

# **ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ ТВЕРДОГО ТЕЛА**

(4 курс, 8 семестр)

**В.Ю. Юшанхай**

## **Цели изучения дисциплины**

Целью курса «Введение в теорию твердого тела» является изучение стандартных концепций и методов современной теории твердого тела. Студенты должны получить ясное представление о физической основе вводимых концепций, формулировках конкретных задач физики твердого тела и основных методах их решений.

## **Содержание дисциплины (13 лекций по 2 часа)**

### **Основы химической связи в твердых телах**

Типы химических связей в твердых телах. Метод гибридных орбиталей в модели ковалентной связи. Теория Гайтлера-Лондона химической связи в модели сильно-коррелированных электронов.

### **Трансляционная симметрия кристаллов и ее физические следствия**

Решетка Браве. Обратное пространство. Зона Бриллюэна в обратном пространстве; несохранение квазиимпульса. Теорема Блоха.

### **Движение электрона в периодическом поле кристаллической решетки**

Возникновение зонного спектра электронов: общее рассмотрение. Применение квантово-механической теории возмущений при описании движения электрона в кристалле. Предел слабой связи электронов с решеткой и метод псевдопотенциала.

### **Статистика Ферми для электронов.**

Функция распределения и поверхность Ферми в импульсном пространстве. Общее выражение для плотности электронных состояний. Теплоемкость и магнитная восприимчивость электронов в металле.

### **Метод вторичного квантования**

$N$ -частичные волновые функции бозонов и фермионов в представлении чисел заполнения. Операторы рождения и уничтожения. Полевые операторы. Вывод одно- и двух-частичных операторов в представлении вторичного квантования.

### **Модель взаимодействующих электронов в представлении вторичного квантования**

Метод среднего поля (Хартри-Фока). Расчет средней энергии системы взаимодействующих  $N$  электронов в приближении Хартри-Фока. Прямые и обменные процессы взаимодействия. Ограничения теории в низших порядках теории возмущений.

### **Основы теории Ферми-жидкости Ландау. Концепция квазичастиц.**

Постулаты теории Ландау сильно взаимодействующих электронов. Принцип адиабатического включения взаимодействия. Квазичастичные возбуждения вблизи поверхности Ферми; время жизни квазичастицы.

### **Квантовый гармонический осциллятор. Фононная модель Дебая.**

Квантовый осциллятор в представлении вторичного квантования. Квантование колебаний решетки на примере одномерной модели. Дисперсия фононов. Фононные моды в трехмерных решетках: акустические и оптические ветви фононных возбуждений. Аппроксимации дебаевской модели фононов. Плотность состояний фононных возбуждений. Внутренняя энергия и теплоемкость газа фононов: сравнение теоретического расчета с экспериментом.

### **Электрон-фононное взаимодействие**

Вывод гамильтониана электрон-фононного взаимодействия. Вклад фононов в электрическое сопротивление. Взаимодействие электронов за счет обмена фононными возбуждениями.

### **Феномен Купера. Природа сверхпроводящего состояния электронов в металле**

Куперовская нестабильность основного состояния электронов за счет электрон-фононного взаимодействия. Условие формирования куперовских пар электронов.

### **Боголюбовская формулировка теории сверхпроводимости**

Гамильтониан Бардина-Купера-Шриффера (БКШ). Волновая функция БКШ в вариационном подходе к основному состоянию сверхпроводящих электронов. Альтернативный квазичастичный подход Боголюбова. Преобразование Боголюбова для фермиевских операторов. Щелевой спектр квазичастиц в сверхпроводящем состоянии.

### **Магноны в магнитоупорядоченных кристаллах**

Спиновый гамильтониан. Природа обменного взаимодействия. Ферро- и антиферромагнитный спиновый порядок. Приближение спиновых операторов бозонными операторами рождения и уничтожения магнонов. Энергетический спектр магнонов.

## **Методические указания студентам**

При изучении курса «Введение в теорию твердого тела» студенты должны прослушать лекции, подготовиться к семинарским занятиям, а также проделать необходимую самостоятельную работу. Для подготовки к семинарским занятиям студенты используют лекционный курс, практические советы преподавателя. Для самостоятельной работы студенты используют рекомендуемую научно-учебную литературу.

## **Основная литература**

1. Дж. Займан, Принципы теории твердого тела, М., "Мир", 1974.
2. Ашкрофт, Н. Мермин, Физика твердого тела, т.т.1-2, М., "Мир", 1979.
3. А. Г. Гуревич, Физика твердого тела, С-Петербург, 2004

## **Дополнительная литература**

4. А.С. Давыдов, Теория твердого тела, М., "Наука", 1976.
5. Х. Хакен, Квантовополевая теория твердого тела, М., "Наука", 1980.
6. Н.Б. Брандт, В.А. Кульбачинский, Квазичастицы в физике конденсированного состояния, М., "Физматлит", 2005.
7. M.P. Marder, Condensed Matter Physics, John Wiley & Sons, 2000.