

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ**  
**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**«Сибирский федеральный университет»**

УТВЕРЖДАЮ:  
Проректор по учебной работе,  
д-р пед. наук, профессор  
*С.С. Прова*



**ПРОГРАММА**  
**кандидатского экзамена по специальности**  
**01.04.07 – Физика конденсированного состояния**

Красноярск 2012

**ПРОГРАММА-МИНИМУМ**  
**кандидатского экзамена по**  
**специальности 01.04.07 "Физика конденсированного состояния"**  
**по физико-математическим и техническим наукам**

**Основная часть**

- **1. Силы связи в твердых телах**
- Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.
- Химическая связь и ближний порядок. Структура вещества с ненаправленным взаимодействием. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO<sub>3</sub>.
- Основные свойства ковалентной связи. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита.
- 
- **2. Симметрия твердых тел**
- Кристаллические и аморфные твердые тела. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера -Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.
- Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.
- Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.
- 
- **3. Дефекты в твердых телах**
- Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.
- Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.
- 
- **4. Дифракция в кристаллах**
- Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

- Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

### **5. Колебания решетки**

Колебания кристаллической решетки. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Электрон-фононное взаимодействие.

### **6. Тепловые свойства твердых тел**

- Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.
- Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.
- Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.
- Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.
- Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана -Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

•

### **7. Электронные свойства твердых тел**

- Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.
- Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.
- Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.
- Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.
- Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.
- Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

•

### **8. Магнитные свойства твердых тел**

- • Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри -Вейсса.

Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.

Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.

Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).

- Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферромагнетики. Магнитная структура ферромагнетиков.

Спиновые волны, магноны.

Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

- **9. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел**

- Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.

- Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.

- Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).

- Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

- 

- **10. Сверхпроводимость**

- Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.

- Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

- Эффект Джозефсона.

- Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

- 

## **Дополнительная часть**

### **1. Структура твердых тел**

Неупорядоченные твердые тела. Способы их получения.

Позиционный беспорядок. Ориентационный беспорядок. Беспорядок в молекулярных кристаллах. Аморфные диэлектрики. Дальний и ближний порядок. Радиус корреляции. Физические свойства неупорядоченных твердых тел. Фракталы.

### **2. Энергетический спектр кристаллов**

Описание энергетического состояния кристалла при помощи газа квазичастиц. Примеры квазичастиц. Фононы, магноны, экситоны, плазмоны

и др. Электроны в металле как квазичастицы. Квазиимпульс. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и фермионы. Взаимодействие квазичастиц.

Электронный спектр и плотность состояний электронов в квантующем магнитном поле. Эффект де Гааза–ван Альфена. Спектр квазидвумерных электронов в поперечном квантующем магнитном поле.

Эффект Ахаронова–Бома. Квантовый эффект Холла.

Электронные системы с сильными корреляциями. Модель Хаббарда. Тяжелые фермионы.

### **3. Электронные кинетические свойства твердых тел**

Кинетическое уравнение. Электро- и теплопроводность. Времена релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах. Электрон–фононные столкновения. Нормальные процессы, процессы переброса. Магнитосопротивление и эффект Холла.

Полупроводники. Электронная структура типичных полупроводников. Германий и кремний. Узкозонные полупроводники. Примесные уровни. Доноры и акцепторы. Температурная зависимость проводимости, p–n переходы. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей. Эффект Ганна.

### **4. Диэлектрики**

Электронная энергетическая структура диэлектриков. Электростатика и термодинамика диэлектриков. Внутреннее поле. Электронная, ионная и ориентационная поляризуемость. Диэлектрическая релаксация и диэлектрические потери.

Электрострикция и пьезоэлектричество. Пироэлектрики и сегнетоэлектрики. Электрический гистерезис. Аномалии физических свойств сегнетоэлектриков в области фазовых переходов. Молекулярные кристаллы.

### **5. Фазовые переходы**

Равновесие фаз. Фазовые переходы II рода и флуктуации. Фазовые переходы в магнитных системах, кристаллах, сегнетоэлектриках, сверхпроводниках, жидких кристаллах, растворах. Фазовые переходы I рода, гистерезис и кинетика фазового превращения.

Спонтанное нарушение симметрии. Параметр порядка. Дальний и ближний порядок. Корреляции. Флуктуационно-диссипативная теорема. Теорема Мермина–Вагнера. Теорема Голдстоуна. Технологические фазовые переходы.

Переходы металл-диэлектрик в системе электронов. Переход Андерсона. Край подвижности в электронном спектре. Переход Мотта.

Теория протекания. Фракталы.

