

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе
Д.А. Зубцов

03 июня 2013 г.

ПРОГРАММА

по дисциплине: Общая физика: Квантовая физика

по направлению подготовки 010900 «Прикладные математика и физика»

факультеты: для всех факультетов

кафедра Общей физики

курс III

семестр 5

Трудоёмкость: теор. курс: базовая часть – 2 зач. ед.; вариативная часть – 1 зач. ед., доп. за сложность – 1 зач. ед.;

физ. практикум: базовая часть – 2 зач. ед.; вариативная часть – 0 зач. ед., доп. за сложность – 1 зач. ед.

лекции – 34 часа

Экзамен – 5 семестр

практические (семинарские)

Зачёт – 5 семестр

занятия – 34 часа

лабораторные занятия – 68 часов

Самостоятельная работа
– 2 часа в неделю

ВСЕГО ЧАСОВ – 136

Программу и задание составили:

д.ф.-м.н., профессор Ю.М. Ципенюк

д.ф.-м.н., профессор Ю.В. Петров

д.ф.-м.н., профессор М.Г. Никулин

д.ф.-м.н., профессор А.И. Морозов

д.ф.-м.н., доцент А.Б. Струминский

к.ф.-м.н., доцент А.О. Раевский

к.ф.-м.н., доцент С.В. Гуденко

Программа принята на заседании
кафедры общей физики 22 мая 2013 года

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

А.В. Максимычев

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Лекция 1. Корпускулярные свойства электромагнитных волн

Основные экспериментальные результаты по внешнему фотоэффекту. Гипотезы Планка и Эйнштейна относительно энергии квантов света (фотонов). Уравнение Эйнштейна и объяснение фотоэффекта. Импульс фотона. Эксперимент Комптона по рассеянию рентгеновских лучей на лёгких ядрах, формула для изменения длины волны квантов при рассеянии на свободных электронах, комптоновская длина волны.

Лекция 2. Волновые свойства частиц. Соотношение неопределенностей

Гипотеза де Бройля о волновых свойствах материальных частиц — корпускулярно-волновой дуализм. Опыты Девиссона–Джермера и Томсона по дифракции электронов. Длина волны де Бройля нерелятивистской частицы. Критерий квантовости системы. Соотношения неопределенностей (координата-импульс; энергия время). Волновая функция свободной частицы (волна де Бройля). Вероятностная интерпретация волновой функции, выдвинутая Борном.

Лекция 3. Формализм квантовой механики. Потенциальные барьеры

Понятие об операторах. Операторы координаты, импульса, потенциальной и кинетической энергии системы, гамильтониан. Собственные функции и собственные значения. Уравнение Шредингера. Свойства волновой функции стационарных задач: непрерывность, конечность, однозначность, непрерывность производной. Закон сохранения вероятности, вектор плотности потока вероятности (без вывода). Рассеяние частиц на потенциальной ступеньке конечной высоты, прохождение частицы над ямами и барьерами конечной ширины – эффект Рамзауэра. Прохождение частицы через прямоугольный потенциальный барьер конечной ширины (туннельный эффект), вывод формулы для прозрачности барьера произвольной формы.

Лекция 4. Потенциальные ямы. Квазиклассическое приближение. Осциллятор

Состояния частицы в одномерной симметричной потенциальной яме. Уровни энергии одномерного гармонического осциллятора (без вывода). Оператор момента импульса. Квантование проекции момента и квадрата момента импульса. Движение в центральном поле, центробежная энергия, радиальное квантовое число, кратность вырождения. s -состояния в трёх-

мерной сферически симметричной яме конечной глубины, условие существования связанных состояний в такой яме.

Лекция 5. Водородоподобные атомы. Колебательные и вращательные спектры молекул

Закономерности оптических спектров атомов (комбинационный принцип Ритца), формулы серий. Модели атома Томсона и Резерфорда. Постулаты Бора, боровский радиус, энергия атома водорода. Движение в кулоновом поле, случайное вырождение. Спектр атома водорода (без вывода), главное квантовое число, кратность вырождения. Качественный характер поведения радиальной и угловой частей волновой функции. Волновая функция основного состояния.

Водородоподобные атомы: влияние заряда ядра (на примере иона гелия) и его массы (изотопический сдвиг), мезоатомы. Характеристическое рентгеновское излучение (закон Мозли). Вращательные спектры плоского и пространственного ротаторов (двухатомная молекула). Вращательные и колебательные уровни молекул, энергетический масштаб соответствующих возбуждений (иерархия молекулярных спектров).

