

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

Составлен в соответствии с
государственными требованиями к
минимуму содержания и уровню
подготовки выпускников по
указанным направлениям и
Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:



Инженерно-физический институт

Кафедра Общей физики и квантовых наноструктур

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

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Б1.О.09 «Физика 4»

**Направление: 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
Профиль: Квантовая информатика**

ЕРЕВАН

1. Аннотация

1.1. Цели и задачи дисциплины.

Целью данного курса является подготовка студентов к восприятию физики твердого тела, ядерной физики, квантовой статистики и других областей знания. На основе понимания явлений микромира возможна связь с областями, в которых ведутся научные исследования на кафедрах университета. Квантовая механика и атомная физика важны и в образовательном плане, так как на основе понимания явлений микромира формируется физическое миропонимание.

При рассмотрении конкретных теоретических и расчетных методов и проведении опытов главное внимание уделяется их применению в конкретных практических задачах. Предполагается посещение студентами лекций, выполнение лабораторных работ для лучшего освоения теоретических знаний и приобретения экспериментаторских навыков, решение основных типов задач, включаемых в контрольные работы, выполнение домашних заданий и двух промежуточных контрольных тестирований.

При изучении курса “Физика 4” предусматривается Общий Физический Практикум, при выполнении которого у студентов формируются навыки и умения применения теоретического материала к анализу конкретных физических ситуаций, использования современной измерительной аппаратурой, принципом ее действия. Целью практикума также является изучение основных закономерностей процессов и оценка порядков изучаемых величин, точности и достоверности полученных результатов.

Цель и задачи преподавания дисциплины: изучение основных теоретических положений квантовой теории и физики ядра, а также формирование у студентов навыков моделирования физических задач, применения методики имитационного обоснования теоретических положений и практического использования аппарата при проведении практических работ, а также для успешного освоения последующих курсов и обеспечения целостности и непрерывности дальнейшего обучения, ознакомление студентов с основами квантовой теории и физики ядра, а также с основами квантовой теории атомов, молекул, взаимодействия света с веществом с использованием обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных.

Основные методы проведения занятий: лекции, практические занятия, лабораторные работы.

2. Требования к исходным уровням знаний и умений студентов:

Для прохождения данного курса студент должен:

- **Знать:** Соответствующий раздел школьного курса. основы линейной алгебры, математического анализа, методов математической физики, основные принципы классической механики, молекулярной физики, электромагнетизма и оптики,

- **Уметь:** применять эти знания при решении задач.
- **Владеть:** методами физического мышления.

3. Взаимосвязь с другими дисциплинами специальности:

Физика 1, Физика 2, Физика 3, Введение в квантовую механику, Теоретическая механика.

4. Требования к уровню освоения знаний и умений студентов:

После прохождения дисциплины студент должен:

- **Знать:** квантовую теорию света, суть эффекта Комптона, квантовый подход к описанию теплового излучения, волновые свойства частиц, ядерную модель строения атома (включая квантово-механическое описание), уравнение Шредингера, возникновение химической связи и энергетические состояния молекул, квантовые свойства твердых тел, строение ядра и ядерные превращения, физические принципы оптических квантовых генераторов, нелинейные оптические явления, фундаментальные эксперименты и понятия квантовой физики.
- **Уметь:** рассчитывать взаимодействие фотонов с частицами, спектр теплового излучения, находить длину волны де Бройля, рассчитывать спектр излучения водородоподобных атомов, находить волновые функции и энергетические состояния водородоподобных атомов, линейного гармонического осциллятора, рассчитывать дефект массы и ядерную энергию связи.
- **Владеть:** техникой физических оценок с помощью соотношения неопределенностей Гейзенберга, техникой решения уравнения Шредингера, техникой расчета движения частиц в центральных полях; техникой расчета простых ядерных превращений.

