

**ГОУ ВПО Российско-Армянский (Славянский)
университет**



УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины: Б1.О.09 Квантовая физика

Автор (ы) д.ф.-м.н., профессор Казарян Эдуард Мушегович
Ф.И.О, ученое звание (при наличии), ученая степень (при наличии)

**Направление подготовки: 11.03.03 Конструирование и технология
электронных средств**

Согласовано:

Заведующий Кафедрой общей физики и квантовых наноструктур

Айрапетян Д.Б.



(подпись)

1. АННОТАЦИЯ

1.1. Краткое описание содержания данной дисциплины;

Квантовая физика — дисциплина, изучающая законы природы на уровне микрочастиц. Рассматриваются квантование энергии, волновые свойства материи, принцип неопределённости, уравнение Шрёдингера и явления, не объяснимые классической физикой. Курс формирует базу для понимания современных технологий и фундаментальных основ квантовой механики.

1.2. Трудоемкость в академических кредитах и часах, формы итогового контроля (экзамен/зачет);

6 академических кредитов / 216 часов. Форма итогового контроля — экзамен.

1.3. Взаимосвязь дисциплины с другими дисциплинами учебного плана специальности (направления)

Механика, Волновые процессы, Электромагнетизм, Физика макросистем.

1.4. Результаты освоения программы дисциплины:

Код компетенции (в соответствии рабочим с учебным планом)	Наименование компетенции (в соответствии рабочим с учебным планом)	Код индикатора достижения компетенций (в соответствии рабочим с учебным планом)	Наименование индикатора достижений компетенций (в соответствии рабочим с учебным планом)
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1	Знает методики поиска, сбора и обработки информации, метод системного анализа
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.2	Умеет применять методики поиска, сбора и обработки информации, осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников, применять системный подход для решения поставленных задач.
УК-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения	УК-1.3	Владеет методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза

	поставленных задач		информации, методикой системного подхода для решения поставленных задач.
ОПК-1	Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.1	Знает фундаментальные законы природы и основные физические и математические законы и методы накопления, передачи и обработки информации.
ОПК-1	Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.2	Умеет применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера.
ОПК-1	Способен использовать положения, законы и методы естественных наук и математики для решения задач инженерной деятельности	ОПК-1.3	Владеет навыками использования знаний физики и математики при решении практических задач.
ОПК-2	Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	ОПК-2.1	Знает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации.
ОПК-2	Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	ОПК-2.2	Умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования.
ОПК-2	Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	ОПК-2.3	Владеет способами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений.

2. УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА

2.1. Цели и задачи дисциплины

Цель: Формирование у студентов фундаментальных знаний и практических навыков в области квантовой физики, необходимых для понимания физических процессов на микроскопическом уровне и их применения в современных технологиях.

Задачи:

- Изучение основных принципов квантовой механики: квантования, суперпозиции, неопределённости и дуализма;
- Освоение математического аппарата квантовой физики, включая уравнение Шрёдингера;

- Ознакомление с квантовыми явлениями: туннелирование, запутанность, эффекты спина;
- Развитие умений применять квантовые модели для анализа физических процессов в атомных, оптических и твердотельных системах.

2.2. Трудоемкость дисциплины и виды учебной работы (в академических часах и зачетных единицах) (удалить строки, которые не будут применены в рамках дисциплины)

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах	Распределение по семестрам
		1 сем
1	2	3
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	216	216
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	112	112
1.1.1. Лекции	48	48
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	32	32
1.1.3. Лабораторные работы	32	32
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	77	77
1.3. Консультации		
Итоговый контроль (Экзамен, Зачет, диф. зачет - указать)	Экзамен	27

2.3. Содержание дисциплины

2.3.1. Тематический план и трудоемкость аудиторных занятий (модули, разделы дисциплины и виды занятий) по рабочему учебному плану

