнение Шрёдингера. Уравнение непрерывности. Принцип соответствия. Соотношения между классической и квантовой механикой. Стационарное уравнение Шрёдингера. Общие свойства одномерного движения. Прохождение через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Гармонический осциллятор. Квазиклассическое движение. Правило квантования Бора-Зоммерфельда. /Лек/	4	6	ОПК-1-31 ПК-2-31	Л1.1 Л1.9 Л1.12Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.2			
1.2	Уравнение Шрёдингера. Уравнение непрерывности. Принцип соответствия. Предельный переход к классической механике. Стационарное уравнение Шрёдингера. Частица в однородной бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме. Прохождение через потенциальный барьер. Гармонический осциллятор: энергетический спектр, собственные функции, матричные элементы, понижающий и повышающий операторы. /Пр/	4	3	ОПК-1-У1 ПК-2-У1	Л1.16 Л1.1 Л1.15Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.2			Р5

1.3	<p>Эксперименты конца XIX – начала XX века и их интерпретация. Волновая функция. Принцип суперпозиций. Волны Де Бройля. Уравнение Шрёдингера. Уравнение непрерывности. Принцип соответствия. Предельный переход к классической механике. Стационарное уравнение Шрёдингера. Частица в однородной бесконечно глубокой прямоугольной потенциальной яме. Прохождение через потенциальный барьер. Туннельный эффект. Гармонический осциллятор: энергетический спектр, собственные функции, матричные элементы, понижающий и повышающий операторы. Квазиклассическое приближение. Правило квантования Бора-Зоммерфельда. /Ср/</p>	4	10	ОПК-1-В1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.16 Л1.9Л2.4 Л2.5 Л2.6Л3.2			
	Раздел 2. Математический аппарат квантовой теории.							

2.1	<p>Линейные операторы и их свойства. Собственные значения и собственные функции эрмитовых операторов.</p> <p>Ортонормированность и полнота собственных функций. Постулаты квантовой механики.</p> <p>Среднее значение физической величины.</p> <p>Операторы координаты, импульса, момента импульса. Оператор Гамильтона. Теория представлений. Операторы координаты и импульса в импульсном представлении.</p> <p>Унитарные преобразования. Принцип неопределенностей.</p> <p>Понятие о полном наборе наблюдаемых.</p> <p>Дифференцирование операторов по времени.</p> <p>Квантовые скобки Пуассона. Интегралы движения. Теоремы Эренфеста. Представления при описании временной эволюции квантовой системы (Шредингера, Гайзенберга, представление взаимодействия).</p> <p>Обозначения Дирака. /Лек/</p>	4	6	ОПК-1-31 ПК-2-31	Л1.16 Л1.2 Л1.3Л2.2Л3. 2			
2.2	<p>Собственные значения и собственные функции эрмитовых операторов.</p> <p>Среднее значение физической величины.</p> <p>Операторы координаты, импульса, момента импульса. Оператор Гамильтона. Операторы координаты и импульса в импульсном представлении.</p> <p>Унитарные преобразования.</p> <p>Соотношение неопределенностей.</p> <p>Квантовые скобки Пуассона. Интегралы движения. /Пр/</p>	4	3	ОПК-1-У1 ПК-2-У1	Л1.16 Л1.1 Л1.14Л2.6Л3 .2			P1

2.3	<p>Линейные операторы и их свойства. Собственные значения и собственные функции эрмитовых операторов.</p> <p>Ортонормированность и полнота собственных функций. Постулаты квантовой механики.</p> <p>Среднее значение физической величины.</p> <p>Операторы координаты, импульса, момента импульса. Оператор Гамильтона.</p> <p>Понятие о представлении.</p> <p>Операторы координаты и импульса в импульсном представлении. Унитарные преобразования.</p> <p>Соотношение неопределенностей.</p> <p>Понятие о полном наборе наблюдаемых.</p> <p>Дифференцирование операторов по времени.</p> <p>Квантовые скобки Пуассона. Интегралы движения. Теоремы Эренфеста.</p> <p>Представления при описании временной эволюции квантовой системы (Шредингера, Гайзенберга, представление взаимодействия).</p> <p>Обозначения Дирака. /Ср/</p>	4	10	ОПК-1-В1 ПК-2-В1	Л1.2 Л1.3Л2.2 Л2.6Л3.2			
	Раздел 3. Движение в центрально-симметричном поле.							

