

Современные проблемы физики конденсированного состояния

Программа дисциплины

Объем: 78 часов

Кафедра исполнитель: кафедра Физики твердого тела

Авторы программы: В.А. Кашурников, А.В. Красавин

Для групп: Т09-25, С09-01, Т10-25, С10-01, Е10-01

Аннотация

Представлены основные обзорные данные по эксперименту и теории целого и дробного квантового эффекта Холла, основные результаты исследований по высокотемпературным сверхпроводникам, обзорно рассмотрены основные модели, претендующие на описание механизма притяжения носителей заряда в ВТСП. Рассмотрены основные физические явления, сопровождающие сверхтекучие фазовые переходы в гелии-3 и гелии-4, различие фазовых переходов в трехмерном случае и в низкоразмерных сильнокоррелированных системах, таких как сверхтекучий гелий в одномерных каналах, спиновые цепочки и лестницы и т.д., бозе-конденсация в щелочных металлах. Материал сопровождается обзором истории открытия явлений, библиографическими ссылками, если необходимо, достаточно детальным изложением теоретических представлений, по выборочным темам предлагаются подробно разобранные задачи.

Учебная задача

Цель курса – ознакомление с современными взглядами на актуальные проблемы физики твердого тела, интенсивно развиваемые в последнее время, на вопросы современной теории и эксперимента, на наиболее яркие научные достижения последних 15-20 лет развития физики конденсированного состояния.

Структура курса

Осенний семестр: лекции – 3 часа в неделю; весенний семестр: лекции – 2 часа в неделю.

Формы контроля: промежуточный – домашнее задание, итоговый – экзамен.

Входные и выходные компетенции

Входные компетенции: уравнения математической физики, квантовая механика, теория вероятностей, статистическая физика, термодинамика, физика твердого тела.

По окончании курса студент должен **знать**: теорию фазовых переходов, формализм вторичного квантования, модели сильнокоррелированных систем, теорию БКШ, теорию Гинзбурга – Ландау, теорию эффекта Холла, основные свойства ВТСП; **уметь**: применять теоретические знания для решения задач и исследования моделей в области фазовых переходов в коррелированных системах; **владеть**: методами вторичного квантования, методами теории БКШ, методами теории фазовых переходов Гинзбурга – Ландау.

Содержание курса

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

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

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

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

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.

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

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

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.

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

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

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.

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

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

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

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

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.

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 .

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 эквивалентных поверхностей из данных метода Монте Карло.

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

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

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.

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.

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

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

Литература

Основная

№	
1	Браут Р. Фазовые переходы. М.: Мир, 1967. 288 с.
2	Елесин В.Ф., Кашурников В.А. Физика фазовых переходов. Учебное пособие. М.: МИФИ, 1997. 177с.
3	Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводников. М.: Наука,

	1982. 238 с.
4	Де Жен П. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М.: Мир, 1968.
5	Александров А.С., Елесин В.Ф. Физика сверхпроводимости. М.: МИФИ, 1979.
6	Александров А.С., Елесин В.Ф., Павловский В.В. Сборник задач по физике сверхпроводимости. М.: МИФИ, 1986.
7	Александров А.С., Елесин В.Ф., Павловский В.В. Физика сверхпроводимости. Электродинамика сверхпроводников. М.: МИФИ, 1985.

Дополнительная

№	
1	Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1966.
2	Изюмов Ю.А., Скрябин Ю.Н. Статистическая механика магнитоупорядоченных систем. М.: Наука, 1987, 264с.
3	Мотт Н.Ф. Переходы металл-изолятор. М.: Наука, 1979, 342с.
4	Паташинский Д.З., Покровский В.Л. Флуктуационная теория фазовых переходов. М.: Наука, 1982. 381 с.
5	Свидзинский А.В. Пространственно-неоднородные задачи теории сверхпроводимости. М.: Наука, 1970, 311с.
6	Высокотемпературные сверхпроводники. Под ред. Д. Нелсона, М. Уиттингема, Т. Джорджа. М.: Мир, 1988, 400 с.