

# Учебная программа по курсу «Физика конденсированного состояния»

26 января 2026 г.

1. Введение в электронную теорию твёрдого тела. Модель свободных электронов
  - (a) Определение и общие свойства конденсированного состояния вещества
  - (b) Классификация твёрдых тел по их структуре и электрофизическим свойствам
  - (c) Электро- и теплопроводность твёрдых тел
    - i. Закон Ома
    - ii. Температурная зависимость удельного электросопротивления
    - iii. Закон Фурье
    - iv. Коэффициент теплопроводности
    - v. Закон Видемана-Франца для металлов
  - (d) Модель свободных электронов Друде
    - i. Электроны проводимости как идеальный газ классических частиц
    - ii. Электрон-ионные столкновения, сечение рассеяния и среднее время свободного пробега электронов
    - iii. Расчёт статической электропроводности и коэффициента теплопроводности металлов в рамках элементарной кинетической теории разреженных газов
  - (e) Понятие о термоэлектрических эффектах
    - i. Эффект Зеебека
    - ii. Эффект Пельтье
  - (f) Квантовая теория свободных электронов
    - i. Принцип неразличимости тождественных частиц, фермионы и бозоны
    - ii. Принцип запрета Паули, спин электрона, структура волновой функции газа невзаимодействующих электронов
    - iii. Модель свободных электронов Зоммерфельда, периодические граничные условия
    - iv. Свойства идеального газа свободных электронов в основном состоянии

- A. Импульс и энергия Ферми
  - B. Плотность разрешённых волновых векторов и плотность одноэлектронных уровней энергии
  - C. Энергия основного состояния электронного газа
  - v. Распределение Ферми-Дирака
  - vi. Термодинамические свойства газа свободных электронов
    - A. Температура Ферми
    - B. Условие вырождения электронного газа
    - C. Температурное разложение Зоммерфельда
    - D. Расчёт удельной теплоёмкости вырожденного электронного газа
  - (g) Теория металлической проводимости Зоммерфельда
    - i. Квазиклассическое уравнение Больцмана для неравновесной функции распределения электронов и условия его применимости
    - ii. Общая структура интеграла столкновений с учётом принципа запрета Паули и принцип детального баланса
    - iii. Дифференциальное сечение рассеяния и транспортное время свободного пробега электронов
    - iv. Расчёт статической электропроводности, коэффициента теплопроводности и дифференциальной термо-э.д.с. металлов в рамках квазиклассического уравнения Больцмана в случае упругих электрон-ионных столкновений
    - v. Особенности измерения дифференциальной термо-э.д.с. металлов, биметаллический контур, понятие об электрохимическом потенциале
    - vi. Число Лоренца и закон Видемана-Франца в рамках зоммерфельдовской теории свободных электронов
  - (h) Магнетизм электронного газа
    - i. Определение собственного и орбитального магнитного момента электрона
    - ii. Определение магнитной восприимчивости
  - (i) Диамагнетизм и парамагнетизм. Теорема Бора – Ван Леевен о нулевой магнитной восприимчивости газа классических заряженных частиц.
  - (j) Магнитная восприимчивость больцмановского газа электронов с учётом их собственного магнитного момента
    - i. Закон Кюри
    - ii. Трудности классических теорий электронного газа
  - (k) Магнитная восприимчивость вырожденного электронного газа
    - i. Парамагнетизм Паули
    - ii. Понятие о диамагнетизме Ландау
    - iii. Недостатки модели свободных электронов
2. Свойства кристаллических решёток

- (a) Трансляционная симметрия кристаллов
  - i. Решётка Бравэ и основные векторы трансляций
  - ii. Простая, объёмно-центрированная и гранецентрированная кубические решётки
  - iii. Примитивная (элементарная) ячейка, ячейка Вигнера-Зейтца и условная ячейка
  - iv. Кристаллические структуры и решётки с базисом
- (b) Гексагональная плотноупакованная структура
  - i. Координационное число и коэффициент компактности (упаковочный множитель)
  - ii. Алгоритм построения различных плотноупакованных структур
  - iii. Структуры типа хлорида натрия, алмаза и цинковой обманки
- (c) Понятие об элементах симметрии кристаллических решёток и группе симметрии (пространственной группе) решётки Бравэ
  - i. Поворотные оси симметрии
  - ii. Теорема о симметрии кристаллических решёток по отношению к поворотам
- (d) Прямая и обратная решётки
  - i. Свойства обратной решётки
  - ii. Примеры обратных решёток
  - iii. Первая зона Бриллюэна
  - iv. Атомные плоскости и семейства атомных плоскостей
  - v. Теорема о связи семейств атомных плоскостей с векторами обратной решётки
  - vi. Индексы Миллера
- (e) Условия конструктивной интерференции рентгеновских лучей в кристалле
  - i. Формулировка Брэгга
  - ii. Формулировка Лауэ
  - iii. Доказательство эквивалентности формулировок
- (f) Геометрические формулировки условий конструктивной интерференции
  - i. Построение Бриллюэна
  - ii. Брэгговские плоскости
  - iii. Построение Эвальда
- (g) Экспериментальные методы определения кристаллических структур
  - i. Метод Лауэ
  - ii. Метод врачающегося кристалла
  - iii. Порошковый метод (метод Дебая-Шеррера)
- (h) Геометрический структурный фактор кристаллических структур

3. Состояния электронов в кристаллической решётке. Основы зонной теории твёрдых тел
  - (a) Квантовые состояния электрона в периодическом потенциале
    - i. Теорема Блоха
    - ii. Квазимпульс электрона и его свойства
    - iii. Границные условия Борна-Кармана для кристаллов и число разрешённых значений квазимпульса
    - iv. Периодичность волновых функций и энергетического спектра в обратном пространстве
    - v. Энергетические зоны и их свойства
    - vi. Запрещённые зоны энергий, описание электронных состояний в схемах приведённых и повторяющихся зон
  - (b) Понятие о « $\vec{k}\vec{p}$ » методе
  - (c) Теорема о средней скорости блоховского электрона
  - (d) Свойства энергетического спектра вблизи экстремумов энергии в зоне Бриллюэна
  - (e) Тензор обратных эффективных масс электрона и его свойства
  - (f) Отсутствие вклада в электрический ток от полностью заполненных зон (инертность заполненных зон), критерии металла и диэлектрика
    - i. Диэлектрики
    - ii. Полупроводники
    - iii. Металлы
    - iv. Полуметаллы