3.1	<p>Перестановочные соотношения для операторов компонент момента импульса. Собственные функции и собственные значения операторов квадрата момента импульса и проекции момента на данное направление. Теория момента. Общая теория движения в центральном поле. Разделение переменных, радиальное уравнение Шрёдингера, асимптотическое поведение радиальной компоненты волновой функции. Свободное движение частицы с определенным значением момента импульса. Движение частицы в сферически симметричной яме. Ротатор. Атом водорода: энергетический спектр, собственные функции. /Лек/</p>	4	6	ОПК-1-31 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.1 Л1.7Л1.16 Л1.1 Л2.6Л3.2			
3.2	<p>Собственные функции и собственные значения операторов квадрата момента импульса и проекции момента на данное направление. Разделение переменных, радиальное уравнение Шрёдингера, асимптотическое поведение радиальной компоненты волновой функции. Свободное движение частицы с определенным значением момента импульса. Движение частицы в сферически симметричной яме. Ротатор. Атом водорода: энергетический спектр, собственные функции. /Пр/</p>	4	3	ОПК-1-У1 ПК-2-У1	Л1.16 Л1.1 Л1.14 Л1.15Л2.4Л3 .2			Р4

3.3	<p>Перестановочные соотношения для операторов компонент момента импульса. Собственные функции и собственные значения операторов квадрата момента импульса и проекции момента на данное направление. Сложение моментов импульса. Общая теория движения в центральном поле. Разделение переменных, радиальное уравнение Шрёдингера, асимптотическое поведение радиальной компоненты волновой функции. Свободное движение частицы с определенным значением момента импульса. Движение частицы в сферически симметричной яме. Ротатор. Атом водорода: энергетический спектр, собственные функции. /Ср/</p>	4	10	ОПК-1-В1 ПК-2-В1	Л1.16 Л1.1 Л1.1 Л1.11 Л1.14Л2.6Л3 .2			
	Раздел 4. Теория возмущений.							
4.1	<p>Теория возмущений для стационарных задач. Теория возмущений при наличии вырождения. Теория нестационарных возмущений. Эффекты Штарка и Зеемана. Общая теория переходов. Квантовые переходы в случае возмущений, изменяющихся со временем по гармоническому закону. Переходы в непрерывном спектре. Золотое правило Ферми. /Лек/</p>	4	4	ОПК-1-31 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.4Л2.4 Л2.5Л3.2			
4.2	<p>Теория возмущений для стационарных задач. Теория возмущений при наличии вырождения. Теория нестационарных возмущений. Эффекты Штарка и Зеемана. Общая теория переходов. Квантовые переходы в случае возмущений, изменяющихся со временем по гармоническому закону. Переходы в непрерывном спектре. Золотое правило Ферми. /Ср/</p>	4	10	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-У1 ПК-2-В1	Л1.2 Л1.4 Л1.10 Л1.11 Л1.15Л2.5Л3 .2			
	Раздел 5. Релятивистская квантовая механика.							

