

КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

(Дисциплина специализации, 5 курс, зимний семестр)

Цели изучения дисциплины

Углубленное изучение принципов квантовой теории твердого тела как одной из важнейших составляющих современной квантовой теории. Изучение основных понятий строения конденсированного вещества и базовых моделей, используемых как в физике конденсированного состояния вещества, статистической физике, так и в других науках.

Содержание дисциплины (18 лекций по 2 часа)

ДИНАМИКА КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕШЕТКИ. КВАЗИЧАСТИЦЫ

Периодические структуры. Трансляционная симметрия. Обратная решетка. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна.

Фононы в твердых телах. Концепция квазичастиц. Гармоническое приближение. Нормальные колебания. Граничные условия Борна-Кармана. Нормальные координаты. Фононы.

Термодинамика фононов. Функции распределения частот. Модели Дебая и Эйнштейна. Закон Дебая для теплоемкости. Закон Дюлонга-Пти.

Динамика решетки разупорядоченных кристаллов. Типы дефектов в кристаллах. Спектральная плотность решетки с примесями замещения. Локальные колебания. Резонансные колебания. Локализация колебательных состояний.

ЭЛЕКТРОНЫ В МЕТАЛЛАХ

Электрон в периодической кристаллической решетке. Блоховские функции. Приближение сильной связи. Модель слабосвязанных электронов. Электронный энергетический спектр. Зонная структура твердых тел. Поверхность Ферми.

Квантовые жидкости. Электронная Ферми-жидкость. Квазичастицы Ландау.

Модель электронов проводимости в металле. Вырожденный электронный газ. Диэлектрическая проницаемость. Эффекты экранировки. Константа экранирования Томаса-Ферми. Формула Дебая-Хюккеля. Экранировка заряженной примеси. Спектр элементарных возбуждений. Переход Мотта. Вигнеровская кристаллизация.

Взаимодействие электронов с фононами. Связанные электрон-ионные колебания. Перенормировка продольных мод. Эффект Кона. Продольные колебания плотности заряда. Эффективное электрон-электронное взаимодействие.

КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Кинетика электронов проводимости. Электрическая проводимость. Рассеяние электронов на фононах и примесях.

Гальваномагнитные свойства металлов. Электроны проводимости в магнитном поле. Эффект Холла. Квантовый эффект Холла. Магнетосопротивление. Двухзонная модель. Гигантское и колоссальное магнетосопротивление.

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ

Квантовые Бозе-жидкости. Слабонеидеальный газ Бозе-Эйнштейна. Каноническое преобразование Боголюбова. Квазичастицы. Конденсация Бозе-Эйнштейна. Сверхтекучесть.

Модели сверхпроводимости. Модель Бардина-Купера-Шриффера. Куперовские пары. Квазичастицы Боголюбова. Спектр возбуждений сверхпроводника. Андреевское отражение. Температура сверхпроводящего перехода. Кулоновская экранировка Боголюбова-Толмачева-Ширкова. Механизмы сверхпроводимости.

Магнитные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера. Сверхпроводники первого и второго рода. Глубина проникновения. Магнитная структура смешанного состояния. Эффекты близости.

МАГНЕТИЗМ

Спиновые волны в магнетиках. Типы магнитных веществ. Обменное взаимодействие. Модель Гейзенберга. Модель Изинга. Спиновые волны в модели Гейзенберга. Намагниченность в приближении Тябликова.

Сильнокоррелированные электронные системы. Смешанная валентность. Промежуточная валентность. Тяжелые фермионы.

Критические явления. Термодинамические свойства и критические показатели. Флуктуация параметра порядка.

ФАЗОВЫЕ ПЕРЕХОДЫ

Фазовые переходы и параметры порядка. Симметрия параметра порядка. Нарушенная симметрия. Дальний порядок и размерность. Квантовые фазовые переходы.

Микроскопическая модель структурного фазового перехода. Типы структурных фазовых переходов. Сегнетоэлектричество. Теория самосогласованных фононов. Мягкая фононная мода и центральный пик в спектре возбуждений.

Учебно-методическое обеспечение

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. С.В. Тябликов. Методы квантовой теории магнетизма. М : Наука, 1965.
2. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. М : Мир, 1974 (2-е изд.).
3. Н.М.Плакида. Некоторые вопросы теории твердого тела. М: МГУ, 1974.

4. А.И.Ансельм. Введение в теорию полупроводников. М : Наука, 1978.
5. А.А.Абрикосов. Основы теории металлов. М : Наука, 1987.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Д.Пайнс. Элементарные возбуждения в твердых телах. М : Мир, 1965.
2. Н.Ашкрофт, Н.Мермин. Физика твердого тела. М : Мир, 1979, т.т. 1,2.
3. С.В.Вонсовский, М.И.Кацнельсон. Квантовая физика твердого тела. М : Наука, 1983.
4. В.Л.Аксенов, Н.М.Плакида, С.Стаменкович. Рассеяние нейтронов сегнетоэлектриками. М: Энергоатомиздат, 1984.
5. Х.Бетгер. Принципы динамической теории решетки. М : Мир, 1986.
6. Е.М.Лифшиц, Л.П.Питаевский. Статистическая физика, часть 2, Теория конденсированного состояния, 2001 (3-е изд.).

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯМ

Материал излагается в виде лекций. В начале каждой лекции кратко формулируются основные положения из предыдущих занятий по изучаемой теме, в конце лекции формулируются основные утверждения. По каждой теме даются задачи. Проводится два коллоквиума в течение семестра для контроля усвоения учебного материала. Перед экзаменом проводится консультация.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ

После каждой лекции материал прорабатывается с использованием конспекта, основной и дополнительной литературы, решаются задачи. Формулируются вопросы преподавателю.