

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

В.А. Кашурников, А.В. Красавин

годовой курс

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

ЛЕКЦИИ

3 часа в неделю

ВЕСЕННИЙ СЕМЕСТР

1 неделя. Введение. Фазовые переходы в системе многих частиц. Классификация фазовых переходов. Нарушения симметрии при фазовом переходе. Переход парамагнетик – ферромагнетик. Поле упорядочения. Обменное взаимодействие.

2 неделя. Модель Изинга. Приближение поля Вейсса. Уравнение Вейсса. Свободная энергия ферромагнетика в модели Изинга. Температура перехода Кюри-Вейсса. Теплоемкость, восприимчивость, учет флуктуаций.

3 неделя. Точные решения в одномерной и двумерной моделях Изинга. Отсутствие фазового перехода в одномерном случае.

4 неделя. Модель Гейзенберга для ферромагнетиков. Квантовая и классическая модели. Основное состояние. Возбуждения в ферромагнетике. Спиновые волны. Магноны. Термодинамика магнонов.

5 неделя. Антиферромагнетизм. Основное состояние. Спектр и термодинамика возбуждений в антиферромагнетиках. Классическая антиферромагнитная модель. Понятие о ферромагнетизме.

6 неделя. Переход пар – жидкость. Конденсация. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Модель решеточного газа. Переход жидкость – твердое тело. Кристаллизация.

7 неделя. Зонная теория ферромагнетизма. Спиновый парамагнетизм в теории Стонера. Переход металл – диэлектрик. Модель Хаббарда. Модели Мотта. Переход металл – диэлектрик в неупорядоченных системах. Модель Андерсона.

8 неделя. Бозе-эйнштейновская конденсация. Возбуждения в неидеальном бозе-газе. Сверхтекучесть. Критерий сверхтекучести Ландау.

9 неделя. Сверхпроводимость как термодинамический фазовый переход второго рода. Основные экспериментальные факты для сверхпроводников. Обзор феноменологических теорий сверхпроводимости. Теория Лондонов. Природа эффективного притяжения между электронами. Диэлектрический формализм.

10 неделя. Куперовские пары. Энергия связи и радиус. Теория БКШ. Гамильтониан БКШ. Волновая функция БКШ. Уравнение для параметра порядка при нулевой температуре. Энергия конденсации.

11 неделя. Возбуждения в сверхпроводниках. Спектр возбуждений. Щель в спектре возбуждений. Основное уравнение БКШ. Критическая температура перехода. Термодинамика сверхпроводников. Теплоемкость и ее температурная зависимость.

12 неделя. Теория эффекта Мейснера. Глубина проникновения. Поглощение электромагнитного поля и ультразвука. Туннельный эффект. Эффект Джозефсона. Неравновесная сверхпроводимость при электромагнитной и туннельной инжекции.

13 неделя. Уравнения Гинзбурга-Ландау (Г-Л) для пространственно-неоднородных систем. Функционал Г-Л. Феноменологический вывод. Лондоновская длина. Длина когерентности. Параметр Г-Л. Теория Боголюбова и уравнения Боголюбова. Квазичастицы Боголюбова.

14 неделя. Разрушение сверхпроводимости магнитным полем. Термодинамический потенциал сверхпроводника. Сверхпроводники первого и второго рода. Неоднородное проникновение магнитного поля. Вихри Абрикосова. Структура и свойства вихревых нитей.

15 неделя. Взаимодействие вихревых нитей. Решетка вихрей. Намагниченность сверхпроводников первого и второго рода. Теорема площадей. Влияние неоднородностей, границ и дефектов на проникновение магнитного поля.

16 неделя. Поверхностная сверхпроводимость. Контактные явления. Тонкие пленки. Жесткие сверхпроводники второго рода. Пиннинг нитей. Критический ток. Критическое состояние. Вязкое движение и крип вихрей. "Грязные" сверхпроводники. Влияние немагнитных и магнитных примесей на критическую температуру. Теорема Андерсона.

