


Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

**УТВЕРЖДЕНО**  
 решением Ученого совета ИФФВТ  
 от 16 июня 2020 г. протокол № 11/02-19-10  
 Председатель \_\_\_\_\_ (Хусаинов А.Ш.)  
*(подпись, расшифровка подписи)*



### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина:	<b>«Квантовая механика»</b>
Кафедра:	Радиофизики и электроники

Направление подготовки 03.03.03 – Радиофизика  
 Направление (профиль)

#### Твердотельная электроника и нанoeлектроника

Форма обучения очная \_\_\_ Очная  
очная, заочная, очно-заочная (указать только те, которые реализуются)

Дата введения в учебный процесс УлГУ: « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_ г.


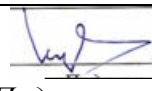
Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_ от \_\_\_ 20 \_\_\_ г.


Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_ от \_\_\_ 20 \_\_\_ г.

Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № \_\_\_ от \_\_\_ 20 \_\_\_ г.

Сведения о разработчиках:

ФИО	Кафедра	Должность, ученая степень, звание
Журавлев Виктор Михайлович	ТФ	Д.ф.-м.н.

СОГЛАСОВАНО	СОГЛАСОВАНО
Заведующий кафедрой, реализующей дисциплину	Заведующий выпускающей кафедрой
 Подпись _____ / <u>Учайкин В.В.</u> / ФИО «09 » 06 2020 г	 Подпись _____ / <u>Гурин Н.Т.</u> / ФИО «09 » 06 2020 г

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

### Цели освоения дисциплины:

- получение знаний и умений, необходимых для самостоятельного выполнения научных исследований во всех областях физики, связанных с атомами, молекулами, элементарными частицами и свойствами вещества

### Задачи освоения дисциплины:

- рассмотреть основные этапы возникновения представлений о физических явлениях на масштабах атомов и молекул;
- изучить основные идеи, постулаты и принципы, лежащие в основе квантовой теории;
- получить знания и навыки постановки основных физических задач, связанных с изучением квантовых явлений и явлений, в основе которых лежат свойства квантовых объектов;
- получить знания и умения решать основные задачи квантовой физики и навыки сопоставлять их наблюдаемым в эксперименте явлениям;
- ознакомить с современными представлениями в области квантовой физики.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «**Квантовая механика**» входит в вариативную часть ОПОП как обязательная дисциплина по направлению подготовки 01.04.02.

Индекс (Б1.В.ОД.3)

Рабочая программа по курсу «**Квантовая механика**» составлена в соответствии с Федеральными государственными образовательными стандартами ВО (уровень – подготовка кадров высшей квалификации) по соответствующему направлению ФГОС.


Входные знания, умения и компетенции, необходимые для изучения данного курса, формируются в процессе изучения таких дисциплин, как: «Общая физика», «Механика» и «Электродинамика» в общем курсе Теоретической физики, все математические курсы.

Дисциплина является предшествующей для прохождения курсов «Термодинамика» и «Статистическая физика», а также специальных курсов. Взаимосвязь курса с другими дисциплинами ОПОП способствует углубленной подготовке студентов к решению специальных практических профессиональных задач и формированию необходимых компетенций.

### Требования к входным знаниям, необходимым для освоения дисциплины:

#### *Студент должен знать:*

- Основные этапы развития физических представлений, связанных с возникновением квантовой теории.
- Основные идеи, постулаты и принципы квантовой теории, включая все основные ее составляющие такие, как операторное представление физических величин, вывод уравнения Шредингера для любых квантовых систем в стандартных физических полях, методы решения уравнения Шредингера для основных систем, теорию возмущений, основы квантовой теории излучения.
- Основные экспериментальные следствия квантовой теории.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

**Студент должен уметь:**

Системно излагать свои мысли в области квантовой теории:

- Уметь формулировать постановки задач в области квантовой теории, опираясь на классическую физику.
- Уметь применять стандартные методы решения квантовых задач к новым задачам, возникающим в процессе собственных исследований.
- Уметь сопоставлять полученные решения математических уравнений квантовой механики реальным системам, изучаемым в процессе собственных исследований.
- Уметь применять полученные знания на практике, работать самостоятельно.


**Студент должен владеть:**

- Навыками решения квантовых задач;
- Навыками обоснования и доказательства правильности выбора методов решения квантовых задач;
- Навыками и умением связывать найденные решения квантовых уравнений с реальными экспериментальными данными.
- Навыками использования научной, учебной и справочной литературы для поиска необходимой информации.

