

ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА И НАНОСИСТЕМ

Составитель – д.ф.-м.н., проф. А. Н. Васильев (физический факультет МГУ)

Д.ф.-м.н., в.н.с. Людмила Ивановна Рябова (химический факультет МГУ)

- Лекции и семинары 1 – 12

Д.ф.-м.н., в.н.с. Казначеев Анатолий Викторович (ИНЭОС РАН)

- Лекции и семинары 13 – 16

К.ф.-м.н., с.н.с. Маркина Мария Михайловна (физический факультет МГУ)

- Лекции и семинары 17 – 23

В программу курса включены базовые представления об электронной, спиновой и упругой подсистемах твердого тела. Описаны жидкие кристаллы как особый тип наноструктурированных систем. Предоставлена информация об эффектах наноструктурирования сегнетоэлектрических, магнитных и сверхпроводящих функциональных материалов.

Основы зонной теории твердых тел

Лекция 1.

Стационарные состояния и энергетический спектр электронов в кристалле. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение (метод Хартри-Фока). Самосогласованное поле. Элементарные возбуждения (квазичастицы). Функция Блоха. Обратная решетка.

Лекция 2.

Периодичность волновых функций и энергий по квазиволновому вектору. Приближение сильно связанных электронов. Приближение слабой связи. Потенциал Кронига-Пенни. Зоны Бриллюэна. Циклические граничные условия Кармана-Борна.

Лекция 3.

Метод эффективной массы. Эффективная масса как характеристика закона дисперсии. Понятие дырки. Определение эффективных масс электронов и дырок методом циклотронного резонанса. Водородоподобные примесные центры. Мелкие и глубокие примесные уровни в полупроводниках.

Лекция 4. Семинар

Лекция 5.

Колебания одномерной цепочки из одинаковых атомов и атомов двух типов. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоемкость решетки и электронного газа. Модель Эйнштейна. Модель Дебая.

Лекция 6.

Функция плотности состояний для квадратичного изотропного и не изотропного законов дисперсии. Эффективная масса плотности состояний. Функция распределения Ферми. Вырожденная и невырожденная статистики носителей заряда. Зависимость положения уровня Ферми от температуры.

Лекция 7.

Квантование энергии электронов в магнитном поле. Плотность состояний в магнитном поле.

Лекция 8.

Электропроводность и подвижность. Механизмы рассеяния носителей заряда. Эффект Холла. Случаи монополярной и биполярной проводимости.

Лекция 9. Семинар

Лекция 10.

Дебаева длина экранирования. Обедненный слой Шоттки. Работа выхода и контактная разность потенциалов. Запирающий и антизапирающий слои. Барьер Шоттки. p-n переходы в полупроводниках. Вольтамперная и вольтфарадная характеристики p-n переходов. Туннельный диод.

Лекция 11.

Статические поля. Поляризация. Уравнение дипольной релаксации. Статическая и высокочастотная диэлектрическая проницаемость. Комплексная диэлектрическая проницаемость. Проводимость твердых тел в переменных электрических полях.

Лекция 12. Семинар

Физика жидких кристаллов

Лекция 13.

Жидкие кристаллы – как особый тип наноструктурированных систем. Классификация жидких кристаллов: термотропные, лиотропные и полимерные жидкие кристаллы. Жидкокристаллические фазы: нематическая, холестерическая и смектические мезофазы. Параметр порядка в жидких кристаллах и фазовый переход нематическая – изотропная фазы. Температурные интервалы существования жидкокристаллических фаз.

Лекция 14.

Равновесные свойства жидких кристаллов: анизотропия диэлектрической проницаемости и магнитной восприимчивости, двойное лучепреломление, ориентационная упругость, флексоэлектрические коэффициенты. Влияние электрического и магнитного полей на жидкие кристаллы. Переход Фредерикса – основное физическое явление, используемое в работе жидкокристаллических индикаторов. Особенности электрооптики жидких кристаллов.

Лекция 15.

Композитные материалы: жидкие кристаллы, диспергированные в полимеры и жидкие кристаллы, стабилизированные полимерными сетками. Электрооптика композитных материалов: рассеяние, двулучепреломление, времена включения и выключения. Динамические свойства жидких кристаллов – уравнения движения и коэффициенты вязкости. Периодические микроструктуры в жидких кристаллах.

Лекция 16. Семинар

Квантовые кооперативные явления в твердых телах

Лекция 17.