5.1	<p>Уравнение Клейна-Гордона-Фока. Уравнение Дирака. Релятивистская инвариантность. Плотность вероятности и поток вероятности в теории Дирака. Спин. Переход от уравнения Дирака к уравнению Паули. Спиновый магнитный момент электрона. Приближенное уравнение Дирака. Контактное и спин-орбитальное взаимодействия. Энергетический спектр релятивистской частицы. Тонкая структура спектра атома водорода. Лэмбовский сдвиг. Сверхтонкая структура уровней атома водорода. Решение уравнения Дирака для свободной частицы. Отрицательные энергии. Позитрон. Понятие об электрон-позитронном и электромагнитном вакууме. Аномальный магнитный момент электрона. /Лек/</p>	4	6	ОПК-1-31 ПК-2-31	Л1.5 Л1.6 Л1.8Л2.4Л3. 2			
5.2	<p>Уравнение Клейна-Гордона-Фока. Уравнение Дирака. Плотность вероятности и поток вероятности в теории Дирака. Спин частиц, описываемых уравнением Дирака. Приближенное уравнение Дирака. Сверхтонкая структура уровней атома водорода. Решение уравнения Дирака для свободной частицы. /Пр/</p>	4	4	ОПК-1-У1 ПК-2-У1	Л1.5 Л1.6Л2.6Л3. 2			

5.3	<p>Уравнение Клейна-Гордона-Фока. Уравнение Дирака. Релятивистская инвариантность. Плотность вероятности и поток вероятности в теории Дирака. Спин частиц, описываемых уравнением Дирака. Переход от уравнения Дирака к уравнению Паули. Спиновый магнитный момент электрона. Приближенное уравнение Дирака. Контактное и спин-орбитальное взаимодействия. Энергетический спектр релятивистской частицы. Тонкая структура спектра атома водорода. Лэмбовский сдвиг. Сверхтонкая структура уровней атома водорода. Решение уравнения Дирака для свободной частицы. Отрицательные энергии. Позитрон. Понятие об электрон-позитронном и электромагнитном вакууме. Аномальный магнитный момент электрона. /Ср/</p>	4	6	ОПК-1-В1 ПК-2-В1	Л1.1 Л1.5 Л1.6 Л1.8Л2.4Л3. 2			
	Раздел 6. Основы квантовой теории многих частиц.							
6.1	<p>Принцип тождественности одинаковых частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции, связь со спином частиц. Принцип Паули. Приближенные методы исследования систем, состоящих из многих тождественных частиц. Понятие о методе самосогласованного поля. Атом. Периодическая система элементов Менделеева. Химическая связь, молекулы. Вторичное квантование, системы с неопределенным числом частиц. Квантование электромагнитного поля. /Лек/</p>	4	6	ОПК-1-31 ПК-2-31	Л1.1 Л1.1 Л1.12Л2.5Л3 .2			

6.2	Принцип Паули. Приближенные методы исследования систем, состоящих из многих тождественных частиц. Понятие о методе самосогласованного поля. Атом гелия. Строение сложных атомов. Валентность. Движение электрона в периодическом поле. Представление вторичного квантования. /Пр/	4	4	ОПК-1-У1 ПК-2-У1	Л1.16 Л1.1 Л1.14Л2.4Л1 .1 Л3.2 Л1.1		КМ1	
6.3	Принцип неразличимости тождественных частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции, связь со спином частиц. Принцип Паули. Приближенные методы исследования систем, состоящих из многих тождественных частиц. Понятие о методе самосогласованного поля. Атом гелия. Строение сложных атомов. Периодическая система элементов Менделеева. Молекула водорода. Химическая связь. Валентность. Движение электрона в периодическом поле. Представление вторичного квантования. Основные идеи современной квантовой теории поля. /Ср/	4	11	ОПК-1-В1 ПК-2-В1	Л1.16 Л1.11 Л1.12 Л1.13Л2.4Л3 .2			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Дифф.зачет	ОПК-1-31	<p>1. Место квантовой механики в физике. Экспериментальные данные, приведшие к созданию квантовой механики. Гипотеза де Бройля. Волны де Бройля. Корпускулярно-волновой дуализм.</p> <p>2. Волновая функция. Принцип суперпозиции. Разложение волновой функции по плоским волнам де Бройля. Волновые пакеты. Групповая и фазовая скорость. Расплывание пакета.</p> <p>3. Статистическая интерпретация волновой функции по Борну. Естественные условия, налагаемые на волновую функцию. Волновая функция в координатном и импульсном представлениях.</p> <p>4. Описание физических величин операторами. Общие свойства операторов, алгебра операторов. Операторы координаты и импульса в координатном и импульсном представлениях. Оператор момента импульса. Операторы кинетической и потенциальной энергии, гамильтониан.</p> <p>5. Среднее значение физической величины в квантовой механике. Понятие оператора, эрмитово сопряженного к данному. Самосопряженные операторы. Вещественность средних значений физических величин.</p>