5. Объем дисциплины и виды учебной работы:

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	180 / 5 кр.
<i>1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:</i>	102
1.1.1. Лекции	34
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	34
1.1.3. Лабораторные работы	34
<i>1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:</i>	51
1.2.1. Бесконтактная самостоятельная работа	51
1.2.2. Контактная самостоятельная работа	
<i>Итоговый контроль (экзамен, зачет, диф. зачет - указать)</i>	Экзамен 27

6. 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		
Вид учебной работы/контроля								
Контрольная работа				0	0,5	0,5		
Тест								
Курсовая работа								
Лабораторные работы	0	0,5	0,5					
Письменные домашние задания	0	0,5	0,5					
Эссе								
Устный опрос	0	0	0					
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
Экзамен/зачет (оценка итогового контроля)								0,5
	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 0$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

7. Содержание дисциплины

7.1 Тематический план и трудоемкости аудиторных занятий

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
Модуль 1.	65	29	18	18
Введение	2	2		
Раздел 1. Квантовая гипотеза Планка.	6	4	2	
Тема 1. Квантование осциллятора.	4	2	2	
Тема 2. Дальнейшие применения гипотезы Планка.	2	2		
Раздел 2. Спектр атома водорода.	4	2	2	
Тема 3. Квантование орбит.	4	2	2	
Раздел 3. Квантовые свойства излучения.	10	6	4	
Тема 4. Фотоэффект.	4	2	2	
Тема 5. Эффект Комптона.	4	2	2	
Тема 6. Элементы кинетической теории взаимодействия излучения с веществом.	2	2		
Раздел 4. Корпускулярно-волновой дуализм. Элементы квантовой механики.	8	4	4	
Тема 7. Волновые свойства частиц.	4	2	2	
Тема 8. Уравнение Шредингера (УШ).	4	2	2	
Раздел 5. Некоторые одномерные задачи квантовой механики.	11	7	4	
Тема 9. Частица в бесконечно глубокой потенциальной яме.	4	2	2	
Тема 10. Надбарьерное отражение.	2	2		
Тема 11. Туннельный эффект.	3	1	2	
Тема 12. Гармонический осциллятор.	2	2		
Раздел 6. Соотношения неопределенностей.	6	4	2	
Тема 13. Соотношение неопределенностей для координаты и импульса.	4	2	2	
Тема 14. Соотношение неопределенностей для энергии и времени	2	2		
Модуль 2.	61	25	18	18
Раздел 8. Атом.	8	4	4	
Тема 16. УШ для электрона в атоме водорода или водородоподобного иона.	4	2	2	
Тема 17. Состояния электронов в сложных атомах.	4	2	2	
Раздел 9. Строение и спектры молекул.	13	7	6	
Тема 18. Строение молекул. Виды химической связи в молекулах.	4	2	2	
Тема 19. Электронные и колебательные спектры молекул.	4	2	2	
Тема 20. Вращательные спектры молекул.	3	1	2	
Тема 21. Комбинационное рассеяние.	2	2		
ИТОГО	102	34	34	34

7.2 Содержание разделов и тем дисциплины

Введение.

Исторические предпосылки возникновения квантовой теории. Проблемы: излучение абсолютно черного тела, фотоэффект, дискретность спектров атомов и молекул, теплоемкость молекул и кристаллов. Макроскопические свойства вещества как следствие дискретности материи. Единицы измерения в квантовой физике.

Раздел 1. Квантовая гипотеза Планка.

Тема 1. Квантование осциллятора. Распределение Планка. Формула Рэлея-Джинса, ультрафиолетовая катастрофа. Гипотеза Планка о квантовании энергии осциллятора, истоки этой гипотезы (энтропия как логарифм числа состояний). Закон сохранения энергии в элементарных актах излучения и поглощения, динамическое равновесие осциллятора и поля излучения, Вычисление средней энергии осциллятора в состоянии термодинамического равновесия. Пропорциональность величины кванта энергии частоте осциллятора как следствие формулы Вина, введение постоянной Планка. Окончательный вид распределения Планка. Вывод соотношений, связывающих постоянные законов Стефана-Больцмана и Вина с фундаментальными постоянными физики. Значение этих соотношений для точного определения значений фундаментальных постоянных. (Борн. Атомная физика, гл. 8)

Тема 2. Дальнейшие применения гипотезы Планка. Классическая теория теплоемкости кристаллов. Теорема о равномерном распределении кинетической потенциальной энергии по степеням свободы и ее недостаточность для интерпретации опытных данных по теплоемкости при низких температурах. Вычисление теплоемкости квантованного осциллятора. Теплоемкость кристалла по Эйнштейну и ее сравнение с опытными данными. Теплоемкость газов многоатомных молекул. (Борн, гл.8).

Раздел 2. Спектр атома водорода.