Лекция 6. Магнитный момент. Спин. Тонкая и сверхтонкая структура атома водорода

Магнитный орбитальный момент электронов, гиромагнитное отношение, g -фактор, магнетон Бора. Опыт Штерна—Герлаха. Гипотеза Уленбека и Гаудсмита о спине электрона, спиновый g -фактор. Опыт Эйнштейна—де Гааза. Векторная модель сложения спинового и орбитального моментов электрона, полный момент, фактор Ланде. Тонкая и сверхтонкая структура атома водорода.

Лекция 7. Тожественность частиц. Обменное взаимодействие.

Сложные атомы

Тожественность частиц, симметрия волновой функции относительно перестановки частиц, бозоны и фермионы, принцип Паули. Сложные атомы. Самосогласованное поле. Электронная конфигурация атома. Атомные термы, спектроскопическая запись состояния атома. Правила Хунда. Качественное объяснение возникновения обменной энергии и правил Хунда на примере возбужденного состояния $1s2s$ атома гелия и образования молекулы водорода.

Лекция 8. Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана.

Излучение, правила отбора. ЭПР и ЯМР

Эффект Зеемана для случаев слабого и сильного магнитных полей на примере $3P-3S$ -переходов. Понятие спина (спиральности) фотона, полный момент и четность. Классификация фотонов по полному моменту и четности (E - и M -фотоны), отношение вероятностей излучения фотонов различной мультипольности. Вероятность дипольного излучения (закон ω^3). Ядерный и электронный магнитный резонанс (квантовомеханическая трактовка). Строгие и нестрогие правила отбора при поглощении и испускании фотонов атомами (на примере эффекта Зеемана и ЯМР).

Лекция 9. Ядерные модели

Эксперименты Резерфорда и Гейгера по рассеянию α -частиц в газах. Открытие нейтрона Чадвиком. Экспериментальная зависимость удельной энергии связи ядра от массового числа A . Свойства ядерных сил: радиус действия, глубина потенциала, насыщение ядерных сил, спиновая зависимость. Природа ядерных сил, обменный характер ядерных сил, переносчики взаимодействия. Модель жидкой заряженной капли. Формула Вайцзеккера для энергии связи ядра. Оболочечная модель и магические числа в осцилляторном потенциале. Одночастичные и коллективные возбуждённые состояния ядра.

Лекция 10. Радиоактивность. Альфа, бета, гамма

Радиоактивность. Закон радиоактивного распада, константа распада, период полураспада, среднее время жизни, вековое уравнение. Альфа-распад, закон Гейгера—Нэттола и его вывод (формула Гамова). Бета-распад, энергетический спектр бета-распада, гипотеза нейтрино и его опытное обнаружение, внутренняя конверсия электронов, K -захват. Гамма-излучение, изомерия ядер. Спонтанное деление ядер, механизм формирования барьера деления — зависимость кулоновской и поверхностной энергии от деформации, параметр делимости, энергия, выделяемая при делении ядер, предел стабильности ядер относительно деления.

Лекция 11. Ядерные реакции. Оценка сечений

Ядерные реакции: экзотермические и эндотермические реакции, порог реакции, сечение реакции (полное и парциальные сечения), каналы реакции, ширины каналов. Составное ядро. Нерезонансная теория — классическое сечение, поправка на волновой характер частиц, коэффициент проникновения частицы в прямоугольную яму, закон Бете (на примере проникнове-

ния частицы в прямоугольную яму). Резонансные реакции — формула Брейта-Вигнера. Деление ядер под действием нейтронов, мгновенные и запаздывающие нейтроны, цепная реакция деления. Роль запаздывающих нейтронов в работе ядерного реактора. Схема реактора на тепловых нейтронах.

Лекция 12. Фундаментальные взаимодействия и частицы.

Элементарные частицы

Фундаментальные взаимодействия и фундаментальные частицы (лептоны, кварки и переносчики взаимодействий). Законы сохранения и внутренние квантовые числа. Кварковая структура адронов — мезоны, барионы и резонансы. Квантовая хромодинамика, асимптотическая свобода. Гипотеза конфинмента кварков и глюонов, кварковый потенциал. Оценка адронных сечений при высоких энергиях на основе кварковой структуры. Открытие W - и Z -бозонов, t -кварка, методы регистрации нейтрино. Несохранение чётности при бета-распаде, опыт Ву.

Лекция 13. Законы излучения АЧТ

Подсчет числа состояний поля в заданном объеме; фазовый объём, приходящийся на одно квантовое состояние, плотность состояний. Формула Рэля—Джинса и ультрафиолетовая катастрофа, формула Вина. Распределение Планка. Закон смещения Вина. Равновесное излучение как идеальный газ фотонов. Законы Кирхгофа и Стефана-Больцмана.