		<p>6. Средние значения операторов и среднеквадратичные отклонения от них. Собственные значения и собственные функции эрмитовых операторов и их свойства. Дискретный, непрерывный и смешанный спектры. Примеры нахождения собственных значений операторов p_x, M_z.</p> <p>7. Основные свойства собственных функций дискретного и непрерывного спектров. Нормировка волновой функции непрерывного спектра на delta-функцию. Условие ортонормированности.</p> <p>8. Повышающие и понижающие операторы момента. Нахождение спектра собственных функций и собственных значений операторов M_z и M^2 из коммутационных соотношений.</p> <p>9. Условие возможности одновременного точного измерения нескольких физических величин в одном состоянии системы. Определение волновой функции (состояния) микрообъекта полным набором независимых физических величин, характеризующих внешние условия.</p> <p>10. Соотношение неопределенности для физических величин. Вывод соотношения неопределенности из аппарата квантовой механики.</p> <p>11. Уравнение Шредингера. Оператор Гамильтона. Стационарное уравнение Шредингера.</p> <p>12. Сохранение нормировки волновой функции. Плотность тока вероятности. Уравнение непрерывности. 13. Частица в прямоугольной яме бесконечной глубины.</p> <p>14. Гармонический осциллятор. Нулевая энергия. Матричные элементы координаты и импульса. Повышающие и понижающие операторы. Осциллятор в энергетическом представлении.</p> <p>15. Общая теория движения частицы в поле центральных сил. Сохранение момента импульса.</p> <p>16. Магнитный момент в квантовой механике. Магнетон Бора.</p> <p>17. Матричные элементы оператора момента M_x, M_y, M_z и квадрата момента M^2 в случае $l=1/2$.</p> <p>18. Движение в кулоновском поле. Водородоподобные атомы. Дискретный спектр. Учет движения ядра. Позитроний.</p> <p>19. Уравнение Шредингера в произвольном электромагнитном поле. Плотность тока вероятности во внешнем электромагнитном поле. Калибровочная инвариантность в квантовой механике.</p> <p>20. Изменение средних значений физических величин с течением времени. Оператор производной по времени от физической величины. Операторы скорости, ускорения, силы. Теорема Эренфеста. Интегралы движения.</p> <p>21. Метод теории возмущений в стационарных задачах с дискретным спектром. Теория возмущений при наличии вырождения.</p> <p>22. Расщепление спектральных линий в электрическом поле. Эффект Штарка.</p> <p>23. Ангармонический осциллятор.</p> <p>24. Влияние конечных размеров ядра на спектр атома водорода.</p> <p>25. Нестационарная теория возмущений.</p> <p>26. Движение в однородном поле сил. Функция Эйри.</p> <p>28. Переход от квантовой механики к классической. Квазиклассическое приближение в квантовой механике. Метод Вентцеля-Крамерса-Брилюэна. Волновая функция в ВКБ приближении. Сшивание волновой функции в ВКБ приближении.</p> <p>29. Прохождение частицы через потенциальный барьер. Парадоксальность явления с точки зрения классической физики. Правило квантования Бора-Зоммерфельда.</p> <p>30. Экспериментальное обоснование существования собственного момента импульса электрона. Опыты Штерна-Герлаха и Эйнштейна-де Гааза.</p> <p>31. Уравнение Шредингера для электрона в электромагнитном поле с учетом спина (уравнение Паули). Оператор спина. Матрицы Паули.</p> <p>32. Уравнение Шредингера для системы, состоящей из одинаковых частиц. Симметричные и антисимметричные волновые функции. Принцип Паули.</p> <p>33. Движение заряженной частицы в однородном постоянном</p>
--	--	--