ОСЕННИЙ СЕМЕСТР

1 неделя. Обычный эффект Холла. Применение. Случай сильного и слабого поля. Понятие магнитной длины. Двумерный электронный газ.

2 неделя. Целый квантовый эффект Холла. История открытия. Теоретическое объяснение. Квантование уровней в магнитном поле (подуровни Ландау).

3 неделя. Дробный квантовый эффект Холла. История открытия и современное состояние эксперимента. Система уровней в первой зоне Ландау. Понятие Лафлиновской жидкости как нового состояния двумерного электронного газа. Возбуждения с дробным зарядом.

4 неделя. Теоретические и экспериментальные исследования дробного эффекта Холла. Фазовые переходы кристалл Вигнера – жидкость Лафлина. Численное моделирование.

5 неделя. Обычные (низкотемпературные) сверхпроводники. Исторический очерк. Основные экспериментальные данные и теоретические представления. Высокотемпературные сверхпроводники (ВТСП) и структуры типа A15. История открытия.

6 неделя. Основные классы ВТСП. Особенности и отличия от низкотемпературных соединений. Основные эксперименты.

7 неделя. Влияние давления, облучения, примесей, внешних полей на ВТСП. Кристаллическая структура. Эффект Холла. Фазовые диаграммы. Антиферромагнитное упорядочение. Особенности вихревого состояния.

8 неделя. Особенности электронного строения, поверхность Ферми, дисперсия возбуждений. Эксперимент. Симметрия сверхпроводящей щели, s- и d-спаривание. Обзор теоретических моделей ВТСП. Модели с электрон-фононным механизмом спаривания.

9 неделя. Нефононные механизмы спаривания носителей заряда в ВТСП. "Спиновые мешки" Шриффера и модель RVB Андерсона. Экситонный механизм. Плазменная модель. Модель Хаббарда. Основные свойства и применение к ВТСП. t-J-модель и многозонная модель Эмери для плоскости CuO_2 .

10 неделя. Теоретические и численные исследования моделей ВТСП. Методы точной диагонализации и Монте-Карло. Экспериментальные наблюдения поверхности Ферми из фотоэмиссионных спектров. Численное восстановление обобщенной плотности состояний, дисперсии квазичастиц и эквипотенциальных поверхностей из данных метода Монте Карло.

11 неделя. Сверхтекучесть изотопа ^4He . Исторический очерк. Экспериментальные данные. Теория Ландау сверхтекучей бозе-жидкости. Возбуждения. Гидродинамика.

12 неделя. Изотоп ^3He – сверхтекучая ферми-жидкость. История открытия. Эффект Померанчука. Три сверхтекучие фазы. Теоретические представления. Р-спаривание. Фаза Андерсона-Морела и Бальяна-Верхтамера. Смеси ^3He в ^4He . Уровни Андреева.

13 неделя. Бозе-конденсация в газовой фазе. Спин-поляризованный водород. Эксперименты в щелочных металлах. Сверхнизкое охлаждение. Наблюдение бозе-конденсата. Трехчастичная рекомбинация и закон "1/6". Трехмерный и двумерный газ – проблемы конденсации.

14 неделя. Протекание жидкого гелия в тонких пористых каналах. Фазовые переходы моттовский изолятор – сверхтекучая жидкость. Низкоразмерная сверхтекучесть. Проблема существования фазовых переходов. Критерии. Примеры. Бозонная модель Хаббарда. Фазовые диаграммы сверхтекучесть – бозе-стекло – моттовский изолятор. Связь с другими моделями. Сверхтоковые состояния.

15 неделя. Критерии фазовых переходов для одномерных систем. Особенности одномерной ситуации. Понятие о ренормализационной группе. Теоретические исследования критических точек в бозонной модели Хаббарда.

16 неделя. Спиновые цепочки, плоскости. Анизотропные модели Гейзенберга. Фазовые диаграммы. Треугольная решетка и решетка КагOME. Фазовые переходы в спин-1 одномерной модели. Магнитные макромолекулы – наномангниты. Сканирующий туннельный микроскоп.