### **6. Экспериментальные методы физики твердого тела**

Рентгенография: методы исследования идеальной и реальной структуры. Синхронное излучение и его использование. Электронография и электронная микроскопия. Туннельная спектроскопия. Нейтронография: упругое и неупругое когерентное рассеяние, исследование магнитных структур и фононных спектров. Эффект Мессбауэра. ЭПР, ЯМР. Электрические и гальваномагнитные измерения как методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках. Оптические методы исследования; возможности, связанные с использованием лазерных источников света. Способы исследования атомно-неупорядоченных (аморфных) твердых тел. Калориметрия и дилатометрия.

### **Основная литература**

1. Зиненко В.И., Сорокин Б.П., Турчин П.П. Основы физики твердого тела. Учеб. пособие для вузов. М.: Издательство физико-математической литературы, 2001.
2. Артамонов, В.А. Группы и их приложения в физике, химии, кристаллографии / В.А. Артамонов, Ю.Л. Словохотов // М.: Издательский центр "Академия". - 2005. -512 с.
3. Ландау, Л.Д. Статистическая физика. Часть 1 / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц // М.: ФИЗМАТЛИТ.-2010. -616 с.
4. Ландау, Л.Д. Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц // М.: ФИЗМАТЛИТ.-2004. -800 с.
5. Физика сегнетоэлектриков: современный взгляд / под ред. К.М. Рабе, Ч.Г. Ана, Ж.-М. Трискона; пер. с англ. // М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. - 2011. -440 с.
6. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
7. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. I, II. М.: Мир, 1979.
8. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.
9. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
10. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высш. шк., 2000.
11. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.
12. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979.
13. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводимости. МЦ НМО, М., 2000.

### **Дополнительная литература**

1. Артамонов, В.А. Группы и их приложения в физике, химии, кристаллографии / В.А. Артамонов, Ю.Л. Словохотов // М.: Издательский центр "Академия". - 2005. -512 с.
2. Ч. Киттель Введение в физику твердого тела. Физматгиз, 1983.
3. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М: Мир, 1979
4. У. Уэрт, Р. Томпсон. Физика твердого тела. М: Мир, 1969
5. Дж. Займан. Принципы теории твердого тела. Изд.2, М: Мир, 1974

6. А.С. Давыдов. Теория твердого тела. М.: Наука, 1976
7. Р. Уайт, Т.Джебел. Дальний порядок в твердых телах. М: Мир, 1982.
8. Л. Д. Ландау, Е.М.Лифшиц. Статистическая физика. М.: Наука, 1976
9. Ю.И.Сиротин, М.П. Шастокольская. Основы кристаллофизики. М.: Наука, 1979
- 10.А.Келли, Г.Гровс. Кристаллография и дефекты в кристаллах. М.: Мир, 1974
- 11.Б.И.Шкловский, А.Л. Эфрос. Электронные свойства легированных полупроводников. М.: Наука, 1979.
- 12.Т. Мосс, Г.Баррел, Б,Эллис. Полупроводниковая оптоэлектроника. М.: Мир, 1976.
- 13.А. Роуз-Инс, Е. Родерик. Введение в физику сверхпроводимости. М.: Мир, 1924
- 14.Г.А. Смоленский и др. Сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики. М.: Наука, 1971
- 15.В.Г. Вакс. Введение в микроскопическую теорию сегнетоэлектричества. М.: Наука, 1973.
- 16.С.К. Ма. Современная теория критических явлений. М.: Мир, 1981.
- 17.Н. Парсонидж, Л. Стейли. Беспорядок в кристаллах. М.: Мир, 1982.
- 18.Дж. Займан. Модели беспорядка. М.: Мир, 1982.
- 19.А.Л. Эфрос. Физика и геометрия беспорядка. М.: Наука, 1983
- 20.И.М. Соколов. Размерности и другие критические показатели в теории протекания.//УФН Т.150, в.2, 1986.
- 21.Л.А. Резницкий. Калоритметрия твердого тела . М.: МГУ,1981.
- 22.С.И. Новикова Тепловое расширение твердых тел. М.: Наука, 1974
- 23.И.А. Киселева, Л.П., Огородова. Термохимия минералов и неорганических материалов. М.: Научный мир.1997.

#### *Источники Интернет*

1. [www.fml.ru](http://www.fml.ru);
2. <http://ics.org.ru>;
3. [www.ufn.ru](http://www.ufn.ru);
4. [www.kirensky.ru](http://www.kirensky.ru);