

Министерство образования и науки Российской Федерации

ПРОГРАММА-МИНИМУМ
кандидатского экзамена по специальности
01.04.07 "Физика конденсированного состояния"
физико-математическим и техническим наукам

Программа-минимум
содержит 7 стр

1. Силы связи в твердых телах

1.1 Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

1.2 Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO₃.

1.3. Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.

2. Симметрия твердых тел

2.1 Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера - Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.

2.2 Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

2.3 Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

3. Дифракция в кристаллах

3.1 Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

3.2 Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

4. Колебания решетки

4.1 Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

5. Тепловые свойства твердых тел

5.1 Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

5.2 Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

5.3 Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

5.4 Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

6. Электронные свойства твердых тел

6.1 Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

6.2 Приближение почти свободных электронов. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Брэгговские отражения электронов. Энергетические зоны.

6.3. Приближение сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.

6.4 Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

6.5 Границы применимости зонной теории. Экситоны, электронно-дырочная жидкость и экситонные поляритоны в полупроводниках

6.6 Двумерные электронные системы. Гетероструктуры и квантовые ямы. Квантовый эффект Холла. Графен и другие однослойные квантовые системы.

6.7 Спин-орбитальное взаимодействие: физическая природа, общий вид части гамильтониана электрона, отвечающей спин-орбитальному взаимодействию, энергия взаимодействия для атомарного электрона в центрально-симметричном поле. Спин-орбитальное взаимодействие, вызванное асимметрией в твердых телах (взаимодействие Рашбы), дисперсионное соотношение для электрона при наличии взаимодействия Рашбы, связь между импульсом электрона и его спином."

7. Магнитные свойства твердых тел

7.1 Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

7.2 Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

7.3 Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

7.4 Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков. Спиновые волны, магноны.

7.5 Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

8. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел

8.1 Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

8.2 Поглощение и усиление света в полупроводниках (межзонные, примесные и экситонные переходы, поглощение свободными носителями). Определение основных

характеристик полупроводника из оптических исследований.

8.3 Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).

8.4 Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

9. Сверхпроводимость

9.1 Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Квантование магнитного потока. Критическое поле и критический ток.

9.2 Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Промежуточное и смешанное состояние. Вихри Абрикосова.

9.3 Эффект Джозефсона. Собственная индуктивность и частота джозефсоновского перехода. Зависимость энергии джозефсоновского перехода от разности фаз. Тепловые и квантовые флуктуации. Сверхпроводящие интерферометры.

9.4 Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель. Спектр квазичастиц в сверхпроводнике. Эффект близости на границе нормальный металл - сверхпроводник. Андреевское отражение.

Основная литература

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. I, II. М.: Мир, 1979.
3. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.
4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
5. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высш. шк., 2000.
6. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1984.
7. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979.
8. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводимости. МЦ НМО, М., 2000.
9. Давыдов А.С. "Квантовая механика" Санкт-Петербург. БХВ-Петербург, 2011
10. Тимофеев В. Б. Оптическая спектроскопия объемных полупроводников и наноструктур Изд-во Лань, , 2015