Лекция 14. Спонтанное и вынужденное излучение

Двухуровневая квантовая система в поле равновесного излучения, принцип детального равновесия, спонтанные и индуцированные переходы, соотношения Эйнштейна и его вывод распределения Планка. Прохождение излучения через среду, условие усиления (инверсная заселённость уровней). Принцип работы лазера и его устройство.

Литература

1. *Ципенюк Ю.М.* Квантовая микро- и макрофизика. М.: Физматкнига, 2006.
2. *Гольдин Л.Л., Новикова Г.И.* Введение в квантовую физику. М.: Наука, 1988.
3. *Крылов И.П.* Основы квантовой физики и строение вещества. Учебное пособие. — М.: МФТИ, 1989.

4. Белонучкин В.Е., Заикин Д.А., Ципенюк Ю.М. Основы физики. Т.II. /под ред. Ю.М. Ципенюка. – М.: Физматлит, 2006.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т. 5. Ч. I., Ч. II. – М.: Наука, 1989.
6. Ишиханов Б.С., Капитонов И.М., Юдин Н.П. Частицы и атомные ядра. М.: ЛКИ, 2007.
7. Капитонов И.М. Введение в физику ядра и частиц. М.: УРСС, 2004.
8. Фаддеев М.А., Чупрунов Е.В. Лекции по атомной физике. М.: Физматлит, 2008.

ЗАДАНИЕ ПО ФИЗИКЕ
для студентов 3-го курса
на осенний семестр 2013-2014 учебного года

№ сем.	Даты	Темы семинарских занятий	Первая группа	Вторая группа
1	1–7 сент.	Фотоэффект. Эффект Комптона.	1.7, 1.23, 1.37, 1.39, 1.42, 1.48,	1.50, 1.51
2	8–14 сент.	Волны де Бройля. Соотношения неопределенностей.	2.2, 2.4, 2.26, 2.31, 2.30, 2.32	2.15, 2.43, 2.46
3	15–21 сент.	Потенциальные барьеры. Туннельный эффект.	3.2, 3.4, 3.20, 3.33, 3.34, 3.36,	3.37, 3.40
4	22–28 сен.	Потенциальные ямы. Квазиклассическое приближение.	3.6, 3.13, 3.14, 3.22, 3.27, 3.18	8.24, 3.23
5	29 сен. – 5 окт.	Водородоподобные атомы. Колебательные и вращательные уровни.	4.7, 4.17, 4.38, 5.13, 5.25, 5.29	5.31, 5.27
6	6–12 окт.	Магнитный момент. Спин. Тонкая и сверхтонкая структура.	6.10, 6.14, 6.20, 6.75, 6.46, 6.50	6.53, 6.66
7	13–19 окт.	Обменное взаимодействие. Сложные атомы.	4.46, 4.52, 6.65, 6.78, 6.76, ч2: 6.211	6.17, 6.77
8	20–26 окт.	Контрольная работа		
9	27 ок.– 2 нояб.	Сдача 1-го задания		

10	3–9 нояб.	Атом в магнитном поле. Эффект Зеемана. Излучение, правила отбора. ЭПР и ЯМР.	6.22, 6.31, 6.38, 6.57, 6.61, 6.63	6.59, 6.62
11	10–16 нояб.	Ядерные модели. Радиоактивность.	7.5, 7.15, 7.32, 7.51, 7.55, 8.45	7.58, 7.64
12	17–23 нояб.	Ядерные реакции.	7.10, 8.11, 8.60, 8.68, 9.4, 9.11	8.59, 9.14
13	24–30 нояб.	Фундаментальные взаимодействия и частицы. Элементарные частицы.	10.24, 10.59, 10.62, 10.70, 10.73, 10.85	10.91, 10.97
14	1–7 дек.	Законы излучения АЧТ. Лазеры.	ч2: 1.22, 1.25, 1.38, 1.55, 1.57, 1.59	1.49, 1.56, 1.73
15	8–14 дек.	С д а ч а 2-го задания		
16	15–28 дек.	Обсуждение вопросов по выбору З а ч ё т		

Задачи *первой группы* должны быть решены и оформлены в тетради для сдачи задания. Преподаватель по своему усмотрению разбирает часть задач на семинаре. Возможен разбор и других равноценных задач.

Для получения дополнительных зачетных единиц студент должен решить и оформить в тетради задачи *второй группы*.

Номера задач указаны по задачнику «Сборник задач по общему курсу физики. Часть III. Атомная и ядерная физика. Строение вещества». Под ред. В.А. Овчинкина. – М.: Физматкнига, 2009. Указание «ч2:» означает, что следующие за ним задачи надо брать из второй части этого задачника.

Усл. печ. л. 0,5. Тираж 1085 экз.