ПРОГРАММА

курса лекций «Физика атома и атомного ядра»

Лектор – доцент Коржиманов А. В.

Выделены вопросы, составляющие программу-минимум.

**Часть I. Становление атомной физики**

Гл. 1. КОРПУСКУЛЯРНЫЕ СВОЙСТВА ВОЛН

§1. Тепловое излучение и его свойства.

Закон излучения Кирхгофа.

Модель абсолютно чёрного тела.

Закон Стефана — Больцмана.

Законы излучения Вина. Закон смещения Вина.

Формула Рэлея — Джинса.

Формула Планка. Спектр равновесного излучения.

§2. Фотоэлектрический эффект.

Законы фотоэффекта.

Теория Эйнштейна. Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта.

Энергетическая диаграмма фотоэффекта. Работа выхода.

§3. Понятие фотона.

Энергия и импульс фотона.

§4. Эффект Комптона.

Гл. 2. ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА ЧАСТИЦ

§1. Гипотеза де Бройля. Волна де Бройля.

§2. Эксперименты по дифракции электронов.

Опыт Дэвиссона — Джермера.

§3. Корпускулярно-волновой дуализм.

Статистическая интерпретация волны де Бройля.

§4. Принцип неопределённости Гейзенберга.

Соотношение неопределённости для координаты и импульса.

Гл. 3. ТЕОРИЯ АТОМА БОРА

§1. Ранние представления о строении атома.

Модель Резерфорда.

§2. Спектры атомов.

Спектральные термы.

Постоянная Ридберга.

Серии спектральных линий.

§3. Постулаты Бора.

Модель атома водорода.

Теория Бора водородоподобных атомов. Вычисление постоянной Ридберга.

Связь теории Бора с гипотезой де Бройля.

Недостатки теории Бора.

**Часть II. Физика микрообъектов**

Гл. 4. Введение в аппарат физики микрообъектов

§1. Уравнение Шредингера. Его свойства.

Стационарное уравнение Шредингера. Стационарные состояния.

Уравнение Шредингера и квантование.

Волновая функция. Нормировка волновой функции.

Статистический смысл волновой функции.

§2. Потенциальные ямы.

Квантование энергии. Условия дискретности и непрерывности спектра энергии.

§3. Квантование гармонического осциллятора.

Энергетический спектр и собственные функции квантового осциллятора.

§4. Проникновение частицы в запрещённую область.

§5. Потенциальные барьеры.

Прохождение частиц через одномерный прямоугольный потенциальный барьер.

Туннельный эффект.

§6. Постулаты квантовой механики.

Представление динамических переменных посредством операторов.

Вычисление средних значений динамических переменных.

§7. Коммутативность операторов.

Условие одновременной измеримости динамических переменных.

§8. Операторы основных физических величин.

Оператор координаты.

Оператор импульса.

Оператор произвольной функции координат и импульса.

Оператор полной энергии, гамильтониан.

§9. Оператор проекции момента импульса.

Оператор квадрата момента импульса.

Коммутирующие свойства операторов момента импульса.

§10. Квантование момента импульса.

Cобственные значения операторов проекции момента импульса и квадрата момента импульса.

Магнитное квантовое число. Орбитальное квантовое число.

Собственные функции оператора проекции момента импульса.

§11. Сложение момента импульса системы частиц.

**Часть III. Квантово-механическая теория атомов**

Гл. 5. Атомы с одним валентным электроном

§1. Водородоподобные атомы.

Энергетический спектр.

Квантовые числа: главное, орбитальное, магнитное.

Вырождение энергетических уровней.

Состояния электрона водородоподобных атомов.

Спектр водородоподобных атомов.

Пространственная структура состояний электрона водородоподобных атомов.

§2. Магнитные свойства атомов.

Проблема классической теории. Теорема Бора — ван Лёвен.

Связь магнитного момента с моментом импульса. Гиромагнитное отношение.

Квантование магнитного момента атомов. Магнетон Бора.

Опыт Штерна — Герлаха.