			магнитном поле. Волновые функции и спектр энергии.
КМ2	Коллоквиум по квантовой электронике	ОПК-1-У1	1. Уравнение Шредингера с переменным внешним полем. Теория возмущения. 2. Вынужденные переходы. Золотое правило Ферми. 3. Спонтанные переходы. Коэффициенты Эйнштейна. 4. Лазеры. 5. Переходы в непрерывном спектре. Синхротронное излучение и лазер на свободных электронах.
КМ3	Коллоквиум по квантовой информатике	ОПК-1-31	1. Квантовая информация. 2. Кубиты. 3. Приготовление и преобразование состояний. 4. Криптография. Квантовое распределение ключа. 5. Парадокс ЭПР. Копенгагенская интерпретация квантовой механики. 6. Неравенства Белла. 7. Квантовая телепортация.
5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Практическая работа: Масштабы величин в квантовой механике	ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	Задача 1. Оценить характерный масштаб силы в атомной системе единиц Задача 2. Оценить характерный масштаб энергии Задача 3. Эффект Комптона Задача 4. Нахождение атомного масштаба электрического сопротивления Задача 5. Оценка характерного масштаба действия. Задача 6. Оценка характерного масштаба действия. Задача 7. Оценка масштаба длины.
P2	Рефераты по квантовой электронике.	ОПК-1-31	1. Уравнение Шредингера с переменным внешним полем. Теория возмущения. 2. Вынужденные переходы. Золотое правило Ферми. 3. Спонтанные переходы. Коэффициенты Эйнштейна. 4. Лазеры. 5. Переходы в непрерывном спектре. Синхротронное излучение и лазер на свободных электронах.
P3	Рефераты по квантовой информации.	ОПК-1-31;ОПК-1-В1	1. Квантовая информация. 2. Кубиты. 3. Приготовление и преобразование состояний. 4. Криптография. Квантовое распределение ключа. 5. Парадокс ЭПР. Копенгагенская интерпретация квантовой механики. 6. Неравенства Белла. 7. Квантовая телепортация.
P4	Практическая работа: Принцип неопределенности Гейзенберга.	ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	Задача 1. Оценить энергию основного состояния нейтрона, находящегося на непроницаемой горизонтальной плоскостью в поле тяжести Земли. Оценить высоту области пространственной локализации нейтрона в этом состоянии. Задача 2. Электрон находится в прямоугольной потенциальной яме $U(x)=-U_0$ при x меньше a и $U(x)=0$ при x больше a , с параметрами $a=3 \cdot E+8$ см и $U_0=10$ эВ. Оценить энергию основного состояния в такой системе. Задача 3. Электрон находится в плоской монохроматической стоячей электромагнитной волны с электрическим полем $E(x,t)=E \cos(kx) \cdot \cos(\omega t)$ с параметрами $E=1 \cdot E_3$ Гс, $\omega = 1,77 \cdot E_{15}$ с ⁻¹ . Определить эффективный потенциал медленного движения электрона и оценить для него борновский параметр.