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекции (ак. часов)	Практ. Занятия (ак. часов)	Лабор. (ак. часов)
1	2=3+4+5+6 +7	3	4	6
Раздел 1. Квантовые свойства электромагнитного излучения	14	6	4	4
Раздел 2. Атом Резерфорда — Бора	12	4	4	4
Раздел 3. Волновые свойства частиц	12	4	4	4
Раздел 4. Уравнение Шредингера. Квантование	12	4	4	4

Раздел 5. Основы квантовой теории	10	6	2	2
Раздел 6. Квантование атомов	14	6	4	4
Раздел 7. Магнитные свойства атомаб	8	4	4	4
Раздел 8. Атомное ядро	10	6	2	2
Раздел 9. Элементарные частицы	16	8	4	4
ИТОГО	112	48	32	32

2.3.2. Краткое содержание разделов дисциплины в виде тематического плана

Тема 1. Квантовые свойства электромагнитного излучения

Рассматриваются фотоэффект, эффект Комптона, законы излучения и квантовая природа света. Вводится понятие фотона.

Тема 2. Атом Резерфорда — Бора

Изучаются модель атома Резерфорда, постулаты Бора, объяснение спектров водорода и переходы между энергетическими уровнями.

Тема 3. Волновые свойства частиц

Описывается корпускулярно-волновой дуализм, опыт с дифракцией электронов, соотношение де Бройля.

Тема 4. Уравнение Шредингера. Квантование

Вводится уравнение Шредингера, обсуждаются стационарные состояния, квантование энергии на примере потенциальной ямы и гармонического осциллятора.

Тема 5. Основы квантовой теории

Рассматриваются операторы, состояния, наблюдаемые величины, принцип суперпозиции, вероятность и интерпретация волновой функции.

Тема 6. Квантование атомов

Изучаются орбитали, квантовые числа, модель атома водорода, энергетические уровни и вероятностная интерпретация.

Тема 7. Магнитные свойства атома

Рассматриваются спин, орбитальный и спиновый магнетизм, эффект Зеемана, магнитный момент электрона.

Тема 8. Атомное ядро

Изучаются структура ядра, типы излучений, радиоактивность, ядерные реакции и модели ядра.

Тема 9. Элементарные частицы

Обзор современных представлений о фундаментальных частицах, классификация частиц,

кварки, лептоны, взаимодействия и стандартная модель.

2.3.3. Краткое содержание семинарских/практических занятий/лабораторного практикума

Практические занятия включают решение задач на проектирование ФИС, моделирование компонентов в специализированных программах (например, Lumerical, COMSOL), анализ экспериментальных данных.

- 1 Основы математического аппарата квантовой механики
2. Постулаты квантовой механики
3. Решение уравнения Шрёдингера
4. Оператор импульса и энергии
5. Квантовые переходы и измерения
6. Спин и квантовая статистика

2.3.4. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Мультимедийное оборудование для лекций.
- Учебная лаборатория для проведения лабораторных занятий

2.4. Модульная структура дисциплины с распределением весов по формам контролей

Формы контролей	Вес формы (форм) текущего контроля в результирующей оценке текущего контроля (по модулям)		Вес формы промежуточного контроля в итоговой оценке промежуточного контроля		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей		Вес итоговой оценки промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей (семестровой оценке)	Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1 ¹	M2	M1	M2	M1	M2		
Вид учебной работы/контроля								
Контрольная работа <i>(при наличии)</i>			0.5	0.5				
Устный опрос <i>(при наличии)</i>								
Лабораторные работы <i>(при наличии)</i>	0.5	0.5						
Письменные домашние задания <i>(при наличии)</i>								

¹ Учебный Модуль

<i>Решение задач</i>	0.5	0.5						
Весы результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей					0.5	0.5		
Весы оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей							0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля								0.5
Вес итогового контроля (Экзамен/зачет) в результирующей оценке итогового контроля								0.5
	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

3. Теоретический блок (указываются материалы, необходимые для освоения учебной программы дисциплины)

3.1. Материалы по теоретической части курса

3.1.1. Учебник(и);

1. И.Е. Иродов. КВАНТОВАЯ ФИЗИКА основные законы, 2014.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. — *Квантовая механика. Нерелятивистская теория*
3. Блохинцев Д.И. — *Основы квантовой механики*

3.1.2. Учебное(ые) пособие(я);

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Квантовая механика. Нерелятивистская теория.* — М.: Наука, 1989

4. Фонды оценочных средств (указываются материалы, необходимые для проверки уровня знаний в соответствии с содержанием учебной программы дисциплины).

