

# 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  $\text{CuO}_2$ .

**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  $^4\text{He}$ . Исторический очерк. Экспериментальные данные. Теория Ландау сверхтекучей бозе-жидкости. Возбуждения. Гидродинамика.

**12 неделя.** Изотоп  $^3\text{He}$  – сверхтекучая ферми-жидкость. История открытия. Эффект Померанчука. Три сверхтекучие фазы. Теоретические представления. Р-спаривание. Фаза Андерсона-Морела и Бальяна-Вертхамера. Смеси  $^3\text{He}$  в  $^4\text{He}$ . 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.