Тема 3. Квантование орбит. Типы оптических спектров: сплошные, полосатые, линейчатые. Закономерности спектра атома водорода, обобщенная формула Бальмера, комбинационный принцип Ритца, термы, серии, постоянная Ридберга. Необходимость отказа от представлений о непрерывности. Теория атома водорода по Бору, квантование момента импульса, вывод основных формул. Экспериментальное подтверждение постулатов Бора опытами Франка-Герца. (Иродов. Квантовая физика, гл. 2)

Раздел 3. Квантовые свойства излучения.

Тема 4. Фотоэффект. Экспериментальные закономерности фотоэффекта, графики зависимости фототока от приложенного внешнего напряжения и зависимости задерживающего потенциала, при котором прекращается фототок от частоты света. Безинерционность фотоэффекта, резкое расхождение классической теории излучения с экспериментом при очень малых интенсивностях облучения. Гипотеза Эйнштейна относительно природы поля излучения и взаимодействия квантов света с электронами при фотоэффекте, формула Эйнштейна и ее экспериментальное подтверждение. Корпускулярные свойства света, условия их проявления. Практические применения фотоэффекта. (Иродов, гл 1; Фриш, гл 29)

Тема 5. Эффект Комптона. Рассеяние рентгеновых лучей веществом с точки зрения классической электродинамики. Отклонение экспериментальных данных от ожидаемых закономерностей, наличие рассеяния со смещенной длиной волны. Независимость величины смещения от природы рассеивающего вещества. Объяснение закономерностей эффекта Комптона на основе корпускулярной теории света, вывод формулы для величины смещения и угла вылета электронов отдачи. (Иродов, гл 1; Фриш, гл 29)

Тема 6. Элементы кинетической теории взаимодействия излучения с веществом. Вывод формулы Планка по Эйнштейну. Случайный характер процессов излучения и поглощения в микромире. Понятие вероятности обнаружения атома в определенном квантовом состоянии и вероятности перехода в единицу времени при взаимодействии атома с полем ЭМВ. Понятия вынужденного и спонтанного излучения, коэффициенты Эйнштейна. Уравнения для вероятностей перехода или кинетические уравнения. Условия равновесия. Вывод соотношения, связывающего коэффициенты Эйнштейна. (Савельев, Курс физики, т.3, §32)

Раздел 4. Корпускулярно-волновой дуализм. Элементы квантовой механики.

Тема 7. Волновые свойства частиц. Двойственная природа света. Гипотеза де-Бройля. Формулы, связывающие импульс частицы с длиной волны и энергию с частотой. Фазовая и групповая скорость волны, связанной с частицей. Эксперименты Дэвиссона и Джермера, подтверждающие гипотезу де-Бройля. Показатель преломления дебройлевских волн. Опыты с тяжелыми частицами - атомами и молекулами. Вывод спектра осциллятора и атома водорода с помощью гипотезы де-Бройля. (Иродов, Квантовая физика, гл.3, Шпольский т.1, §143).

Тема 8. Уравнение Шредингера (УШ). Наводящие рассуждения: волновое уравнение для волны де-Бройля свободной частицы; волновая функция свободной частицы, ее физический смысл, обусловленный случайным характером процессов в микромире. Нестационарное трехмерное УШ. Математические условия, накладываемые на волновую функцию исходя из ее физического смысла и структуры УШ. УШ для стационарных состояний, физический смысл стационарных состояний. (Савельев, гл.3).

Раздел 5. Некоторые одномерные задачи квантовой механики.

Тема 9. Частица в бесконечно глубокой потенциальной яме. Общее решение УШ в области внутри ямы и вне ее. Нахождение значений констант общего решения из условий, накладываемых на поведение волновой функции на границах ямы. Энергетический спектр частицы и окончательный вид волновой функции. Невозможность состояния покоя в яме как проявление волновых свойств частиц. Графики плотности вероятности для низколежащих уровней энергии.

Тема 10. Надбарьерное отражение. Постановка задачи. Решение УШ в случае, когда энергия частицы меньше высоты барьера. Коэффициент отражения и коэффициент прохождения. Физический смысл решения. Решение в случае, когда энергия частицы больше энергии барьера. Вероятностная интерпретация решения. Надбарьерное отражение как следствие волновых свойств частиц.

