

# Общая физика: современная физика

**Lecturers:**

Алексей Щербаков

**Assistants:**

Александр Зинчик

Леонид Герчиков

Владислав Шоев

**Language:**

Русский

**Credit points:**

6 з.е.

**Educational Program:**

Теоретическая и экспериментальная физика

5 семестр

Беспроводные технологии

5 семестр

Lectures (a.h)*	Practice (a.h)	Labs (a.h)
64	32	32
*1 academic hour = 45 minutes		

# Course content

## 5 семестр

### Общая физика: современная физика

#### Структура курса

##### 1. Квантовая физика

- Спин электрона
- Движение в центральном поле. Водородоподобные атомы Колебательные и вращательные спектры. Магнитный момент. Гиромагнитное отношение. Магнетон Бора. Опыты Штерна-Герлаха и Эйнштейна-де Гааза. Фактор Ланде.
- Тожественность частиц, симметрия волновой функции относительно перестановки частиц, бозоны и фермионы, принцип Паули. Обменное взаимодействие. Самосогласованное поле в сложных атомах, электронная конфигурация атома. Правило Мадделунга-Клечковского. Таблица Менделеева. Атомные термы, метод нахождения термов для заданной электронной конфигурации, спектроскопическая запись состояния атома. Правила Хунда. Характеристическое рентгеновское излучение (закон Мозли)
- Спин-орбитальное взаимодействие. Типы связи: Рассела-Саундерса (LS) и j-j. Сверхтонкое взаимодействие. Тонкая структура терма для случая LS-связи. Эффект Зеемана для случаев слабого и сильного магнитных полей на примере 3P-3S-переходов. Сверхтонкое взаимодействие. Классификация фотонов по полному моменту и чётности (E- и M-фотоны). Интенсивность электродипольного излучения, соотношение интенсивностей излучения фотонов различных типов и мультипольностей. Естественная ширина уровня.
- Ядерный и электронный магнитный резонанс (квантовомеханическая трактовка). Строгие и нестрогие правила отбора при поглощении и испускании фотонов атомами (на примере эффекта Зеемана и ЯМР).
- Квантовые измерения. Парадокс ЭПР. Понятие о квантовой телепортации. Понятие о квантовых каналах связи.

##### 2. Ядерная физика

- Открытие ядра атома (опыты Резерфорда, Гейгера и Марсдена) и его строения (опыты Блэккетта и Чедвика). Энергия связи ядра, экспериментальная зависимость удельной энергии связи ядра от массового числа A. Свойства ядерных сил: радиус действия, глубина потенциала, насыщение ядерных сил, спиновая зависимость.
- Ядерные силы как проявление сильного взаимодействия. Модель Юкавы. Модель жидкой заряженной капли. Формула Вайцеккера для энергии связи ядра. Оболочечная модель и магические числа в осцилляторном потенциале. Одночастичные и коллективные возбуждённые состояния ядра.
- 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.
- Ядерные реакции: экзотермические и эндотермические реакции, порог реакции, сечение реакции (полное и парциальные сечения), каналы реакции, ширины каналов. Модель составного ядра Бора: классическое геометрическое сечение, поправки на волновой характер движения частиц, закон Бете. 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.
- Методы регистрации элементарных частиц. Стандартная модель. Законы сохранения и внутренние квантовые числа. Кварковая структура адронов — мезоны и барионы. Новое квантовое число «цвет», обобщенный принцип Паули. Магнитные моменты протона и нейтрона. Резонансы. Адронные струи. Элементы квантовой хромодинамики: асимптотическая свобода, гипотеза конфайнмента кварков и глюонов, кварковый потенциал. Оценка адронных сечений при высоких энергиях. Несохранение чётности при слабом взаимодействии, опыт Ву. Проблема солнечных нейтрино, нейтринные осцилляции.