Гипотеза Гаудсмита — Уленбека. Спин электрона.

Гиромагнитное отношение для спина электрона.

§3. Полное описание состояния электрона в атоме.

Орбитальный, спиновый и полный момент импульса электрона.

Обозначение состояния электрона.

§4. Спин-орбитальное взаимодействие.

Тонкая структура энергетических уровней. Мультиплетность.

§5. Спин-орбитальное взаимодействие многоэлектронного атома.

L-S связь. Обозначение терма атома.

j-j связь.

§6. Правила отбора при излучении и поглощении электромагнитных волн.

Тонкая структура спектральных линий. Мультиплетность спектров.

Тонкая структура линий Лайман-альфа и Hα.

§7. Расщепление спектральных линий в магнитном поле (Эффект Зеемана).

Простой (нормальный) эффект Зеемана.

Сложный (аномальный) эффект Зеемана.

§8. Магнитный момент многоэлектронного атома.

Векторная модель сложения орбитального и спинового магнитных моментов.

Расчет множителя Ланде (g-фактора) в приближении L-S связи.

Расчёт величины зеемановского расщепления в приближении L-S связи.

§9. Расщепление спектральных линий в сильном магнитном поле (Эффект Пашена — Бака).

§10. Магнитный резонанс.

Электронный парамагнитный резонанс.

Ядерный магнитный резонанс.

§11. Расщепление спектральных линий в электрическом поле (Эффект Штарка).

Гл.6. многоэлектронные АТОМНЫЕ СИСТЕмы

1. Принцип тождественности элементарных частиц.

Симметричные и антисимметричные волновые функции.

Бозоны и фермионы.

1. Принцип запрета Паули.
2. Заполнение электронных оболочек атомов. Периодическая система элементов Д. И. Менделеева.
3. Атом гелия.

Уравнение Шредингера для атома гелия.

Энергетический спектр атома гелия. Орто- и парасостояния.

1. Энергия электронов в атоме гелия. Обменная энергия.
2. Химическая связь. Молекула водорода.

Гл.7. основы физики твёрдого тела

§1. Квантовая статистика.

Связь спина со статистикой.

Статистики Ферми — Дирака и Бозе — Эйнштейна.

Химический потенциал.

Бозе-конденсация.

§2. Распределения Ферми — Дирака и Бозе — Эйнштейна для идеального газа.

Квантование фазового объёма.

Критерий невырожденности идеального газа.

§3. Распределение по энергиям для идеального фотонного газа.

Распределение по энергиям для идеального электронного газа.

Энергия Ферми.

§3. Зонная структура энергетических спектров твёрдых тел.

Классификация твёрдых тел.

§4. Уравнение Шрёдингера в периодическом потенциале.

Волны Блоха. Квазиимпульс. Эффективная масса. «Дырки».

§5. Электропроводность кристаллических тел.

§6. Теплоёмкость твёрдых тел.  
Теория теплоёмкости Эйнштейна.  
Теория теплоёмкости Дебая. Закон кубов. Температура Дебая.

**Часть IV. Физика атомного ядра и элементарных частиц**

Гл. 8. Физика атомного ядра

1. Основные характеристики атомных ядер.
2. Спин атомного ядра. Сверхтонкая структура спектральных линий.
3. Масса и энергия связи нуклонов в ядре. Дефект массы.
4. Модели атомных ядер.  
   Капельная модель. Формула Вейцзеккера.  
   Оболочечная модель. «Магические» числа.
5. Радиоактивность ядер. Основные типы распада ядер. Закон радиоактивного распада. Период полураспада.