**3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ**

Изучение дисциплины в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика направлен на формирование следующих компетенций:

Код и наименование реализуемой компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций
<b>ОПК-1:</b> способность применять фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности;	<b>Знать:</b> основы квантовой механики, включая основные ее постулаты, вывод основных уравнений теоретического описания квантовых явлений и способы их упрощения в применении к конкретным физическим явлениям <b>Уметь:</b> решать уравнения квантовой физики, опираясь на основные математические методы и приближенные вычисления <b>Владеть:</b> навыками практического использования знаний для решения практических задач.
<b>ОПК-2:</b> способность использовать и адаптировать существующие математические методы и системы программирования для разработки и реализации алгоритмов решения прикладных задач;	<b>Знать:</b> основные точные математические методы решения квантовых задач, а также теорию возмущений, квазиклассическое приближение и другие приближенные методы. <b>Уметь:</b> использовать стандартные математические методы для решения конкретных физических задач, встречающихся в практической исследовательской деятельности. <b>Владеть:</b> навыками приближенного и точного решения квантовых задач

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

#### 4. ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего): 5 ЗЕ (180 часа)


4.2. Объем дисциплины по видам учебной работы (в часах)

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения: очная)		
	Всего по плану	В т.ч. по семестрам	
		6	7
1	2	3	4
Контактная работа обучающихся с преподавателем	-	-	-
Аудиторные занятия:	72	72	-
Лекции	18	18	-
практические и семинарские занятия	18	18	-
лабораторные работы (лабораторный практикум)	-	-	-
Самостоятельная работа	36	36	-
Текущий контроль (количество и вид: конт. работа, коллоквиум, реферат)	-	-	-
Виды промежуточной аттестации (экзамен, зачет)	Зачет, 36 (экзамен)	зачет	36 (экзамен)
ИТОГО	72	72	36


4.3. Содержание дисциплины (модуля.) Распределение часов по темам и видам учебной работы:

Форма обучения очная

Название и разделов и тем	Всего	Виды учебных занятий			Форма текущего контроля знаний
		Аудиторные занятия		Самостоятельная работа	
		Лекции	практические занятия		
1	2	3	4	5	6
<b>Раздел 1. Основные постулаты квантовой теории</b>					

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		


<b>Тема 1.</b> Основные эксперименты и принципы их объяснения, лежащие в основу квантовой теории на начальном этапе ее формирования.	2	1	1	10	
<b>Тема 2.</b> Основные постулаты квантовой теории и математическая форма их представления. Вычисление вероятностей обнаружить систему в состоянии с определенным значением динамической переменной	2	1	1	10	
<b>Тема 3.</b> Операторное представление физических величин. Принцип неопределенности Гейзенберга и алгебра Гейзенберга. Коммутирующие динамические переменные. Физический смысл коммутативности.		1	1		
<b>• Раздел 2. Стационарное уравнение Шредингера. Одномерные квантовые системы.</b>					
<b>Тема 4.</b> Закон сохранения энергии и уравнение Шредингера. Задачи состояниях квантовой частицы в одномерной яме. Граничные условия для волновой функции в одномерной яме. Прямоугольные ямы. Дельта-образный потенциал.	2	1	1		
<b>Тема 5.</b> Задачи с непрерывным спектром для одномерного движения квантовой частицы. Граничные условия для инфинитного движения квантовой частицы.	2	1	1		
<b>Раздел 3. Теория возмущений без вырождения</b>					
<b>Тема 6.</b> Теория возмущений для одномерных задач без вырождения. Вычисление поправок к энергии и волновым функциям.	2	1	2	10	
<b>Раздел 4. Нестационарное уравнение Шредингера</b>					
<b>Тема 7.</b> Нестационарное уравнение Шредингера. Полная производная по времени от операторов в представлении Шредингера. Теорема Зоммерфельда.	2	1	2		
<b>Тема 8.</b> Нестационарная теория возмущений. Вычисление вероятности перехода под действием внешних возмущений.		1	2		
<b>Раздел 5. Движение в трехмерном пространстве</b>					
<b>Тема 9.</b> Уравнение Шредингера для трехмерных систем. Аксиально и сферически симметричные по-		1	2		