##### 3. Элементы физики твердого тела

- Кристаллические структуры твердых тел, трансляционная симметрия кристаллов, решетка Бравэ, элементарная и примитивная ячейки, базис. Рентгеновские и нейтронные методы исследования кристаллических структур, дифракция Брэгга-Вульфа, обратная решетка, зона Бриллюэна.
- Типы связей в кристаллах: кулоновская (ионные кристаллы), ковалентная связь (атомные кристаллы), ван-дер-ваальсовская (молекулярные кристаллы), металлическая (металлы). Энергия отталкивания, потенциал Леннарда-Джонса. Дефекты кристаллической решетки.
- Гармонические колебания одномерной решетки одинаковых атомов и решетки из чередующихся атомов двух сортов. Адиабатическое приближение. Законы дисперсии, квазиимпульс, акустические и оптические моды колебаний атомов в кристаллах. Переход к нормальным модам. Фононы как квазичастицы, аналогия с фотонами.
- Возбужденные состояния кристалла. Решеточная теплоемкость. Закон Дюлонга и Пти. Дебаевское приближение для акустической ветви колебаний твердого тела, температура Дебая. Модель Эйнштейна для описания оптических ветвей колебаний твердого тела. Решеточная теплопроводность, процессы переброса.
- Модель свободных электронов. Характер распределения электронов по энергии при нуле температур, наличие максимальной энергии (энергия Ферми). Энергетическое распределение электронов при ненулевой температуре (распределение Ферми). Химпотенциал, температура вырождения. Плотность электронных состояний при энергии

- Ферми. Электронная теплоемкость и ее температурная зависимость, соотношение с решеточной теплоемкостью.
- Физическая причина появления зон разрешенных и запрещенных значений энергии, модели слабой и сильной связи. Теорема Блоха. Расчет закона дисперсии в модели сильной связи. Фотонные кристаллы. Качественное объяснение различия в электропроводности изоляторов, полупроводников и металлов. Понятие о ферми-жидкости, электроны и дырки как квазичастицы.
  - Электропроводность классического газа носителей в модели Друде–Лоренца. Электропроводность металла. Роль длины свободного пробега. Электронная теплопроводность. Качественное различие механизмов релаксации энергии и импульса электронов в процессах тепло- и электропроводности, закон Видемана–Франца. Правило Маттисена для электронов проводимости в металлах. Температурная зависимость сечения рассеяния электронов на фононах и примесях и друг на друге. Закон Блоха–Грюнайзена.
  - Электронные и дырочные возбуждения в полупроводниках, заряд дырок. Эффективная масса носителей заряда. Условие электронейтральности. Собственные и примесные полупроводники, донорные и акцепторные уровни, оценка энергии мелких примесных уровней. Температурная зависимость положения уровня Ферми в полупроводниках.
  - Зависимость концентрации проводящих электронов от температуры. Электропроводность полупроводников. Подвижность носителей. Температурная зависимость времени релаксации электронов. Контактные явления в полупроводниках. Равенство химпотенциалов при равновесии. (p-n)-переход во внешнем электрическом поле. Выпрямляющие свойства (p-n)-перехода.
  - Сверхтекучесть. Квантовые возбуждения в сверхтекучей жидкости, закон дисперсии. Критерий сверхтекучести Ландау. Качественное объяснение отсутствия вязкости в сверхтекучем гелии. Явление сверхпроводимости, отличие сверхпроводника от идеального металла, эффект Мейсснера, лондоновская глубина проникновения. Роль кристаллической решетки в явлении сверхпроводимости, изотоп-эффект, куперовское спаривание. Качественное подобие сверхтекучести и сверхпроводимости как квантовых явлений в системе бозонов.
  - Длина когерентности, нулевой импульс пары, s-спаривание электронов. Связь длины когерентности с величиной сверхпроводящей щели. Величина щели в теории БКШ. Критическое магнитное поле. Критический ток, правило Сильсби. Квантование магнитного потока. Сверхпроводники I и II рода, понятие о вихрях магнитного потока, вихревая решетка, пиннинг. Первое и второе критические поля, оценки их величин. Высокотемпературные сверхпроводники. Области практического использования и перспективы применения сверхпроводимости.
  - Эффект Ааронова–Бома. Низкоразмерные структуры, понятие о квантовых ямах, проволоках и точках. Двухмерный характер движения электронов в структурах металл–окисел–полупроводник (МОПструктура). Квантование Ландау. Эффект Холла в полупроводниках, холловское удельное сопротивление (постоянная Холла). Квантовый эффект Холла, квантовый эталон сопротивления.
  - Магнетизм веществ: диа-, пара- и ферромагнетики. Формула Ланжевена–Бриллюэна для описания намагничивания парамагнетиков. Парамагнетизм Паули и диамагнетизм Ландау. Квантовая природа ферромагнетизма. Модель Гейзенберга для описания обменного взаимодействия, энергия анизотропии. Одноионная анизотропия. Модель Изинга.
  - Теория среднего поля для описания магнитного упорядочения. Закон Кюри–Вейсса. Возбуждения в спиновой системе ферромагнетиков. Классическое и квантовое описание спиновых волн. Закон 3/2 Блоха. Ферромагнетизм электронов проводимости, критерий Стонера.