Гл. 9. Элементарные частицы

1. Понятие о квантовой электродинамике. Диаграммы Фейнмана. Обменный характер электромагнитного взаимодействия. Виртуальные частицы.
2. Обменная теория взаимодействия нуклонов (теория Юкавы). π-мезоны. Сильное взаимодействие.
3. Изотопический спин.
4. Странные частицы. Странность.
5. Распад нейтрона. Слабое взаимодействие. Теория «слабых токов» (Теория Ферми).
6. Теория электрослабого взаимодействия. Калибровочные бозоны.
7. Нейтрино.  
   Детектирование нейтрино.  
   Типы («ароматы») нейтрино.  
   Проблема солнечных нейтрино. Нейтринные осцилляции. Масса нейтрино.
8. Квантовая хромодинамика.  
   Кварки. Кварковый состав адронов. Цветовой заряд. Глюоны. Конфайнмент.
9. Стандартная модель.
10. Бозон Хиггса.  
    Спонтанное нарушение симметрии. Механизм Хиггса, поле Хиггса.
11. Классификация элементарных частиц. Лептоны, адроны.
12. Законы сохранения в микромире. Строгие и нестрогие законы сохранения. Барионный и лептонный заряды. Понятие симметрии. Чётность. Зарядовое сопряжение. CPT-теорема.
13. Фундаментальные взаимодействия. Их свойства.
14. Гравитационное взаимодействие.  
    Квантовые теории гравитации. Гравитон. Петлевая теория гравитации. Теория струн. Проблема ландшафта.

**Часть V. Введение в квантовую информатику**

Гл. 10. ТЕОРИЯ КВАНТОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И КВАНТОВАЯ ИНФОРМАЦИЯ

1. Отличия квантовых измерений от классических.
2. Квантовая суперпозиция. Квантовая интерференция. Чистые и смешанные состояния.
3. Квантовая сцепленность (запутанность). Нелокальность квантовой физики. Парадокс Эйнштейна — Подольского — Розена. ЭПР-пары фотонов.
4. Теорема о невозможности клонирования квантовых состояний.
5. Квантовая телепортация. Базисные состояния Белла.  
   Квантовая криптография. Квантовый канал.
6. Квантовые компьютеры. Квантовые симуляторы.

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Д. В. Сивухин. Общий курс физики. Т. V, Ч. 1. Атомная физика. Т. V, Ч. 2. Ядерная физика.
2. М. А. Фаддеев, Е. В. Чупрунов. Лекции по атомной физике.
3. Л. Б. Окунь. Элементарное введение в физику элементарных частиц. М,: Физматлит, 2006.

Дополнительная:

1. А. Н. Матвеев. Атомная физика.
2. А. Н. Матвеев. Оптика.
3. А. М. Попов, О. В. Тихонова. Лекции по атомной физике. М.: МГУ, 2007.
4. И. В. Савельев. Курс Общей физики. Т. 3.
5. Э. Вихман. Квантовая физика (Берклеевский курс физики).
6. Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. Т. 8, 9. Квантовая механика.
7. Л. Б. Окунь. Физика элементарных частиц. М,: Наука, 1988.
8. [nuclphys.sinp.msu.ru](http://nuclphys.sinp.msu.ru/) — сайт кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ
9. В. В. Сыщенко. Физика элементарных частиц для начинающих. М.—Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2013.
10. Наука. Величайшие теории: выпуск 11: Революция в микромире. Планк. Квантовая теория. М.: Де Агостини, 2015.

Литература из периодических источников:

1. С. Я. Килин. «Квантовая информация» // УФН, **169**, №5, 507-526 (1999)
2. М. Б. Менский. «Квантовая механика: новые эксперименты, новые приложения и новые формулировки старых вопросов» // УФН, **170**, №6, 631-647 (2000)
3. А. И. Голохвастов. «Квантовая механика глазами экспериментатора» // УФН, **172**, №7, 843-846, (2002)
4. А. В. Белинский. «Квантовая нелокальность и отсутствие априорных значений измеряемых величин в экспериментах с фотонами» // УФН, **173**, №8, 905-909 (2003)
5. Б. Б. Кадомцев. «Необратимость в квантовой механике» // УФН, **173**, №11, 1221-1240 (2003)
6. К. А. Валиев. «Квантовые компьютеры и квантовые вычисления» // УФН, **175**, №1, 3-39, (2005)