Введение в современную физику твердого тела. Сверхпроводимость, магнетизм и формирование волны зарядовой плотности – квантовые кооперативные явления в твердых телах. Ряд 3d переходных металлов Бинарные оксиды переходных металлов, их кристаллические структуры и свойства. Орбитальный и спиновый магнитные моменты электрона. Магнетомеханическое отношение. Оболочка многоэлектронного атома, LS и Jj связи, результирующий магнитный момент. Правила Хунда. Эффективный магнитный момент и магнитный момент насыщения. Магнитные моменты нуклонов и атомных ядер.

Лекция 18.

Основные типы магнитных состояний вещества. Парамагнетизм и диамагнетизм. Парамагнетизм электронов проводимости (парамагнетизм Паули). Пороговый характер ферромагнетизма в металлах, критерий Стонера. Металлы из 3d или 4f элементов. Концепция зонного магнетизма. Взаимодействия между магнитными моментами, некооперативный и кооперативный магнетизм. Иерархия обменных взаимодействий. Прямой и непрямой обмен. Энергия магнитного взаимодействия. РККИ взаимодействие. Суперобмен через ионы кислорода. 180° и 90° суперобмен. Правила Гуденафа, Канамори, Андерсена. Двойной обмен Зинера.

Лекция 19.

Формирование дальнего магнитного порядка. Законы Кюри и Кюри-Вейсса. Ферромагнитное упорядочение. Доменная структура ферромагнетика. Поведение магнитной восприимчивости и намагниченности выше и ниже фазового перехода. Антиферромагнитное упорядочение. Поведение магнитной восприимчивости и намагниченности в антиферромагнетике. Антиферромагнетики типа легкая ось и легкая плоскость. Спин флоп и спин-флип переходы. Ферримагнетизм. Взаимодействие магнитных подрешеток. Температурная зависимость магнитной восприимчивости ферримагнетика. Скошенные антиферромагнетики. Обращение намагниченности.

Лекция 20.

Зонный магнетизм. Магнитные гетероструктуры. Эффект гигантского магнитосопротивления. Магнитный вентиль. Принципы организации магнитной оперативной памяти. Эффект колоссального магнитосопротивления. Керамические ферромагнитные материалы. Туннельное магнитосопротивление.

Лекция 21.

Эффекты ближнего и дальнего порядка в классических трехмерных ферро- и антиферромагнетиках. Переход в упорядоченное состояние, магнитный вклад в энтропию. Спиновые волны. Коллективные возбуждения в ферромагнетике и в антиферромагнетике. Квантовые модели Изинга и Гейзенберга для системы взаимодействующих спинов. Точные решения задачи Изинга в одномерном и двумерном случае. Магнитные системы размерности 0: изолированные ионы. Поведение магнитной восприимчивости и теплоемкости. Анизотропия изолированного иона. Магнитные димеры. Основное состояние димера. Понятие спиновой щели. Треугольный кластер. Фрустрация обменного взаимодействия. Спиновый лед.

Лекция 22.

Магнитные системы размерности 1. Изолированная цепочка спинов $S=1/2$. Расчет Боннер-Фишера. Квазиодномерные цепочки спинов. Формула Шульца. Однородные и альтернированные магнитные цепочки. Структура и свойства спин-Пайерлсовского магнетика CuGeO_3 . Формирование немагнитного основного состояния в результате магнитоупругого взаимодействия в цепочке спинов $S=1/2$. Переход Пайерлса в одномерном

металле. Зигзаговые магнитные цепочки. Спиновые лестницы с двумя и тремя ножками. Спиновая жидкость.

Лекция 23.

Магнитные системы размерности 2. Сетка ортогональных димеров. Модель Шастри-Сазерленда. Формирование немагнитного основного состояния в $\text{SrCu}_2(\text{VO}_3)_2$. 4-х ионный кластер (плакетка). Формирование немагнитного основного состояния в CaV_4O_9 . Двумерные системы на базе треугольника: решетки типа пчелиных сот и плетенки кагоме. Формирование немагнитного основного состояния в результате зарядового упорядочения в двумерном соединении NaV_2O_5 . Особенности поведения низкоразмерных магнитных систем. Открытие сверхпроводимости под давлением в низкоразмерных магнетиках. Мультиферроэлектрические эффекты в низкоразмерных магнетиках. Манганиты лантана. Фазовая диаграмма $\text{La}_{1-x}\text{Ca}_x\text{MnO}_3$. Фазовое расслоение. Зарядовое упорядочение вблизи $x = 1/2$. Концентрационный переход металл-изолятор. Эффект колоссального магнитосопротивления в манганитах. Спин-зависимое рассеяние носителей заряда. Спинтроника.