4.1. Планы практических и семинарских занятий

№ занятия	Тема занятия	Основные разделы и задачи по Иродову	Цель занятия
1	Введение в квантовую физику	Вводные задачи, исторические эксперименты (фотоэффект, опыт Франка-	Ознакомление с основами квантовой теории и методами решения задач

№ занятия	Тема занятия	Основные разделы и задачи по Иродову	Цель занятия
		Герца)	
2	Фотоэффект	Раздел: Фотоэффект, задачи №1–10	Освоение формулы Эйнштейна для фотоэффекта, расчет энергетических характеристик
3	Эффект Комптона	Раздел: Эффект Комптона, задачи №11–17	Изучение корпускулярно-волнового дуализма, расчет комптоновского сдвига
4	Корпускулярно-волновой дуализм	Раздел: Волновые свойства частиц, задачи №18–25	Применение уравнений де Бройля и неопределенностей Гейзенберга
5	Принцип неопределенности	Задачи №26–30	Анализ неопределенностей координаты и импульса, энергии и времени
6	Квантовая механика и потенциальные ямы	Раздел: Частицы в потенциальной яме, задачи №31–45	Решение задач на квантование энергии, туннельный эффект
7	Осциллятор и операторный метод	Раздел: Квантовый гармонический осциллятор, задачи №46–55	Работа с уравнением Шредингера и квантовыми состояниями
8	Атом водорода	Раздел: Атом водорода, задачи №56–65	Изучение модели Бора, уровней энергии, спектров
9	Спин и статистика	Раздел: Спин и принцип Паули, задачи №66–72	Введение в спиновые характеристики и фермионы/бозоны
10	Итоговое занятие: решение комплексных задач	Смешанные задачи на весь курс	Обобщение и систематизация знаний, подготовка к зачёту/экзамену

4.2. Планы лабораторных работ и практикумов

Лабораторные работы

№	Тема лабораторной работы	Цель	Основные измерения
1	Фотоэффект	Определение постоянной Планка по фотоэффекту	Измерение запирающего напряжения при различных длинах волн
2	Эффект Комптона	Изучение зависимости комптоновского сдвига от угла рассеяния	Измерение рассеянных фотонов и определение изменения длины волны
3	Опыт Франка – Герца	Подтверждение квантованности энергетических уровней атома	Исследование зависимости тока от ускоряющего напряжения
4	Интерференция электронов	Демонстрация волновых свойств материи	Наблюдение интерференционной картины электронов
5	Туннельный эффект	Изучение прохождения частиц через потенциальный барьер	Измерение токов при различных напряжениях на туннельном диоде

№	Тема лабораторной работы	Цель	Основные измерения
6	Спектры атомов водорода и гелия	Определение энергетических уровней	Измерение спектральных линий и расчет постоянной Ридберга

Практикумы

№	Тема практикума	Цель	Основные методы
1	Расчёт фотоэффекта	Закрепление теории и практики	Расчёт энергии фотонов, работа выхода, скорость электронов
2	Задачи на эффект Комптона	Углубление понимания	Вывод и применение формулы Комптона
3	Применение соотношения неопределённостей	Интерпретация граничных состояний	Оценка ограничений точности при измерениях
4	Расчёт энергии в квантовой яме	Развитие навыков решения уравнения Шрёдингера	Определение уровней энергии и вероятностей
5	Спектр атома водорода	Применение модели Бора	Расчёт длин волн серии Лаймана, Бальмера
6	Квантовый осциллятор	Разбор аналитических решений	Построение уровней энергии и переходов

4.3. Материалы по практической части курса

4.3.1. Задачники (практикумы);

