

**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)  
УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по направлению 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника и Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:  
Директор  
  
**А.А. Саркисян**  
**«21» июля 2023г.**

**Инженерно-физический институт**

**Кафедра Общей физики и квантовых наноструктур**

*Автор(ы): д.ф.-м.н., профессор Саркисян Айк Араевич*

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС**

**Дисциплина: Б1.О.12 «Квантовая механика»**

**Направление: 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника»**

## 1. Аннотация

1.1. **Выписка из ФГОС ВО РФ по минимальным требованиям к дисциплине** – данный курс является специальным и не включен в ФГОС ВО РФ.

1.2. Программа курса «Квантовая механика» является основой для изучения курса Статистическая физика, а также специальных предметов Квантовая физика твердого тела, Физика наноструктур.

1.3. Для прохождения данного курса студент должен:

**Знать:** математический анализ, аналитическую геометрия и высшую алгебру, основы векторного и тензорного анализа, дифференциальные и интегральные уравнения, методы математической физики, основы квантовой физики в рамках курса Физика 4, молекулярной физики, электромагнетизма и оптики.

**Уметь:** применять эти знания при решении задач.

**Владеть:** методами физического мышления.

## 2. *Содержание*

### 2.1. Цели и задачи дисциплины.

Цели и задачи изучения курса - получение студентами знаний основных концепций квантовой механики.

### 2.2. После прохождения дисциплины студент должен:

В результате изучения дисциплины студенты должны

**Знать:** фундаментальные принципы современной квантовой теории в их последовательной формулировке;

**Уметь:** использовать методы проведения квантово-механических расчетов применительно к разнообразным физическим задачам;

**Владеть** навыками: ставить и решать задачи о вычислении спектров физических величин, таких как энергия, импульс, момент импульса, определять их средние значения и дисперсию, находить распределения вероятности, оценивать вероятность квантово-механических переходов в модельных физических системах.

### 2.3 *Взаимосвязь с другими дисциплинами специальности:*

Механика и молекулярная физика, Электричество и магнетизм, Оптика, Атомная физика, Теоретическая механика и электродинамика, Квантовая теория твердого тела, Математический анализ, Аналитическая геометрия и линейная алгебра, Методы математической физики.

### 3. Объем дисциплины и виды учебной работы

<b>Виды учебной работы</b>	<b>Всего, в акад. часах</b>
<b>1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:</b>	<b>252 / 7 кр.</b>
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	<b>102</b>
1.1.1. Лекции	<b>68</b>
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	<b>34</b>
1.1.2.1. Контрольные работы	
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	<b>114</b>
1.2.1. Подготовка к экзаменам	
1.2.1.1. Письменные домашние задания	
1.3. Консультации	
Итоговый контроль ( <b>экзамен</b> , зачет, диф. зачет - указать)	<b>Экзамен 36</b>

#### 4. Распределение весов по модулям и формам контроля

Веса и формы контролей	Веса форм текущих контролей в результирующей оценке текущего контроля			Веса форм промежуточных контролей и результирующей оценки текущего контроля в итоговой оценке промежуточного контроля			Веса итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточного контроля	Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
<b>Вид учебной работы/контроля</b>								
Контрольная работа				0	0,5	0,5		
Тест								
Курсовая работа								
Лабораторные работы								
<b>Письменные домашние задания</b>	0	0,5	0,5					
Эссе								
<b>Устный опрос</b>	0	0,5	0,5					
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках соответствующих промежуточных контролей				0	0,5	0,5		
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0,5	
Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей т.д.							0,5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0,5
<b>Экзамен/зачет (оценка итогового контроля)</b>								0,5
	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

## 5.1 Тематический план и трудоемкости аудиторных занятий

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции(ак. часов)	Практ. занятия (ак. часов)	Семина-ры (ак. часов)	Лабор. (ак. часов)	Другие виды занятий (ак. часов)
1	2=3 +4+ 5+6 +7	3	4	5	6	7
<b>МОДУЛЬ 1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ</b>						
<b>Введение</b>						
<b>Раздел 1. Основные положения квантовой механики.</b>						
Тема 1. Пределы точности измерений.						
Тема 2. Принцип суперпозиции.						
Тема 3. Математический аппарат квантовой механики.						
Тема 4. Постулаты квантовой механики.						
Тема 5. Уравнение непрерывности.						
Тема 6. Стационарные состояния.						
Тема 7. Одномерное движение.						
Тема 8. Соотношение неопределенностей						
Тема 9. Предельный переход к классической механике.						
Тема 10. Оператор момента импульса.						
Тема 11. Частица в электромагнитном поле.						
<b>МОДУЛЬ 2 КОНКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ</b>						
<b>Раздел 2. Квантовая механика конкретных систем.</b>						
Тема 12. Гармонический осциллятор.						
Тема 13. Движение в центральном поле.						
Тема 14. Атом водорода.						
Тема 15. Теория возмущений для стационарных задач, невырожденный случай.						
Тема 16. Теория возмущений для стационарных задач, вырожденный случай.						
Тема 17. Теория рассеяния.						
Тема 18. Теория нестационарных возмущений.						
Тема 19. Квантовая теория дисперсии.						
<b>Раздел 3. Спин. Системы тождественных частиц.</b>						
Тема 20. Спин электрона.						
Тема 21. Тождественность микрочастиц.						
<i><b>ИТОГО</b></i>						

