

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 12.05.2023 17:24:58

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

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144

в том числе:

аудиторные занятия 51

самостоятельная работа 93

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	93	93	93	93
Итого	144	144	144	144

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 02.04.2015 г. № 119 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

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.В.ДВ.02
<b>2.1</b>	<b>Требования к предварительной подготовке обучающегося:</b>	
2.1.1	Математика	
2.1.2	Органическая химия	
2.1.3	Информатика	
2.1.4	Химия	
2.1.5	Инженерная и компьютерная графика	
<b>2.2</b>	<b>Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:</b>	
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	Механические свойства материалов	
2.2.18	Научно-исследовательская работа	
2.2.19	Научно-исследовательская работа	
2.2.20	Научно-исследовательская работа	
2.2.21	Научно-исследовательская работа	
2.2.22	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.23	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.24	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.25	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.2.26	Статистическая физика	
2.2.27	Физика металлов	
2.2.28	Физические свойства твердых тел	
2.2.29	Атомное строение фаз	
2.2.30	Инженерия поверхности	
2.2.31	Материалы с особыми физическими свойствами	
2.2.32	Металловедение и термическая обработка металлов	
2.2.33	Методы исследования структур и материалов. Часть 1	
2.2.34	Методы исследования физических свойств полупроводниковых структур	
2.2.35	Методы получения наночастиц и наноматериалов	
2.2.36	Методы физико-химических исследований	
2.2.37	Наноструктурные термоэлектрики	
2.2.38	Основы компьютерной металлографии	
2.2.39	Основы физики поверхности	

2.2.40	Оформление результатов научной деятельности
2.2.41	Фазовые и структурные изменения при формировании материалов и эпитаксиальных структур
2.2.42	Физика прочности и механические свойства материалов
2.2.43	Физико-химия металлов и неметаллических материалов
2.2.44	Физические основы деформации и разрушения
2.2.45	Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 1. Магнитно-мягкие сплавы
2.2.46	Высокотемпературные материалы
2.2.47	Металловедение сварки
2.2.48	Методы исследования структур и материалов. Часть 2
2.2.49	Наноматериалы
2.2.50	Нормы и правила оформления ВКР
2.2.51	Основы магнетизма. Часть 2. Процессы перемагничивания материалов
2.2.52	Поверхностное модифицирование материалов и защитные покрытия
2.2.53	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.54	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.55	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.56	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.57	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.58	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.59	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.60	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.61	Спектрофотометрические методы оценки качества кристаллов
2.2.62	Специальные сплавы
2.2.63	Технология термической обработки
2.2.64	Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 2. Магнитно-твердые сплавы
2.2.65	Функциональные материалы электроники
2.2.66	Экстремальные технологии получения наноматериалов

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

#### **ПК-2: Способен участвовать в проведении экспериментов, расчетов и оформлении результатов исследований**

##### **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 участвовать в проведении экспериментов, расчетов и оформлении результатов исследований**

##### **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 участвовать в проведении экспериментов, расчетов и оформлении результатов исследований**

##### **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
	<b>Раздел 1. Физические основы квантовой теории.</b>							
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				
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				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	16	ОПК-1-В1 ПК-2-В1				
	<b>Раздел 2. Математический аппарат квантовой теории.</b>							

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.</p> <p>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				
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				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	16	ОПК-1-В1 ПК-2-В1			КМ2	
	<b>Раздел 3. Движение в центрально-симметричном поле.</b>							



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				
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				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	16	ОПК-1-В1 ПК-2-В1			КМ3	
	<b>Раздел 4. Теория возмущений.</b>							
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				
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	16	ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ПК-2-У1 ПК-2-В1				
	<b>Раздел 5. Релятивистская квантовая механика.</b>							

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				
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				

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	12	ОПК-1-В1 ПК-2-В1				
	<b>Раздел 6. Основы квантовой теории многих частиц.</b>							
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				

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			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	17	ОПК-1-В1 ПК-2-В1				

### 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;ПК-2-31	<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 <math>p_x, M_z</math>.</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 <math>M_z</math> и <math>M^2</math> 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 <math>M_x, M_y, M_z</math> и квадрата момента <math>M^2</math> в случае <math>l=1/2</math>.</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	ПК-2-В1;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;ПК-2-31	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.
<b>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)</b>			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Практическая работа: Масштабы величин в квантовой механике	ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ПК-2-У1;ПК-2-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;ПК-2-31	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 <sup>-1</sup> . Определить эффективный потенциал медленного движения электрона и оценить для него борновский параметр.

P5	Практическая работа: Уравнение Шредингера	ПК-2-В1;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 ядре $U(x)=-q \cdot \delta(x)$ , 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	ПК-2-В1;ПК-2-У1;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.)

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

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 6.1. Рекомендуемая литература

### 6.3 Перечень программного обеспечения

### 6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

## 7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Б-435	Учебная аудитория	комплект учебной мебели на 20 рабочих мест, рабочее место преподавателя с персональным компьютером, без доступа к ИТС «Интернет»

## 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Значительная роль в освоении курса отводится самостоятельной, внеаудиторной работе, которую следует выполнять на регулярной основе. При этом необходимо повторять и углублять понимание представленного на аудиторных занятиях материала, вдумчиво решая тестовые задания и задачи, подготовленные преподавателем.