1. Иродов И.Е. — *Задачи по общей физике. Квантовая физика*
2. Грибов В.Н. — *Задачи по квантовой механике с решениями*

4.4. Вопросы и задания для самостоятельной работы студентов

Вопросы для самопроверки:

1. Что такое волновая функция? Какое физическое значение она имеет?
2. Перечислите основные постулаты квантовой механики.
3. Объясните принцип неопределённости Гейзенберга и его физический смысл.
4. Что такое оператор в квантовой механике? Как связаны собственные значения и результаты измерений?
5. В чем заключается отличие стационарного и нестационарного уравнений Шрёдингера?
6. Как происходит квантовое туннелирование и в каких системах оно проявляется?
7. Опишите понятие спина и его роль в квантовой механике.
8. Как интерпретируется вероятность измерения наблюдаемой величины?

Задания для самостоятельного выполнения:

1. Решить уравнение Шрёдингера для частицы в бесконечной потенциальной яме и построить график волновой функции для первых трех уровней энергии.
2. Исследовать влияние изменения параметров потенциального барьера на вероятность туннелирования (расчёт и визуализация).

3. Провести численное моделирование одномерного квантового гармонического осциллятора с использованием Python (библиотеки NumPy, Matplotlib).
4. Написать краткий доклад или реферат на тему «Принцип неопределённости и его эксперименты».
5. Составить таблицу соответствия основных квантовых операторов и физических величин, указать их собственные состояния и спектры.
6. Выполнить упражнения из методического пособия по квантовой механике, предоставленного преподавателем.

4.5. Образцы вариантов контрольных работ, тестов и/или других форм текущих и промежуточных контролей

Контрольная работа (Промежуточный контроль)

Форма: тест с выбором одного правильного ответа (вариант 1)

Максимум: 15 баллов (по 1 баллу за вопрос)

Раздел I. Теоретические основы (10 вопросов)

1. Фотоэффект невозможен, если:
 - а) Частота падающего света меньше пороговой
 - б) Плотность фотонов мала
 - в) Свет падает под углом
 - г) Электрон находится на орбитали
2. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта имеет вид:
 - а) $E = mc^2$
 - б) $E_k = h\nu - A_{\text{вых}}$
 - в) $E = h\nu$
 - г) $E_k = A_{\text{вых}} - h\nu$
3. Комптоновское рассеяние подтверждает:
 - а) Волновую природу света
 - б) Квантовую природу света
 - в) Законы отражения
 - г) Закон сохранения импульса
4. Какова длина волны де Бройля электрона с массой 9.1×10^{-31} кг и скоростью 2×10^6 м/с?
 - а) 3.6 нм
 - б) 0.4 нм
 - в) 1.2 пм
 - г) 7.3 нм
5. Принцип неопределенности Гейзенберга описывает соотношение между:
 - а) Энергией и длиной волны
 - б) Массой и зарядом
 - в) Координатой и импульсом
 - г) Частотой и длиной волны
6. Уравнение Шредингера описывает:
 - а) Плотность вещества

- б) Эволюцию классических частиц
 - в) Вероятностную динамику квантовой системы
 - г) Движение фотонов
7. Для частицы в бесконечно глубокой потенциальной яме энергии уровня пропорциональны:
- а) n^3
 - б) n^2
 - в) $n\sqrt{n}$
 - г) $\ln n$
8. Спин электрона равен:
- а) 1
 - б) 0
 - в) $\frac{1}{2}$
 - г) 2
9. Энергия основного состояния атома водорода:
- а) -3.4 эВ
 - б) -1.5 эВ
 - в) -13.6 эВ
 - г) 0 эВ
10. Какой квантовый эффект позволяет электронам проходить сквозь потенциальный барьер?
- а) Фотоэффект
 - б) Эффект Доплера
 - в) Туннельный эффект
 - г) Комптоновский эффект

Раздел II. Задача на выбор (одна из двух, 5 баллов)

Выберите и решите одну задачу (только одна засчитывается):

Задача 1.

Свет с длиной волны 250 нм падает на металл, работа выхода которого составляет 3.5 эВ. Найти максимальную кинетическую энергию фотоэлектрона.

