

«ВВЕДЕНИЕ В ФИЗИКУ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА»

АННОТАЦИЯ

Спецкурс «Введение в физику конденсированного состояния вещества» является одной из дисциплин в рамках специальности «Наносистемы и нанос устройства». В процессе обучения студенты ознакомятся с понятиями структурных единиц вещества, с атомными и молекулярными орбиталями. Научатся строить гибридные орбитали. Далее будут рассмотрены кристаллическая структура твердых тел, зонная теория, квантовые явления. Будут рассмотрены колебания кристаллической решетки, фононы, статистика фононов. Общая картина спектра колебаний кристаллической решетки. Колебания одномерной цепочки. Акустические фононы и их закон дисперсии. Оптические фононы. Закон дисперсии. Спектральная плотность фононов в трехмерном, двумерном и одномерном случаях. Температура Дебая. Квантовая теория электронных (электрических, магнитных, гальваномагнитных, оптических свойств. Будут рассмотрены электроны в металлах, статистика Ферми – Дирака и Бозе-Эйнштейна. Свойства электронного газа в основном состоянии. Термодинамические свойства газа свободных электронов в приближении сферы Ферми. Электроны в периодическом поле. Теорема Блоха. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Поверхность Ферми. Приближение почти свободных электронов. Закон дисперсии и волновые функции электронов. Современные методы расчета зонной структуры. Псевдопотенциал. Метод сильной связи. Плотность состояний. Электронная теплоемкость. Электропроводность металлов. Квантование энергетического спектра свободных электронов в магнитном поле. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта. Экситоны в двумерных и одномерных системах.

СОДЕРЖАНИЕ КУРСА С РАЗБИВКОЙ ПО ЛЕКЦИЯМ

Всего – 36 часов, 18 лекций по 6 разделам

ТЕМА 1 СТРУКТУРНЫЕ ЕДИНИЦЫ ВЕЩЕСТВА, АТОМНЫЕ И МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОРБИТАЛИ, СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Лекция 1

Понятие частиц в квантовой механике. Структурные единицы вещества. Роль ядер, электронных оболочек, сил взаимодействия, статистики структурных единиц в формировании свойств конденсированных сред. Электрон в поле сферически симметричного потенциала, его энергия, волновая функция. Атом водорода. Геометрия волновых функций s, p, d, f состояний. Атомные орбитали. Схема энергетических уровней в атоме, заполнение их электронами. 1-ое и 2-ое правила Хунда. Гибридные орбитали. Условия гибридизации. Построение гибридных орбиталей. Основные типы гибридных орбиталей, σ , π и δ связи. Молекулярные орбитали: связывающие, разрыхляющие и несвязывающие, многоцентровые и двухцентровые орбитали.

ТЕМА 2 СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Лекция 2

Взаимодействия ван дер Ваальса. Молекулярные кристаллы. Ионные связи, ионные кристаллы. Ковалентные связи. Металлическая связь. Водородная связь.

ТЕМА 3 КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ РЕШЕТКИ

Лекция 3

Кристаллическая структура и ее описание. Двумерные и трехмерные кристаллические решетки Браве. Элементы симметрии кристаллических решеток Браве. Энергия связи решетки, константа Маделунга и ее расчет.

Лекция 4

Ячейка Вигнера-Зейтца, ее построение для всех решеток Браве. Обратная решетка. Построение обратных решеток для трехмерных решеток Браве.

ТЕМА 4 ФОНОНЫ

Лекция 5

Колебания кристаллической решетки. Фононы. Статистика фононов. Общая картина спектра колебаний кристаллической решетки. Колебания одномерной цепочки. Акустические фононы и их закон дисперсии. Оптические фононы. Закон дисперсии.

Лекция 6

Спектральная плотность фононов в трехмерном, двумерном и одномерном случаях. Температура Дебая. Общая теория теплоемкости кристалла. Модель Дебая. Теплоемкость решетки при высоких, низких и промежуточных температурах.

ТЕМА 5 ЭЛЕКТРОННАЯ ФЕРМИ-ЖИДКОСТЬ

Лекция 7

Невзаимодействующие электроны в потенциальном ящике. Энергия и импульс Ферми. Основное состояние электронной ферми-жидкости. Модель ферми-жидкости.

Элементарные возбуждения. Закон дисперсии. Статистика Ферми–Дирака и Бозе–Эйнштейна.

Лекция 8

Электрон в поле периодического потенциала кристаллической решетки. Эффективный потенциал. Волновая функция электрона. Одноэлектронное приближение, адиабатическое приближение. Теорема Блоха.

Лекция 9

Квазиимпульс электрона. Закон дисперсии электрона в решетке. Энергетические зоны. Зоны Бриллюэна. Построение зон Бриллюэна для двумерной квадратной решетки. Зоны Бриллюэна для различных трехмерных кристаллических решеток. Заполнение зон электронами. Метод Гэрисона построения поверхностей Ферми. Поверхности Ферми металла с плоской квадратной решеткой при различной валентности.

Лекция 10

Поверхности Ферми щелочных металлов. Поверхности Ферми благородных металлов. Поверхности Ферми металлов с простой гексагональной решеткой. Поверхности Ферми металлов с гексагональной плотноупакованной решеткой. Классификация поверхностей Ферми.

Лекция 11

Поверхности Ферми в двумерных и квазидвумерных системах. Плотность электронных состояний в трехмерном случае. Плотность электронных состояний в двумерном и одномерном случае. Особенности Ван Хофа в плотности состояний.

Лекция 12

Эффективная масса электрона. Эффективная масса плотности состояний. Циклотронная масса электрона. Ферми-жидкостная и электрон-фононная перенормировка эффективной массы электронов в металлах. Электронная теплоемкость.