## 5.2 Содержание разделов и тем дисциплины

### МОДУЛЬ 1

#### **Раздел 1. Основные положения квантовой механики.**

*Тема 1. Пределы точности измерений.* Основное предположение современного естествознания о том, что свойства вещества однозначно определяются поведением составных частей. Несостоятельность этого предположения в случае отсутствия предела делимости материи. Проблема процесса измерения как сравнения одного объекта с другим (стандартом). Уменьшении размеров стандартного объекта как единственная возможность повышения точности измерения. Наличие предела делимости как причина невозможности бесконечного повышения точности измерений. Неизбежность возмущения состояния измеряемого объекта в процессе измерения. Возможность пренебрежения этим возмущением как критерий классичности системы. (Дирак, Принципы квантовой механики).

*Тема 2. Принцип суперпозиции.* Противоречие между корпускулярным и волновым описанием света. Невозможность объяснения явлений интерференции или дифракции в рамках корпускулярных представлений. Невозможность объяснения фотоэффекта и эффекта Комптона на основе волновых представлений. Опыты с предельно слабыми пучками света: опыт Юнга, прохождение света через поляризатор. Необходимость новой системы законов природы для объяснения результатов этих опытов и устранения корпускулярно-волнового противоречия. Невозможность предсказания результата однократного опыта с одним отдельным фотоном. Вероятностный характер предсказаний результатов опыта в квантовом мире. Принцип суперпозиции состояний как новый закон природы. (Дирак, Принципы квантовой механики).

*Тема 3. Математический аппарат квантовой механики.* Понятие оператора. Линейные операторы. Эрмитовы операторы. Представление операторов матрицами. Собственные функции и собственные значения эрмитовых операторов, их свойства: ортогональность и полнота системы собственных функций, действительность собственных значений. Произведение двух операторов, его эрмитовое сопряжение. Теорема о коммутирующих операторах. (Ферми, Лекции по квантовой механике.)

*Тема 4. Постулаты квантовой механики.* Первый постулат: уравнение Шредингера, волновая функция. Второй постулат: физический смысл волновой функции и вытекающие из него математические требования, накладываемые на волновую функцию. Третий постулат: описание физических величин с помощью эрмитовых операторов. Четвертый постулат: постулат о разложении любой функции по собственным функциям эрмитова оператора и о смысле коэффициентов разложения. Примеры эрмитовых операторов: оператор кинетической энергии, оператор Гамильтона. (Барабанов, Квантовая механика, часть 1)

*Тема 5. Уравнение непрерывности.* Вывод уравнения непрерывности из УШ. Плотность потока вероятности, ее свойства в случае различных волновых функций: действительная волновая функция, волновая функция свободной частицы. Оператор импульса.

*Тема 6. Стационарные состояния.* Разделение переменных в УШ в случае, когда потенциальная энергия не зависит от времени. Стационарное УШ. Свойства стационарных состояний. Два типа задач и два типа волновых функций, нормировка на единицу и нормировка на единичный поток. (Мартинсон, Смирнов. Квантовая физика).

*Тема 7. Одномерное движение.* Одномерная потенциальная яма конечной глубины. Волновые функции дискретного спектра и непрерывного спектра. (Абаренков, Загуляев. Простейшие модели в квантовой механике). Общие свойства одномерного движения, примеры: осциллятор, потенциальная яма. Осцилляционная теорема. (Ландау, Квантовая механика).

*Тема 8. Соотношение неопределенностей.* Вывод соотношения неопределенностей для произвольных эрмитовых операторов из УШ. Примеры: координата-импульс, угол-момент импульса. Некоторые применения соотношения неопределенностей. (Барабанов, Квантовая механика, часть 1)

*Тема 9. Предельный переход к классической механике.* Формальный предельный переход в УШ при стремлении к нулю постоянной Планка, уравнение Гамильтона-Якоби. Опτικο-механическая аналогия: волновая оптика-квантовая механика, лучевая (геометрическая оптика) оптика – классическая механика. Квазиклассическое приближение, обоснование предельного перехода к классической механике. Свойства квазиклассических волновых функций.

*Тема 10. Оператор момента импульса.* Определение оператора момента импульса. Коммутационные соотношения для компонент и для квадрата оператора момента. Оператор квадрата момента в сферических координатах, его собственные функции - сферические функции. Отогональность и полнота сферических функций. Оператор кинетической энергии в сферических координатах.

*Тема 11. Частица в электромагнитном поле.* Оператор Гамильтона частицы в электромагнитном поле. Частные случаи: а) частица в поле плоской волны; б) частица в постоянном однородном магнитном поле; в) частица в постоянном однородном электрическом поле.

## МОДУЛЬ 2

### **Раздел 2. Квантовая механика конкретных систем.**

*Тема 12. Гармонический осциллятор.* Решение УШ для осциллятора методом разложения в ряд, получение формул для спектра и волновых функций. Графики собственных функций для больших значений энергии.