Задача 2.

Электрон с энергией 5 эВ сталкивается с потенциальным барьером высотой 6 эВ и толщиной 0.5 нм. Оцените вероятность туннелирования через барьер (используйте приближенную формулу без точных вычислений).

Критерии оценки:

- Каждый правильный тест — 1 балл
- Решённая задача — до 5 баллов (в зависимости от полноты и обоснования решения)

Ключ к разделу I. Теоретические основы

№	Правильный ответ
---	------------------

№	Правильный ответ
1	а) Частота падающего света меньше пороговой
2	б) $E_k = h\nu - A_{\text{вых}}$ $E_k = h\nu - A_{\text{вых}}$
3	б) Квантовую природу света
4	б) 0.4 нм (по формуле $\lambda = \frac{h}{mv}$ $\lambda = \frac{h}{mv}$)
5	в) Координатой и импульсом
6	в) Вероятностную динамику квантовой системы
7	б) $n^2 - n_0^2$
8	в) $\frac{1}{2} \cdot 21$
9	в) -13.6 эВ
10	в) Туннельный эффект

Раздел II. Примерные ответы к задачам

Задача 1 (Фотоэффект):

- $\lambda = 250 \text{ нм}$ $\lambda = 250 \text{ нм} \rightarrow \nu = \frac{c}{\lambda} \approx 1.2 \times 10^{15} \text{ Гц}$ $\nu = \frac{c}{\lambda} \approx 1.2 \times 10^{15} \text{ Гц}$
- $E = h\nu \approx 4.96 \text{ эВ}$ $E = h\nu \approx 4.96 \text{ эВ}$
- $E_k = h\nu - A_{\text{вых}} = 4.96 - 3.5 = 1.46 \text{ эВ}$ $E_k = h\nu - A_{\text{вых}} = 4.96 - 3.5 = 1.46 \text{ эВ}$

Задача 2 (Туннельный эффект):

- Используется приближённая формула $T \sim \exp\left(-2a\sqrt{2m(U_0 - E)}\right)$ $T \sim \exp\left(-2a\sqrt{2m(U_0 - E)}\right)$
- Приближённая оценка: вероятность мала, но ненулевая; **порядка 10^{-2} – 10^{-3}** .

Ответ: Показано, что $T > 0$, эффект существует.

4.6. Перечень экзаменационных вопросов

- Основные постулаты квантовой механики.
- Физический смысл и интерпретация волновой функции.
- Уравнение Шрёдингера: стационарное и нестационарное.
- Принцип неопределённости Гейзенберга: формулировка и примеры.
- Операторы и их свойства в квантовой механике.
- Собственные значения и собственные функции операторов.
- Квантование энергии и пример: частица в бесконечной потенциальной яме.
- Квантовое туннелирование: теория и применение.
- Квантовый гармонический осциллятор: основные характеристики.
- Спин и его математическое описание (матрицы Паули).

11. Статистика фермионов и бозонов.
12. Принцип суперпозиции состояний.
13. Плотностная матрица и смешанные состояния.
14. Унитарная эволюция квантовых состояний и уравнение Шрёдингера во времени.
15. Представления квантовой механики: координатное и импульсное.
16. Оператор момента импульса и его квантование.
17. Квантовые переходы и вероятность измерений.
18. Взаимодействие квантовой системы с внешним полем (кратко).
19. Энергетические уровни атома водорода (основные принципы).
20. Применение квантовой механики в современных технологиях (кратко).

4.7. Образцы экзаменационных билетов

ИНЖЕНЕРНО-ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра общей физики и квантовых наноструктур

Направление: Конструирование и технология электронных средств
Дисциплина: Квантовая физика
(бакалавриат II-ой курс, II-ой семестр)

Экзаменационный билет № **

1. Плотностная матрица и смешанные состояния.
2. Квантование энергии и пример: частица в бесконечной потенциальной яме.
3. Задача.

Зав. кафедрой ОФКН _____ Д.Б. Айрапетян
20__ г.