Лекция 13

Электропроводность металлов. Феноменологическое описание электропроводности. Электропроводность в модели фермиевских электронов. Формула Лифшица.

Лекция 14

Особенности электропроводности и ее связь с поверхностью Ферми в низкоразмерных системах. Температурная зависимость электропроводности. Электронная теплопроводность.

ТЕМА 6 ЭЛЕКТРОНЫ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Лекция 15

Квантование энергетического спектра свободных электронов в магнитном поле. Уровни Ландау. Квазиклассическое приближение. Квантование энергетического спектра электронов в магнитном поле в реальных металлах.

Лекция 16

Спиновое расщепление уровней Ландау. Траектория движения электрона в кристалле в магнитном поле в пространстве импульсов и в реальном пространстве. Распределение квантованных магнитным полем электронов в пространстве импульсов. Спектральная плотность состояний электронов в магнитном поле.

Лекция 17

Квантовые осцилляционные эффекты. Эффект Шубникова-де Гааза, эффект де Гааза-ван Альфена. Связь частоты осцилляций Шубникова-де Гааза с энергией Ферми, концентрацией электронов и экстремальным сечением поверхности Ферми.

**ТЕМА 7 ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ.
ЭКСИТОНЫ**

Лекция 18

Электроны и дырки в полупроводниках. Закон дисперсии электронов и дырок. Плотность состояний электронов и дырок. Статистика электронов и дырок и их концентрации. Экситоны Френкеля и Ванье-Мотта. Прямые экситоны. Непрямые экситоны. Экситонный газ низкой плотности, электронно-дырочная жидкость. Экситонный диэлектрик. Переход полуметалла в состояние экситонного диэлектрика. Экситоны в двумерных и одномерных системах.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Основная литература

1. Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский, "Квазичастицы в физике конденсированного состояния", М., физматлит, 2007.
2. Н. Ашкрофт, Н. Мермин, "Физика твердого тела" Издательство " Мир", Москва, 1979 г.
3. Ч. Киттель - Введение в физику твердого тела, М., Наука, 1978, 792 стр.

Дополнительная литература

1. П.В. Елютин, В.Д. Кривченков - Квантовая механика, М., Наука, 1976.
2. Ю.И. Сиротин, М.П. Шаскольская, "Основы кристаллографии", М., Наука, 1979.
3. Дж. Займан, "Электроны и фононы" Издательство иностранной литературы, Москва, 1962 г.
4. А. А. Абрикосов "Основы теории металлов" Москва, Издательство "Наука" Главная редакция физико-математической литературы 1987 г.
5. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц, "Электродинамика сплошных сред", М., Наука, 1982.
6. А. Крэкнелл, К. Уонг, "Поверхность Ферми", М., Атомиздат, 1978.
- Э.И. Рашба, "Экситоны", М., Наука, 1985.
7. В. Л. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников "Физика полупроводников", М., "Наука", 1977 г.

СПИСОК КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

1. Структурные единицы вещества
2. Атомные и молекулярные орбитали, гибридные орбитали
3. Какая решетка называется решеткой Браве ?
4. Что такое примитивная элементарная ячейка ?
5. Нарисовать примитивную элементарную ячейку решетки ОЦК.
6. Нарисовать примитивную элементарную ячейку решетки ГЦК.
7. Найти, какую часть объема элементарной ячейки ПК, ОЦК и ГЦК занимают атомы, если их представить в виде касающихся друг друга шаров.
8. Что называется энергией связи кристалла ? Оценить энергию связи 1 моля ионного кристалла.
9. Что такое константа Маделунга ? Рассчитать константу Маделунга для одномерной бесконечной цепочки ионов чередующегося заряда, находящихся на равном расстоянии "a" друг от друга.
10. Какие элементы симметрии существуют в 3-мерных и двумерных решетках Браве ? Указать все элементы симметрии двумерных решеток Браве.

11. Доказать, что в трансляционной решетке не может быть оси 5-го порядка.
12. Найти теоретическое значение отношения c/a для идеальной ГПУ решетки, ее координационное число и коэффициент заполнения.
13. Какая квазичастица называется фононом ?
14. Сформулировать основные предположения теории теплоемкости Дебая.
15. Дать определение зоны Бриллюэна для фононов.
16. Что такое фазовая скорость фонона ? Построить зависимость фазовой скорости от волнового числа для одномерной цепочки атомов одного сорта.
17. Что такое поверхность Ферми ? Построить поверхность Ферми для металла с кристаллической решеткой ОЦК, ГЦК, ПК, ПГ и валентностью $Z=2, 3, 4$.
18. Что такое энергия Ферми ? Оценить энергию Ферми и скорость Ферми электронов в металле.
19. Что такое плотность состояний и спектральная плотность состояний ? Рассчитать плотность состояний на уровне Ферми в металле.
20. Как выглядит распределение электронов в p -пространстве при квантовании их энергетического спектра в магнитном поле ?
21. Что такое квантование Ландау ?
22. Какие факторы определяют частоту осцилляций Шубникова – де Гааза в металлах.
23. Чем определяется теплоемкость металла при комнатной температуре ?
24. Почему электроны при комнатной температуре не вносят существенного вклада в теплоемкость металла ? Рассчитать и оценить температуру, при которой теплоемкость решетки в металле сравняется с электронной теплоемкостью.
25. Чем определяется теплопроводность диэлектриков ?
26. Почему теплопроводность сплавов существенно ниже, чем чистых металлов ?
27. Получить теоретическое и численное значение электронной части теплопроводности металла при комнатной температуре.
28. Как изменяется энергия экситона при уменьшении размерности полупроводника ?
Как зависит энергия экситона от его массы ? Чем определяется энергия связи экситона ?
29. Что такое экситонный диэлектрик ?