Тема 11. Туннельный эффект. Постановка задачи, связь с задачей о падении частицы на барьер. Решение УШ для трех областей. Формулы связи на границах барьера. Решение системы уравнений для коэффициентов волновой функции. Предельный случай невысокого широкого барьера. Туннельный эффект как проявление волновых свойств частиц. Туннельный эффект в различных областях физики.

Тема 12. Гармонический осциллятор. Гармонический осциллятор как одна из основных моделей физики. Решение УШ для осциллятора методом Шредингера (метод факторизации). Рекуррентные уравнения для волновых функций стационарных состояний осциллятора. Спектр энергий осциллятора, наименьшее возможное значение энергии, нулевые колебания как следствие волновых свойств частиц. Предельный переход к классическому описанию.

Раздел 6. Соотношения неопределенностей.

Тема 13. Соотношение неопределенностей для координаты и импульса. Общие закономерности, характеризующие движение частицы в прямоугольной потенциальной яме и в квадратичном потенциале – невозможность состояния покоя, связь между степенью локализации и неопределенностью импульса. Строгая формулировка соотношения неопределенностей для координаты и импульса и ее применения.

Тема 14. Соотношение неопределенностей для энергии и времени. Приближенно стационарный характер возбужденных состояний атомных систем. Связь между шириной спектра волнового пакета и его длительностью. Связь между временем жизни возбужденного состояния и шириной спектра излучения, возникающего при переходе атома в состояние с более низкой энергией. Ширина излучаемого спектра как проявление неопределенности энергии возбужденного состояния. Роль времени в квантовой механике. Невозможность строгой формулировки соотношения неопределенностей для энергии и времени.

Раздел 7. Частица в сферически симметричном поле.

Тема 15. Момент импульса в квантовой механике. Вывод формулы для разрешенных значений квадрата момента импульса квантовой частицы из правила квантования Бора. Невозможность совмещения момента импульса с осью вращения. Проблема одновременного определения значений различных проекций момента импульса. Разделение переменных в УШ в сферических координатах. (Астахов, т.3).

Раздел 8. Атом.

Тема 16. УШ для электрона в атоме водорода или водородоподобного иона. Радиальное УШ и основные особенности радиальной волновой функции: нормировка, поведение в начале координат, осцилляционная теорема. Решение радиального УШ и вывод формулы для спектра энергии. Понятие спина электрона. Классификация состояний в атоме водорода. (Астахов, т.3).

Тема 17. Состояния электронов в сложных атомах. Принцип Паули. Приближения, используемые для описания сложных атомов: приближение независимых электронов и

приближение эффективного поля, пределы их применимости. Периодическая система элементов, периодичность свойств атомов и элементов в зависимости от атомного номера (Астахов, т.3).

Раздел 9. Строение и спектры молекул.

Тема 18. Строение молекул. Виды химической связи в молекулах. Понятие о ковалентной, ионной, водородной, вандерваальсовой связи, их механизмах и энергетических характеристиках. Диссоциация молекул, энергия диссоциации. Три вида движений в молекулах: электронное, колебательное и вращательное. Типы оптических спектров и их особенности. Молекулярные спектры, адиабатическое приближение.

Тема 19. Электронные и колебательные спектры молекул. Общая характеристика электронных спектров молекул. Колебательные спектры, происхождение и роль ангармонизма. Особенности колебательных спектров, обусловленные симметрией молекулы. Количественные характеристики колебательных спектров: область частот, относительная интенсивность излучения. Роль колебательной спектроскопии в изучении строения молекул.

Тема 20. Вращательные спектры молекул. Особенности вращательных спектров, обусловленные симметрией молекулы. Количественные характеристики вращательных спектров: область частот, относительная интенсивность излучения. Роль вращательной спектроскопии в изучении строения молекул. Взаимное влияние колебательных и вращательных движений. Роль вращательной спектроскопии в изучении строения молекул.

Тема 21. Комбинационное рассеяние. Особенности комбинационного рассеяния (КР): наличие сателлитов (стоксова и антистоксова компоненты), их относительная интенсивность; независимость стоксова сдвига от частоты основной волны; величина сдвига как характеристика рассеивающего вещества. Классическая интерпретация КР и ее недостатки. КР как результат взаимодействия электронного и колебательного движений. Объяснение изменения спектра КР с ростом температуры. КР как важный инструмент изучения строения молекул.

Раздел 10. Рентгеновское излучение.