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

тенциалы. Оператор орбитального момента и его свойства.					
<b>Тема 10.</b> Атом водорода		2	1		
<b>Тема 11.</b> Магнитный момент частицы в сферически симметричном атоме. Магнитное квантовое число.		2	1		
<b>Раздел 6. Движение в электромагнитном поле</b>					
<b>Тема 12.</b> Уравнение Шредингера для заряженной частицы в электромагнитном поле. Калибровочная инвариантность. Уравнение сохранения плотности вероятности. Оператор скорости для частицы в электромагнитном поле.		2	1	6	
<b>Тема 13.</b> Состояния частицы в однородном магнитном поле. Простой эффект Зеемана.		2	1		
<b>Тема 14.</b> Эффект Штарка для атома водорода и других атомов. Роль вырождения уровней энергии.		2	2		
<b>Раздел 7. Теория излучения</b>					
<b>Тема 15.</b> Полуэмпирическая теория излучения Эйнштейна. Спонтанные и вынужденные переходы. Формула Планка.		2	2		
<b>Тема 16.</b> Теория излучения в дипольном приближении. Вероятности переходов в переменном электромагнитном поле. Правила отбора.		2	2		
<b>Раздел 8. Теория спина</b>					
<b>Тема 17.</b> Формула Уленбека-Гоудсмитта. Описание состояний частицы со спином $\frac{1}{2}$ . Спиноры. Оператор спина.					
<b>Тема 18.</b> Уравнение Паули для частицы со спином $\frac{1}{2}$ . Частиц со спином $\frac{1}{2}$ в однородном магнитном поле.					
<b>Итого</b>	72	8	2		коллоквиум
<b>экзамен</b>		8	16	36	семинар
<b>ВСЕГО</b>			18	–	
	72	18			

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### Раздел 1. Основные постулаты квантовой теории

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

## **Тема 1. Основные эксперименты и принципы их объяснения, лежащие в основу квантовой теории на начальном этапе ее формирования**

Проблемы классической механики. Проблема излучения абсолютно черного тела. Формула Планка. Законы Столетова для внешнего фотоэффекта. Формула Эйнштейна для фотоэффекта. Эксперименты Резерфорда, Франка-Герца. Планетарная модель атома и законы Бора. Постулат Де Бройля. Эксперимент Томсона по дифракции электронов. Статистический постулат Борна. Эксперименты Эйнштейна-Де Гааза Штерна-Герлаха. Возникновение квантовой теории в трудах Гейзенберга и Шредингера.

## **Тема 2. Основные постулаты квантовой теории и математическая форма их представления. Вычисление вероятностей обнаружить систему в состоянии с определенным значением динамической переменной.**

Волновая функция и постулат Де Бройля. Статистический постулат Борна. Расширенный статистический постулат и принцип суперпозиции. Проекционный постулат и вычисление вероятностей найти систему в том или ином состоянии с фиксированным значением динамической переменной. Парадокс Шредингера черной кошки.

## **Тема 3. Операторное представление физических величин. Принцип неопределенности Гейзенберга и алгебра Гейзенберга.**

Линейные эрмитовы операторы и вычисление средних. Собственные функции и собственные числа эрмитовых операторов. Принцип неопределенности Гейзенберга. Одновременная измеримость динамических величин движения квантовой системы. Алгебра Гейзенберга. Теорема о коммутирующих операторах. Коммутирующие динамические переменные. Физический смысл коммутативности.

## **Раздел 2. Стационарное уравнение Шредингера. Одномерные квантовые системы.**

### **Тема 4. Закон сохранения энергии и уравнение Шредингера. Задачи состояниях квантовой частицы в одномерной яме.**

Состояния с фиксированным значением энергии и уравнение Шредингера. Граничные условия для состояний в яме. Постулат непрерывности волновой функции. Прямоугольные ямы. Дельта-образный потенциал. Гармонический осциллятор и лестничные операторы.


### **Тема 5. Задачи с непрерывным спектром для одномерного движения квантовой частицы.**

Формулировка задач с инфинитным движением квантовой частицы. Непрерывный спектр энергии и граничные условия на бесконечности. Непрерывность волновой функции. Полуинфинитное движение. Отражение от барьера. Коэффициенты отражения и прохождения. Туннельный эффект.

## **Раздел 3. Теория возмущений без вырождения**

### **Тема 6. Теория возмущений для одномерных задач без вырождения.**



Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

Приближенное решение задач квантовой теории. Теория возмущений. Формула для поправок энергии первого и второго порядка теории возмущений. Поправки к волновой функции. Примеры решения задач теории возмущений. Ангармонический осциллятор.

#### **Раздел. 4. Нестационарное уравнение Шредингера**

##### **Тема 7. Нестационарное уравнение Шредингера. Полная производная по времени от операторов в представлении Шредингера.**

Вычисление операторов скорости и ускорения для конкретных физических систем. Квантовое уравнение Ньютона и его связь со вторым законом Ньютона классической механики. Теорема Зоммерфельда. Квантовые поправки к усредненному потенциалу квантовой системы. Построение решений нестационарного уравнения Шредингера для простых потенциалов.

