

**Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования Московской области  
«Международный университет природы, общества и человека «Дубна»  
(университет «Дубна»)  
Факультет естественных и инженерных наук  
Кафедра теоретической физики**

**УТВЕРЖДАЮ**

проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ С.В. Моржухина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2011 г.

**ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Введение в физику твердого тела**

Для направления 010700.62 «ФИЗИКА»

Специализация «Теоретическая физика»

Форма обучения: очная

Уровень подготовки: *бакалавр*

Курс 4, семестр 8

г. Дубна, 2011 г.

## 1. Требования ГОС ВПО

Специальные дисциплины устанавливаются вузом, включая дисциплины по выбору студента.

## 2. Аннотация

Программа дисциплины «Введение в физику твердого тела» составлена в соответствии с разделом СД.В. ГОС ВПО для подготовки бакалавров по направлению: 010700.62 «Физика». В курсе «Введение в теорию твердого тела» изучаются стандартные концепции и методы современной теории твердого тела.

### Место курса в профессиональной подготовке бакалавров

Для понимания дисциплины «Введение в физику твердого тела» необходимо наличие у студента знаний в рамках стандартного курса математического анализа, основ теории функций комплексной переменной, статистической физики и термодинамики. Знания, полученные в курсе «Введение в физику твердого тела», являются базовыми для курса «Квантовополевые методы статистической физики».

**Формы работы студентов** в ходе изучения дисциплины предусмотрены лекции, семинарские занятия, выполнение домашних работ. Отдельные темы теоретического курса прорабатываются студентами самостоятельно в соответствии с планом самостоятельной работы и конкретными заданиями преподавателя с учетом индивидуальных особенностей студентов.

**Самостоятельная работа** студентов, предусмотренная учебным планом, выполняется в ходе семестра в форме подготовки к семинарским, занятиям выполнению домашних работ.

**Виды текущего контроля** – проверка домашних заданий, опросы на семинарских занятиях. Текущий контроль проводится, чтобы установить степень усвоения студентами лекционного материала, а также проверить их навыки решения задач физики твердого тела.

### Форма промежуточного контроля

Экзамен по теоретической части и по практическим работам.

## 3. Цели и задачи дисциплины

Целью курса «Введение в физику твердого тела» является изучение стандартных концепций и методов современной теории твердого тела. Задача курса дать студенту ясное представление о физической основе конкретных задач физики твердого тела и основных методах их решений.

### 1. Требования к уровню освоения содержания дисциплины (знания, умения, навыки)

Изучив материал данного курса, студент должен:

**Знать** типы химических связей в твердых телах, теорему Блоха, общее выражение для плотности электронных состояний, модель взаимодействующих электронов в представлении вторичного квантования и ограничения теории в низших порядках теории возмущений; постулаты теории Ландау сильно взаимодействующих электронов; **иметь представление** об операторах рождения и уничтожения, полевых операторах, о фононных модах в трехмерных решетках, акустические и оптические ветви фононных возбуждений; **знать** фононную модель Дебая; **знать** условие формирования куперовских пар электронов; **знать** Гамильтониан

Бардина-Купера-Шриффера ; иметь представление о магнонах в магнитоупорядоченных кристаллах.

**Уметь определять** зоны Бриллюэна в обратном пространстве; **применять** квантово-механическую теорию возмущений при описании движения электрона в кристалле, **переходить** к пределу слабой связи электронов с решеткой, **находить** функцию распределения и поверхность Ферми в импульсном пространстве; **выводить** одно- и двух-частичные операторы в представлении вторичного квантования; **рассчитывать** среднюю энергию системы взаимодействующих  $N$  электронов в приближении Хартри-Фока; **оценивать** квазичастичные возбуждения вблизи поверхности Ферми и время жизни квазичастицы; **квантовать** колебания одномерной решетки; **оценивать** плотность состояний фононных возбуждений на основе аппроксимации дебаевской модели фононов; **сравнивать** теоретический расчет внутренней энергии и теплоемкости газа фононов с экспериментом; уметь выводить гамильтониан **электрон-фононного взаимодействия**, находить вклад фононов в электрическое сопротивление; **уметь** выполнять преобразование Боголюбова для фермиевских операторов;