Тема 22. Происхождение и особенности рентгеновского излучения. Тормозное излучение и его спектр, наличие резкой границы со стороны коротких волн. Характеристическое излучение и его особенности: зависимость от атомного номера элемента, устойчивость по отношению к типу химической связи. Определение длины волны рентгеновского излучения при наклонном падении лучей на дифракционную решетку. Закон Мозли и его интерпретация на основе представления об электронных термах. Применение закона при установлении атомных номеров вновь открытых элементов.

Раздел 11. Физика атомного ядра и элементарных частиц.

Тема 23. Основные характеристики атомного ядра. Заряд, массовое число, число нейтронов, масса и спин ядра; характерные размеры ядра. Ядерные силы, характерные параметры

взаимодействия нуклонов. Конкуренция ядерных и кулоновских сил как причина преобладания нейтронов в составе ядра.

Тема 24. Энергетические характеристики ядра. Энергия связи ядра. Дефект массы и объяснение его происхождения. График зависимости удельной энергии связи от массового числа.

Тема 25. Деление и распад ядра. Реакции деления и распада. Радиоактивный распад как случайный процесс, закон радиоактивного распада. Среднее время жизни ядра и период полураспада. Понятие о радиоуглеродном анализе.

Тема 26. Механизмы распада ядер. α -распад как проявление туннельного эффекта. Основные закономерности β -распада, понятие о слабом взаимодействии элементарных частиц. γ -излучение ядер. Законы сохранения энергии и импульса при излучении ядром гамма-кванта и эффект Мессбауера. (Иродов, Квантовая физика)

Тема 27. Физические основы ядерной энергетики. Выделение энергии при распаде тяжелых ядер, объяснение с помощью графика удельной энергии связи, численные примеры. Реакции синтеза легких ядер, сравнение выхода энергии на единицу массы при реакции синтеза и реакции распада. Проблема управляемого термоядерного синтеза. Ядерное оружие.

Тема 28. Классификация элементарных частиц. Массы элементарных частиц. Лептоны, мезоны и барионы. Фундаментальные взаимодействия в природе и их характеристики: относительная интенсивность и радиус взаимодействия. Классификация частиц по типам взаимодействий, в которых они участвуют. Реакции элементарных частиц. Понятие о лептонном и барионном зарядах. Три вида лептонного заряда. Законы сохранения в реакциях элементарных частиц. (Астахов, Квантовая физика; Иродов, Квантовая физика).

8. Вопросы к экзамену.

1. Квантовая гипотеза Планка.
2. Средняя энергия квантового осциллятора.
3. Распределение Планка.
4. Постоянные законов Стефана-Больцмана и Вина.
5. Единицы измерения в атомной физике.
6. Фотоэффект.
7. Эффект Комптона.
8. Типы оптических спектров и их особенности.
9. Теория атома водорода по Бору.
10. Экспериментальное подтверждение постулатов Бора.
11. Вывод распределения Планка по Эйнштейну.
12. Теория теплоемкости кристаллов.
13. Теплоемкость молекул.
14. Корпускулярно-волновой дуализм.
15. Уравнение Шредингера.

16. УШ для стационарных состояний.
17. Частица в бесконечно глубокой потенциальной яме.
18. Надбарьерное отражение.
19. Туннельный эффект.
20. Гармонический осциллятор.
21. Соотношение неопределенностей.
22. Момент импульса в квантовой механике.
23. Атом водорода.
24. Классификация состояний в атоме водорода.
25. Периодическая система элементов.
26. Состояния электронов в сложных атомах.
27. Строение молекул.
28. Колебательные спектры молекул, ангармонизм.
29. Вращательные спектры молекул.
30. Общая характеристика молекулярных спектров.
31. Комбинационное рассеяние.

9. Список Литературы

Борн. Атомная физика

Иродов. Квантовая физика

Фриш, Курс общей физики, т.3

Савельев, Курс физики, т.3

Ферми, Молекулы и кристаллы.

Шпольский, Атомная физика т.1

Астахов, Квантовая физика

10. Образец экзаменационного билета

РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ) УНИВЕРСИТЕТ

Институт: Инженерно-физический (II курс, II семестр).

Дисциплина: Физика 4

Экзаменационный билет №

1. Теория атома водорода по Бору.
2. Надбарьерное отражение.
3. Вращательные спектры молекул.