##### **Тема 8. Нестационарная теория возмущений.**

Вычисление вероятностей перехода для простых систем под действием изменяющегося со временем внешнего возмущения. Яма бесконечной. Возмущенный гармонический осциллятор. Определение правил отбора. Внезапные возмущения.

#### **Раздел. 5. Движение в трехмерном пространстве**

##### **Тема 9. Уравнение Шредингера для трехмерных систем. Оператор орбитального момента и его свойства.**

Свойства уравнений Шредингера в трехмерном пространстве. Трехмерная потенциальная яма. Граничные условия для трехмерной потенциальной ямы. Сферически симметричные потенциалы. Оператор орбитального момента. Коммутационные соотношения проекций орбитального момента. Собственные функции и собственные значения оператора орбитального момента. Лестничные операторы проекций орбитального момента.

##### **Тема 10. Атом водорода.**


Радиальное уравнение Шредингера для сферической ямы и атома водорода. Лестничные операторы для радиальной части уравнения Шредингера для сферической ямы и атома водорода. Вычисление собственных функций состояний с фиксированной энергией для атома водорода. Вычисление средних значений динамических переменных в состояниях с фиксированной энергией и их суперпозиций с помощью лестничных операторов.

##### **Тема 11. Магнитный момент частицы в сферически симметричном атоме. Магнитное квантовое число.**

Вычисление вероятностей и средних значений для различных состояний сферически симметричных систем. Сферический ротатор. Лестничные операторы орбитального момента и радиальной части уравнения Шредингера.

#### **Раздел. 6. Квантовая частица электромагнитном поле**



Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

### **Тема 12. Уравнение Шредингера для заряженной частицы в электромагнитном поле.**

Оператор Гамильтона заряженной частицы в электромагнитном поле. Операторы скорости и ускорения для частицы в электромагнитном поле. Вычисление квантового тока заряженной частицы. Калибровочная инвариантность. Уравнение Шредингера для частицы в электромагнитном поле.

### **Тема 13. Состояния частицы в однородном магнитном поле. Простой эффект Зеемана.**

Оператор Гамильтона заряженной частицы в постоянном магнитном поле. Вычисление спектра энергии частицы в однородном постоянном магнитном поле. Расщепление уровней в однородном магнитном поле. Теория возмущений и простой эффект Зеемана.

### **Тема 14. Эффект Штарка для атома водорода и других атомов.**

Оператор энергии заряженной частицы в однородном электрическом поле. Применение теории возмущений для исследования состояний частицы в однородном электрическом поле. Вычисление расщепления уровней и правила отбора. Различия в величине расщепления для атома водорода и других атомов. Роль случайного вырождения уровней атома водорода.

## **Раздел 7. Теория излучения**

### **Тема 15. Полуэмпирическая теория излучения Эйнштейна. Спонтанные и вынужденные переходы. Формула Планка.**

Радиационные и спонтанные переходы. Населенность атомных и молекулярных уровней. Вероятности радиационных и спонтанных переходов. Приближение детального равновесия и баланс числа переходов. Вывод формулы Планка. Интенсивность линий излучения. Возможность существования лазеров и мазеров.


### **Тема 16. Теория излучения в дипольном приближении. Вероятности переходов в переменном электромагнитном поле.**

Дипольное приближение. Матричные элементы дипольного момента. Теория возмущений для вычисления вероятностей перехода в дипольном приближении. Связь с полуэмпирической теорией Эйнштейна. Поляризация излучения. Квадрупольное и магнито-дипольное приближения.

## **Раздел 8. Теория спина**

### **Тема 17. Формула Уленбека-Гоудсмитта. Описание состояний частицы со спином $\frac{1}{2}$ .**

Формула Уленбека-Гоудсмитта. Описание состояний частицы со спином  $\frac{1}{2}$ . Оператор спина. Матрицы Паули. Общие принципы вычисления средних значений спина и других динамических переменных для состояний частиц со спином.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

## **Тема 18. Уравнение Паули для частицы со спином $\frac{1}{2}$ . Частиц со спином $\frac{1}{2}$ в однородном магнитном поле.**

Вывод уравнения Паули. Закон сохранения плотности вероятности. Квантовый ток частицы со спином. Общие принципы решения уравнения Паули для простых систем. Частица со спином в однородном магнитном поле.

## **6. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **Раздел 1. Основные постулаты квантовой теории**

#### **Тема 1. Основные эксперименты и принципы их объяснения, лежащие в основу квантовой теории на начальном этапе ее формирования**

(Форма проведения: практическое занятие) Волновая функция. Скалярное произведение в пространстве функций. Гильбертово пространство. Линейные операторы, действующие на гильбертовом пространстве. Оператор, сопряженный данному. Самосопряженные операторы и их свойства. Функции от операторов. Коммутатор операторов. Вычисление коммутаторов дифференциальных операторов.