P5	Практическая работа: Уравнение Шредингера	ОПК-1-У1;ПК-2-У1	Задача 1. Частица падает слева в потенциальном поле прямоугольной ступеньки: $U(x<0)=0, U(x>0)=U_0$. Для заданной энергии E нарисовать график зависимости коэффициента прохождения T от параметра $\beta=U_0/E$. Задача 2. Найти в импульсном представлении вид стационарного уравнения Шредингера для частицы в поле периодического потенциала $V(x+d)=V(x)$. Задача 3. Найти волновую функцию и значения энергии дискретного уровня для частицы в яме $U(x)=-q \cdot \delta(x)$, решая задачу в импульсном представлении. Задача 4. Найти вид волновых функций частицы в однородном поле $U(x)=Fx$ в импульсном представлении.
P6	Практическая работа: Движение в центрально-симметричном потенциале	ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	Задача 1. Определить уровни энергии сферического осциллятора (частица в поле $U(r)=m\omega^2 r^2/2$), кратности их вырождения, и возможные значения орбитального момента в соответствующих стационарных состояниях. Задача 2. Определить средний потенциал электрического поля, создаваемый атомом водорода в основном состоянии.

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзамен не предусмотрен

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

Выполнение каждого практического задания текущего контроля успеваемости может принести максимум 10 баллов, в итоге по результатам работы в семестре учащийся может набрать максимум 40 баллов. На промежуточной аттестации можно также набрать 60 баллов – 30 баллов максимум по итогам индивидуального собеседования и 30 баллов максимум за выполнение практического контрольного задания. Итоговая сумма, не меньшая 85, соответствует оценке «отлично», от 70 до 84 – оценке «хорошо», от 55 до 69 – оценке «удовлетворительно», меньшая 55 – оценке «неудовлетворительно».

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Ведринский Р. В.	Квантовая механика: учебник	Электронная библиотека	Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2009
Л1.2	Хермандер Л.	К теории общих дифференциальных операторов в частных производных	Электронная библиотека	Москва: Издательство иностранной литературы, 1959
Л1.3	Данфорд Н., Шварц Д. Т., Костюченко А. Г.	Линейные операторы	Электронная библиотека	Москва: Издательство иностранной литературы, 1962
Л1.4	Като Т., Маслов В. П.	Теория возмущений линейных операторов	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1972
Л1.5	Мэтьюс П.	Релятивистская квантовая теория взаимодействий элементарных частиц	Электронная библиотека	Москва: Издательство иностранной литературы, 1959
Л1.6	Бьёркен Д. Д., Дрелл С. Д.	Релятивистская квантовая теория	Электронная библиотека	Б.м.: б.и., 1978
Л1.7	Грашин А. Ф.	Квантовая механика	Электронная библиотека	Москва: Просвещение, 1974
Л1.8	Бьёркен Д. Д., Дрелл С. Д.	Релятивистская квантовая теория: монография	Электронная библиотека	Б.м.: б.и., 1978
Л1.9	Ферми Э.	Квантовая механика: конспект лекций: курс лекций	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1965
Л1.10	Байков Ю. А., Кузнецов В. М.	Квантовая механика: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.11	Иродов И. Е.	Квантовая физика: основные законы: учебное пособие	Электронная библиотека	Москва: Лаборатория знаний, 2017
Л1.12	Левич В. Г., Вдовин Ю. А., Мямлин В. А., Левич В. Г.	Т. 2: Квантовая механика. Квантовая статистика и физическая кинетика	Библиотека МИСиС	, 1971
Л1.13	Векилов Юрий Хоренович, Кузьмин Юрий Михайлович	Квантовая и статистическая физика: Учеб. пособие для семинар. и практ. занятий для студентов спец. 0406,0604,0629	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 1987
Л1.14	Елютин П. В., Кривченков В. Д.	Квантовая механика с задачами: сборник задач и упражнений	Электронная библиотека	Москва: Физматлит, 2001
Л1.15	Штыгашев А. А., Пейсахович Ю. Г.	Задачи по физике: электромагнетизм; электромагнитные волны; волновая и квантовая оптика; элементы квантовой физики и физики твердого тела; элементы ядерной физики: учебное пособие	Электронная библиотека	Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2019