**Владеть** методом гибридных орбиталей в модели ковалентной связи, теорией Гайтлера-Лондона химической связи в модели сильно-коррелированных электронов, методом псевдопотенциала, методом вторичного квантования. **владеть** методом среднего поля (Хартри-Фока); **владеть** приближением спиновых операторов бозонными операторами рождения и уничтожения магнонов

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид занятий	Всего часов	8-й семестр
Общая трудоемкость	<b>102</b>	<b>102</b>
<b>Аудиторные занятия:</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
Лекции	36	36
Семинары	36	36
<b>Самостоятельная работа:</b>	<b>30</b>	<b>30</b>
Виды итогового контроля		Экзамен

#### 5. Содержание дисциплины

№	Раздел дисциплины	Л	С	СР
1.	Основы химической связи в твердых телах.	2	2	2
2.	Трансляционная симметрия кристаллов и ее физические следствия.	4	4	3
3.	Движение электрона в периодическом поле кристаллической решетки. Зонная структура энергетического спектра электрона.	2	2	3
4.	Статистика Ферми для электронов в металле	2	2	3
5.	Метод вторичного квантования. (Бозоны и фермионы).	2	2	3
6.	Модель взаимодействия электронов в представлении вторичного квантования. Взаимодействующие электроны в приближении Хартри-Фока.	4	4	3
7.	Основы теории Ферми-жидкости Ландау. Концепция	4	4	3

	квазичастиц.			
8.	Квантовый гармонический осциллятор. Фононы. Фононная модель Дебая.	4	4	3
9.	Электрон-фононное взаимодействие.	2	2	3
10.	Феномен Купера. Природа сверхпроводящего состояния электронов в металле.	4	4	4
11.	Боголюбовская формулировка теории сверхпроводимости.	4	4	3
12.	Магноны в магнитоупорядоченных кристаллах.	2	2	3

## Содержание разделов дисциплины

### 1. 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.

### 2. Трансляционная симметрия кристаллов и ее физические следствия

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

### 3. 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.

### 4. 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.

### 5. 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.

### 6. 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.

### 7. 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.

### **8. 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.

### **9. Электрон-фононное взаимодействие**

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

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

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

### **11. 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.

### **12. 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.

#### Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)
1.	1.	Основы химической связи в твердых телах
2	1	Метод гибридных орбиталей в модели ковалентной связи.
3	2.	Трансляционная симметрия кристаллов и ее физические следствия
4	3.	Движение электрона в периодическом поле кристаллической решетки
5	3	Применение квантово-механической теории возмущений при описании движения электрона в кристалле.

6	4.	Статистика Ферми для электронов.
7	5.	Метод вторичного квантования
8	5.	Вывод одно- и двух-частичных операторов в представлении вторичного квантования.
9	6.	Модель взаимодействующих электронов в представлении вторичного квантования
10	7.	Основы теории Ферми-жидкости Ландау. Концепция квазичастиц.
11	8.	Квантовый гармонический осциллятор. Фононная модель Дебая.
12	8.	Внутренняя энергия и теплоемкость газа фононов: сравнение теоретического расчета с экспериментом.
13	9.	Электрон-фононное взаимодействие
14	10.	Феномен Купера. Природа сверхпроводящего состояния электронов в металле
15	11.	Боголюбовская формулировка теории сверхпроводимости
16	11.	Преобразование Боголюбова для фермиевских операторов.
17	12.	Магноны в магнитоупорядоченных кристаллах
18		Зачетная неделя

## 6. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Ландау Л.Д. Лифшиц Е. М.** Статистическая физика: Учебное пособие для вузов. Ч.2 : Теория конденсированного состояния - М.: Физматлит, 2002. - (Теоретическая физика в 10 т.; Т.9).

**Займан Дж.** Принципы теории твердого тела :[Электронный ресурс] / Займан Дж. - М.: Мир, 1974. - Электронная версия. - <http://mirknig.com>.

**Ашкрофт Н.** Физика твердого тела :[Электронный ресурс] : В 2 т. / Ашкрофт Н., Мермин Н. - М.: Мир, 1979. - Электронная версия. - <http://mirknig.com>.

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Хакен Х.** Квантовополевая теория твердого тела :[Электронный ресурс] / Хакен Х. - М.: Наука, 1980. - Электронная версия. - <http://mirknig.com>.

**Брандт Н.Б.** Квазичастицы в физике конденсированного состояния / Брандт Николай Борисович, Кульбачинский Владимир Анатольевич. - М.: Физматлит, 2005.