#### **Тема 2. Основные постулаты квантовой теории и математическая форма их представления.**

(Форма проведения: практическое занятие) Собственные функции и собственные значения эрмитовых операторов. Вычисление средних значений для заданной собственной функции заданного оператора. Вычисление вероятностей обнаружить систему в состоянии с определенным значением динамической переменной.


#### **Тема 3. Операторное представление физических величин. Принцип неопределенности Гейзенберга и алгебра Гейзенберга.**

(Форма проведения: практическое занятие) Операторное изображение основных динамических переменных. Операторы координат, импульса, энергии и момента импульса. Собственные функции оператора импульса. Состояния с фиксированным значением импульса и энергии. Принцип суперпозиции и вычисление вероятностей различных значений динамической переменной в заданном квантовом состоянии. Коммутирующие динамические переменные. Физический смысл коммутативности.

### **Раздел 2. Стационарное уравнение Шредингера. Одномерные квантовые системы.**

#### **Тема 4. Закон сохранения энергии и уравнение Шредингера. Задачи состояниях квантовой частицы в одномерной яме.**

(Форма проведения: практическое занятие) Состояния с фиксированным значением энергии и уравнение Шредингера. Граничные условия для состояний в яме. Постулат непрерывности волновой функции. Вычисление спектра энергии бесконечно глубокой прямоугольной ямы. Яма конечной глубины. Дельта-образная яма. Гармонический осциллятор и лестничные операторы. Вычисление вероятностей и средних с помощью лестничных операторов. Плоский и сферический ротаторы.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

### **Тема 5. Задачи с непрерывным спектром для одномерного движения квантовой частицы.**

Формулировка задач с инфинитным движением квантовой частицы. Одномерная теория рассеяния. Граничные условия на бесконечности для инфинитного и полуинфинитного движения. Задача об отражении от энергетического барьера. Коэффициенты отражения и прохождения. Барьер конечной толщины. Туннельный эффект.

### **Раздел 3. Теория возмущений без вырождения**

#### **Тема 6. Теория возмущений для одномерных задач без вырождения.**

Применение теории возмущений к вычислению поправок к энергии уровней простых квантовых систем. Задача о малом искажении потенциала в бесконечно глубокой яме. Ангармонический осциллятор и поправки к его энергии.

### **Раздел 4. Нестационарное уравнение Шредингера**

#### **Тема 7. Нестационарное уравнение Шредингера. Полная производная по времени от операторов в представлении Шредингера.**

Вычисление операторов скорости и ускорения для конкретных физических систем. Квантовые поправки к усредненному движению квантовой частицы. Построение решений нестационарного уравнения Шредингера для простых потенциалов.

#### **Тема 8. Нестационарная теория возмущений.**

Вычисление вероятностей перехода для простых систем под действием изменяющегося со временем внешнего возмущения. Яма бесконечной. Возмущенный гармонический осциллятор. Определение правил отбора. Внезапные возмущения.


### **Раздел 5. Движение в трехмерном пространстве**

#### **Тема 9. Уравнение Шредингера для трехмерных систем. Оператор орбитального момента и его свойства.**

Свойства уравнений Шредингера в трехмерном пространстве. Трехмерная потенциальная яма. Граничные условия для трехмерной потенциальной ямы. Сферически симметричные потенциалы. Оператор орбитального момента. Коммутационные соотношения проекций орбитального момента. Собственные функции и собственные значения оператора орбитального момента. Лестничные операторы проекций орбитального момента.

#### **Тема 10. Атом водорода.**

Радиальное уравнение Шредингера для сферической ямы и атома водорода. Лестничные операторы для радиальной части уравнения Шредингера для сферической ямы и атома водорода. Вычисление собственных функций состояний с фиксированной энергией для атома водорода. Вычисление средних значений динамических переменных в состояниях с фиксированной энергией и их суперпозиций с помощью лестничных операторов.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

### **Тема 11. Магнитный момент частицы в сферически симметричном атоме. Магнитное квантовое число.**

Вычисление вероятностей и средних значений для различных состояний сферически симметричных систем. Сферический ротатор. Лестничные операторы орбитального момента и радиальной части уравнения Шредингера.