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Крашенинин В. И., Газенаур Е. Г., Кузьмина Л. В.	Квантовая химия и квантовая механика в применении к задачам: учебное пособие	Электронная библиотека	Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2012
Л2.2	Кочетова Ю. В., Ширшова Е. Е.	Алгебра. Конечномерные пространства. Линейные операторы: курс лекций: курс лекций	Электронная библиотека	Москва: Московский педагогический государственный университет (МПГУ) Прометей, 2013
Л2.3	Серова Ф. Г., Янкина А. А.	Сборник задач по теоретической физике: квантовая механика, статистическая физика	Электронная библиотека	Москва: Просвещение, 1979
Л2.4	Бете Г.	Квантовая механика	Электронная библиотека	Москва: Мир, 1965
Л2.5	Рыдник В. И.	Что такое квантовая механика	Электронная библиотека	Москва: Советская Россия, 1963
Л2.6	Копытин И. В., Корнев А. С., Манаков Н. Л., Фролов М. В.	Квантовая теория: курс лекций: курс лекций	Электронная библиотека	Москва, Берлин: Директ-Медиа, 2018

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Шифф Л., Зайцев Г. А.	Квантовая механика	Электронная библиотека	Москва: Изд-во иностр. лит., 1959
Л3.2	Викулов С. В., Чечуев В. Я.	Репетитор по физике: квантовая механика: учебное пособие	Электронная библиотека	Новосибирск: Золотой колос, 2016
Л3.3	Матвеев А. Н.	Квантовая механика и строение атома	Электронная библиотека	Москва: Высшая школа, 1965

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Python
П.2	Microsoft Office

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	В процессе работы над курсом студенты могут использовать электронные учебные пособия, размещенные в сети интернет, а также книги электронной библиотечной системы.
И.2	http://elibrary.ru/ eLIBRARY – Научная электронная библиотека.
И.3	http://www.edu.ru - Каталог образовательных интернет-ресурсов.
И.4	http://ru.wikipedia.org - сетевая энциклопедия «Википедия».
И.5	http://www.college.ru - сайт, содержащий открытые учебники по
И.6	естественнонаучным дисциплинам.
И.7	http://www.edu.ru - Российское образование - Федеральный портал.
И.8	http://www.krugosvet.ru - сетевая энциклопедия «Кругосвет».

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Читальный зал электронных ресурсов		комплект учебной мебели на 55 мест для обучающихся, 50 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Зачет с оценкой проводится в конце семестра. На зачете оцениваются полученные теоретические и практические знания, их прочность, развитие творческого мышления, приобретение навыков самостоятельной работы, умение синтезировать полученные знания и применять их.

При этом при изучении теоретической физики очень важно посещать лекции и подробно записывать излагаемый на них материал. Это обусловлено тем, что в учебных пособиях не содержатся детальные математические преобразования. Стандартный метод изложения сводится, как правило, к замечаниям типа: «как нетрудно показать», «после несложных преобразований получим» и т.д. Однако, за этими так называемыми «несложными преобразованиями» обычно скрываются несколько страниц математических преобразований, прежде чем получится требуемый результат! Эту специфику учебных пособий необходимо иметь в виду. В процессе чтения лекций материал излагается доказательно, подробно, со всеми промежуточными выкладками. Присутствующий на лекции студент становится соучастником процесса получения всех основных физических результатов. Только таким способом, постигая шаг за шагом весьма непростые вопросы, можно понять логику дисциплины и её основное содержание. В процессе самостоятельной работы над курсом лекций необходимо уделить внимание основным понятиям, перечисленным в терминологическом минимуме по каждому разделу, и научиться самостоятельно выводить все главные формулы и уравнения. Подготовка к практическим занятиям предполагает работу с конспектом лекций и самостоятельное решение задач из домашних заданий.

В процессе подготовки к контрольной работе необходимо обратить внимание на вопросы, сформулированные в заданиях для самостоятельной работы, а также проанализировать решение типичных задач на практических занятиях.

При подготовке реферата необходимо использовать рекомендованную литературу, при этом следует обратить внимание на необходимость проведения подробных доказательств и выводов основных соотношений.