*Тема 13. Движение в центральном поле.* Разделение переменных в УШ для частицы в центральном поле в сферических координатах. Сферическая потенциальная яма. Функции Бесселя полуцелого порядка, сферические функции Бесселя.

*Тема 14. Атом водорода.* Анализ поведения волновых функций на бесконечности. Нахождение волновых функций методом разложения в ряд. Радиальное квантовое число, главное квантовое число. Степень вырождения состояний электрона в кулоновском поле. (Астахов, Квантовая физика).

*Тема 15. Теория возмущений для стационарных задач, невырожденный случай.* Метод последовательных приближений. (Н.Я. Виленкин, Метод последовательных приближений). Теория возмущений для УШ, вывод формул до второго порядка для спектра и первого порядка для волновых функций. Возмущение в случае близких уровней. (Ландау, Квантовая механика).

*Тема 16. Теория возмущений для стационарных задач, вырожденный случай.* Уравнения нулевого приближения, секулярное уравнение. Полное и частичное снятие вырождения, примеры: эффект Зеемана, эффект Штарка первого и второго порядка по полю. (Ландау, Квантовая механика).

*Тема 17. Теория рассеяния.* Постановка задачи, физические условия реализации процесса рассеяния. Асимптотический вид волновой функции, амплитуда рассеяния. Эффективное сечение рассеяния, полное сечение рассеяния. Нахождение амплитуды рассеяния и эффективного сечения в борновском приближении. Случай рассеяния центральным полем. (Ландау, Квантовая механика).

*Тема 18. Теория нестационарных возмущений.* Вывод формулы поправки первого порядка для волновой функции. Импульсное возмущение - возбуждение атома пролетающей тяжелой частицей. Периодическое возмущение – атом в поле монохроматической электромагнитной волны, начальное условие на минус бесконечности (проблема включения взаимодействия). Соотношение неопределенности для энергии. (Ландау, Квантовая механика).

*Тема 19. Квантовая теория дисперсии.* Вывод формулы для дипольного момента атома в поле монохроматической волны, поляризуемость атома, диэлектрическая проницаемость атомарной среды. Резонансное возмущение, модель двухуровневого атома, резонансное приближение, пределы его применимости (Ландау, Квантовая механика).

### **Раздел 3. Спин. Системы тождественных частиц.**

*Тема 20. Спин электрона.* Спиновая переменная, принимающая всего два значения. Операторы, воздействующие на спиновое состояние – матрицы  $2 \times 2$ . Общий вид таких матриц. Матрицы Паули и спиновая матрица. Коммутационные соотношения для матриц Паули и спиновых матриц. Спиновый механический момент. Волновая функция частицы со спином. Спин-орбитальное взаимодействие. Спиновый магнитный момент.

*Тема 21. Тождественность микрочастиц.* Волновая функция системы двух одинаковых частиц. Оператор перестановки координат тождественных частиц, два возможных типа частиц. Принцип Паули для волновой функции двух тождественных частиц. Сложение спиновых моментов. Обменное взаимодействие.

## **6. Вопросы к экзамену**

1. Исторические предпосылки возникновения квантовой теории.
2. Пределы точности измерений.
3. Принцип суперпозиции.
4. Линейные операторы.



5. Произведение двух операторов.
6. Основные постулаты квантовой механики.
7. Уравнение непрерывности.
8. Оператор импульса.
9. Уравнение Шредингера для стационарных состояний.
10. Соотношения неопределенностей.
11. Соотношения неопределенностей для энергии и времени.
12. Предельный переход к классической механике.
13. Квазиклассическое приближение.
14. Свойства квазиклассических волновых функций.
15. Оптико-механическая аналогия в квантовой механике.
16. Уравнение Шредингера для частицы в электромагнитном поле.
17. Общие свойства одномерного движения.
18. Потенциальная яма конечной глубины.
19. Теория стационарных возмущений.
20. Возмущение в случае близких уровней.
21. Теория рассеяния.
22. Возмущение при наличии вырождения.
23. Теория нестационарных возмущений.
24. Периодическое возмущение.
25. Резонансное приближение.
26. Переходы в непрерывный спектр.
27. Оператор момента импульса.
28. Движение в центрально-симметричном поле.
29. Атом водорода.
30. Вырождение состояний в атоме водорода.
31. Спектр атома в магнитном поле.
32. Спин электрона.
33. Спин-орбитальное взаимодействие.
34. Тожественные частицы.
35. Обменное взаимодействие.

## **7. Список Литературы**

Дирак, Принципы квантовой механики.

Ферми, Лекции по квантовой механике

Астахов, Широков. Квантовая физика

Абаренков, Загуляев. Простейшие модели в квантовой механике

Барабанов, Квантовая механика ч.1.

## 8. Образец экзаменационного билета

РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)  
УНИВЕРСИТЕТ

Инженерно-физический институт (III курс, II семестр).

Направление: Электроника и наноэлектроника

Дисциплина: Квантовая механика

Экзаменационный билет №

1. Линейные операторы.
2. Квантовая теория дисперсии.
3. Задача