## **Раздел 6. Квантовая частица электромагнитном поле**

### **Тема 12. Уравнение Шредингера для заряженной частицы в электромагнитном поле.**

Оператор Гамильтона заряженной частицы в электромагнитном поле. Операторы скорости и ускорения для частицы в электромагнитном поле. Вычисление квантового тока заряженной частицы. Решение уравнения Шредингера для специальных случаев внешнего электромагнитного поля.

### **Тема 13. Состояния частицы в однородном магнитном поле. Простой эффект Зеемана.**

Оператор Гамильтона заряженной частицы в постоянном магнитном поле. Вычисление спектра энергии частицы в однородном постоянном магнитном поле. Расщепление уровней в однородном магнитном поле. Теория возмущений и простой эффект Зеемана. Вычисление операторов параметров движения частицы в магнитном поле.

### **Тема 14. Эффект Штарка для атома водорода и других атомов. Роль вырождения уровней энергии**

Оператор энергии заряженной частицы в однородном электрическом поле. Применение теории возмущений для исследования состояний частицы в однородном электрическом поле. Вычисление расщепления уровней и правила отбора.

## **Раздел 7. Теория излучения**


### **Тема 15. Полуэмпирическая теория излучения Эйнштейна. Спонтанные и вынужденные переходы. Формула Планка.**

Инверсия населенностей уровней. Радиационные и спонтанные переходы. Интенсивность линий излучения.

### **Тема 16. Теория излучения в дипольном приближении. Вероятности переходов в переменном электромагнитном поле.**

Вычисление вероятностей перехода для частицы в переменном электромагнитном поле. Дипольное приближение. Матричные элементы дипольного момента.

## **Раздел 8. Теория спина**

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

**Тема 17. Формула Уленбека-Гоудсмитта. Описание состояний частицы со спином  $\frac{1}{2}$ . Спиноры. Оператор спина.**

Формула Уленбека-Гоудсмитта. Описание состояний частицы со спином  $\frac{1}{2}$ . Оператор спина. Матрицы Паули. Вычисление спинов состояний с фиксированным значением проекции спина на оси координат. Вычисление средних значений спина на оси координат.

**Тема 18. Уравнение Паули для частицы со спином  $\frac{1}{2}$ . Частиц со спином  $\frac{1}{2}$  в однородном магнитном поле.**

Закон сохранения плотности вероятности. Квантовый ток частицы со спином. Вычисление состояний нейтральной частицы со спином в магнитных полях.

## 7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ, ПРАКТИКУМЫ

*Данный вид работы не предусмотрен.*


## 8. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ, КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ

*Данный вид работы не предусмотрен.*

## 9. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЗАЧЕТУ И ЭКЗАМЕНУ

### 9.1. Перечень вопросов к зачету (экзамену)

1. Принцип неопределенности Гейзенберга.
2. Что такое состояние с фиксированным импульсом и энергией?
3. Статистический постулат Борна
4. Задача о гармоническом осцилляторе. Оператор Гамильтона. Граничные условия. Спектр энергии.
5. Повышающий понижающий оператор в теории гармонического осциллятора. Волновые функции стационарных состояний гармонического осциллятора..
6. Оператор импульса, оператор момента импульса
7. Оператор, эрмитово-сопряженный заданному оператору. Определение.
8. Оператор энергии для заряженной частицы в магнитном поле
9. Каким граничным условиям удовлетворяет волновая функция в потенциальной яме.
10. Оператор кинетической энергии. Оператор полной энергии (оператор Гамильтона).
11. Граничные условия для волновой функции на бесконечности для инфинитного движения частицы.
12. Постулат Де Бройля
13. Производная по времени от оператора (в представлении Шредингера)
14. Стационарная теория возмущений в первом приближении без вырождения.
15. Оператор энергии частицы в однородном магнитном поле
16. Проекционный постулат. Вычисление вероятностей наблюдения значений динамической переменной в эксперименте.
17. Оператор ускорения частицы в потенциальном поле
18. Среднее значение динамической переменной для заданного состояния частицы
19. Граничные условия для волновой функции в центральном поле.


Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

20. Уравнение сохранения потока вероятности для одномерного движения в потенциальном поле
21. Атом водорода. Оператор Гамильтона. Граничные условия. Спектр энергии.
22. Повышающий понижающий оператор по орбитальному числу для атома водорода. Волновые функции для  $l=0$  и  $l=1$ .
23. Вероятность найти частицу в состоянии с заданной волновой функцией  $\Psi(x)$  с различными значениями энергии
24. Оператор проекции орбитального момента на ось  $z$ . Собственные функции.
25. Свойства волновых функций и собственных значений эрмитовых операторов.
26. Уравнение сохранения потока вероятности для движения частицы в магнитном поле
27. Нестационарная теория возмущений. Формула вероятности перехода с уровня на уровень.
28. Полуэмпирическая теория излучения Эйнштейна. Коэффициенты Эйнштейна.
29. Повышающий понижающий оператор по орбитальному числу. Волновые функции для  $l=0$  и  $l=1$ .
30. Оператор квадрата орбитального момента и его собственные функции.
31. Граничные условия для частицы в  $\delta$ -образной яме.
32. Свойства коммутирующих операторов.
33. Принцип суперпозиции.
34. Одномерная бесконечно глубокая яма. Оператор Гамильтона. Собственные функции спектр энергии.
35. Матрицы Паули. Оператор спина.
36. Уравнение Паули для электрона в магнитном поле
37. Спин. Формула Уленбека-Гоудсмита. Описание спиновых состояний.

## 10. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩИХСЯ


Форма обучения очная

Название разделов и тем	Вид самостоятельной работы (проработка учебного материала, решение задач, реферат, доклад, контрольная работа, подготовка к сдаче зачета, зачета и др.)	Объем в часах	Форма контроля (проверка решения задач, реферата и др.)
<b>Тема 1.</b> Основные эксперименты и принципы их объяснения, лежащие в основу квантовой теории на начальном этапе ее формирования.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	5	Проверка решения задач
<b>Тема 2.</b> Основные постулаты квантовой теории и математическая форма их представления. Вычисление вероятностей обнаружить систему в состоянии с определенным значением динамической переменной	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	5	Проверка решения задач

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

<b>Тема 3.</b> Операторное представление физических величин. Принцип неопределенности Гейзенберга и алгебра Гейзенберга. Коммутирующие динамические переменные. Физический смысл коммутативности.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	10	Проверка решения задач
<b>Тема 4.</b> Закон сохранения энергии и уравнение Шредингера. Задачи состояниях квантовой частицы в одномерной яме. Граничные условия для волновой функции в одномерной яме. Прямоугольные ямы. Дельта-образный потенциал.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	5	Проверка решения задач
<b>Тема 5.</b> Задачи с непрерывным спектром для одномерного движения квантовой частицы. Граничные условия для инфинитного движения квантовой частицы.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	5	Проверка решения задач
<b>Тема 6.</b> Теория возмущений для одномерных задач без вырождения. Вычисление поправок к энергии и волновым функциям.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	10	Проверка решения задач
<b>Тема 7.</b> Нестационарное уравнение Шредингера. Полная производная по времени от операторов в представлении Шредингера. Теорема Зоммерфельда.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	5	Проверка решения задач
<b>Тема 8.</b> Нестационарная теория возмущений. Вычисление вероятности перехода под действием внешних возмущений.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	10	Проверка решения задач
<b>Тема 9.</b> Уравнение Шредингера для трехмерных систем. Аксиально и сферически симметричные потенциалы. Оператор орбитального момента и его свойства.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	10	Проверка решения задач
<b>Тема 10.</b> Атом водорода	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	10	Проверка решения задач




Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

<b>Тема 11.</b> Магнитный момент частицы в сферически симметричном атоме. Магнитное квантовое число	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	5	Проверка решения задач
<b>Тема 12.</b> Уравнение Шредингера для заряженной частицы в электромагнитном поле. Калибровочная инвариантность. Уравнение сохранения плотности вероятности. Оператор скорости для частицы в электромагнитном поле.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	10	Проверка решения задач
<b>Тема 13.</b> Состояния частицы в однородном магнитном поле. Простой эффект Зеемана.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	5	Проверка решения задач
<b>Тема 14.</b> Эффект Штарка для атома водорода и других атомов. Роль вырождения уровней энергии.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	5	Проверка решения задач
<b>Тема 15.</b> Полуэмпирическая теория излучения Эйнштейна. Спонтанные и вынужденные переходы. Формула Планка.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	5	Проверка решения задач
<b>Тема 16.</b> Теория излучения в дипольном приближении. Вероятности переходов в переменном электромагнитном поле. Правила отбора.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	5	Проверка решения задач
<b>Тема 17.</b> Формула Уленбека-Гюудсмита. Описание состояний частицы со спином $\frac{1}{2}$ . Спиноры. Оператор спина.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	5	
<b>Тема 18.</b> Уравнение Паули для частицы со спином $\frac{1}{2}$ . Частиц со спином $\frac{1}{2}$ в однородном магнитном поле.	Проработка учебного материала. Подготовка к сдаче зачета (экзамена)	5	
<b>ИТОГО</b>		36	

## 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) Список рекомендуемой литературы

**основная литература:**

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		


1. Ведринский, Р. В. Квантовая механика : учебник / Р. В. Ведринский. — Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета, 2009. — 384 с. — ISBN 978-5-9275-0706-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/46976.html>
2. Ландау Л.Д., Теоретическая физика: Т. III. Квантовая механика (нерелятивистская теория) : Учеб. пособ.: Для вузов. / Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. - 5-е изд., стереот. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. - 808 с. - ISBN 5-9221-0057-2 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922100572.html>
3. Трясучёв, В. А. Квантовая механика для студентов технических вузов : учебное пособие / В. А. Трясучёв. — Томск : Томский политехнический университет, 2017. — 156 с. — ISBN 978-5-4387-0746-2. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/84014.html>

#### дополнительная литература

1. Ефремов, Ю. С. Квантовая механика : учебное пособие для вузов / Ю. С. Ефремов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 458 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-04975-6. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://www.biblio-online.ru/bcode/438848>
2. Балашов, В. В. Курс квантовой механики / В. В. Балашов, В. К. Долинов. — Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2001. — 336 с. — ISBN 5-93972-077-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/16546.html>
3. Толмачев, В. В. Основы квантовой механики : учебное пособие / В. В. Толмачев, А. А. Федотов, С. В. Федотова. — Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, 2005. — 240 с. — ISBN 5-93972-446-9. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/16586.html>
4. Магазинников, А. Л. Введение в квантовую механику : учебное пособие / А. Л. Магазинников, В. А. Мухачев. — Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. — 112 с. — ISBN 978-5-4332-0046-3. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/13860.html>
5. Грищенко, И. В. Обучающие тесты по физике. Часть 3. Молекулярная Физика. Основы квантовой механики. Атомная физика. Физика твердого тела. Ядерная физика : практикум для самостоятельной работы студентов / И. В. Грищенко, Т. Ю. Пинегина. — Новосибирск : Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2009. — 51 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/55453.html>

#### б) учебно-методическая литература

1. Квантовая теория : метод. пособие / В. М. Журавлев, В. В. Учайкин ; УлГУ, Физ.-техн. фак. - Ульяновск : УлГУ, 1999. - 26 с.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф - Рабочая программа по дисциплине		

Согласовано:

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
 Должность сотрудника научной библиотеки / ФИО / подпись / дата

### в) Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы:

Электронно-библиотечные системы:

1.1. IPRbooks [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система / группа компаний Ай Пи Эр Медиа. – Электрон. дан. – Саратов, [2019]. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru>.

1.2. ЮРАЙТ [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система / ООО Электронное издательство ЮРАЙТ. – Электрон. дан. – Москва, [2019]. – Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.

1.3. Консультант студента [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система / ООО Политехресурс. – Электрон. дан. – Москва, [2019]. – Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/pages/catalogue.html>.

1.4. Лань [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система / ООО ЭБС Лань. – Электрон. дан. – С.-Петербург, [2019]. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com>.

1.5. Znanium.com [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система / ООО Знаниум. – Электрон. дан. – Москва, [2019]. – Режим доступа: <http://znanium.com>.

2. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: справочная правовая система / Компания «Консультант Плюс». – Электрон. дан. – Москва : КонсультантПлюс, [2019].

3. База данных периодических изданий [Электронный ресурс] : электронные журналы / ООО ИВИС. – Электрон. дан. – Москва, [2019]. – Режим доступа: <https://dlib.eastview.com/browse/udb/12>.

4. Национальная электронная библиотека [Электронный ресурс]: электронная библиотека. – Электрон. дан. – Москва, [2019]. – Режим доступа: <https://нэб.рф>.

5. Электронная библиотека диссертаций РГБ [Электронный ресурс]: электронная библиотека / ФГБУ РГБ. – Электрон. дан. – Москва, [2019]. – Режим доступа: <https://dvs.rsl.ru>.

6. Федеральные информационно-образовательные порталы:

6.1. Информационная система Единое окно доступа к образовательным ресурсам. Режим доступа: <http://window.edu.ru>.

6.2. Федеральный портал Российское образование. Режим доступа: <http://www.edu.ru>.

7. Образовательные ресурсы УлГУ:

7.1. Электронная библиотека УлГУ. Режим доступа : <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>.

7.2. Образовательный портал УлГУ. Режим доступа : <http://edu.ulsu.ru>

Согласовано:

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_  
 Должность сотрудника УИТиТ / ФИО / подпись / дата

## 12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Аудитории для проведения лекций, семинарских занятий, для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации.

Аудитории укомплектованы специализированной мебелью, учебной доской. Аудитории для проведения лекций оборудованы мультимедийным оборудованием для предоставления информации большой аудитории. Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и

