

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель председателя  
Приемной комиссии,  
проректор по учебной работе



М.В. Румянцев

**ПРОГРАММА**

**вступительного испытания в аспирантуру  
по направлению 03.06.01 Физика и астрономия  
программа (профиль) 01.04.07 Физика конденсированного  
состояния**

Конденсированное состояние вещества, макроскопический и микроскопический ближний и дальний порядок. Основные теоретические и экспериментальные методы и проблемы физики конденсированного состояния.

## **Перечень вопросов по темам:**

### **1. Структура твердых тел.**

1.1. Кристаллические и аморфные тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Решетки Бравэ. Точечные и пространственные группы. Дифракция. Закон Брэгга-Вульфа. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.

1.2. Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии. Атомы внедрения. Комбинации атомных дефектов. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций. Движение дислокаций. Переползание и скольжение. Размножение дислокаций. Источник Франка-Рида. Влияние радиационных, механических, термических воздействий на реальную структуру твердых тел.

1.3. Электронная структура атомов и типы химической связи. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов. Плотнейшие упаковки.

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

2.1. Описание энергетического состояния кристалла при помощи газа квазичастиц. Примеры квазичастиц. Фононы, магноны, экситоны, плазмоны и др. Электроны в металле как квазичастицы. Квазимпульс. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и фермионы. Взаимодействия квазичастиц.

2.2. Колебания решетки - фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоемкость решетки. Дебаевская частота. Фактор Дебая-Валлера в рассеянии рентгеновских лучей. Ангармонизм и тепловое расширение.

2.3. Электронные состояния в кристаллах. Одноэлектронная модель. Приближение сильной и слабой связи. Зонная схема и типы твердых тел. Вырожденный электронный газ. Электронная теплоемкость, поверхность Ферми. Тензор эффективных масс. Электроны и дырки. Циклотронная масса. Положение Ферми-уровня в невырожденных полупроводниках.

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

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

3.1. 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.

32. Металлы с большой длиной пробега электронов. Аномальный скин-эффект. Циклотронный резонанс и размерные эффекты. Проникновение электромагнитного поля в металл. Геликоны. Квантование орбит в магнитном поле. Эффект де Гааза - ван Альфена.

33. 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. Горячие носители. Эффект Ганна.

#### **4. Механические, оптические и магнитные свойства твердых тел.**

4.1. Упругие деформации в сплошной среде и кристаллах. Тензор упругих постоянных и упругая деформация. Упругие волны в кристаллах. Пластичность кристаллов. Упрочнение. Внутреннее трение. Механизм поглощения фотонов. Поглощение свободными носителями. Решеточное поглощение. Многофононные процессы. Комбинационное рассеяние света в кристаллах. Поглощение связанными носителями. Правила отбора. Междузонные прямые и косые переходы. Экситоны. Люминесценция. Времена жизни возбуждений, флюоресценция. Безизлучательные переходы. Квантовый выход люминесценции.

4.2. Оптика анизотропных сред. Акустооптика. Электрооптика. Магнитооптика.

4.3. Парамагнетизм и диамагнетизм. Диамагнетизм свободного электронного газа. Спиновый парамагнетизм. Закон Кюри. Природа ферромагнетизма и антиферромагнетизма. Молекулярное поле Вейсса. Обменное взаимодействие. Ферромагнитные домены. Энергия анизотропии. Доменная стенка. Антиферромагнетики. Ферриты.

#### **5. Диэлектрики.**

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

5.2. Электрострикция и пьезоэлектричество. Пирозлектрики и сегнетозлектрики. Электрический гистерезис. Аномалии физических свойств сегнетозлектриков в области фазовых переходов. Молекулярные кристаллы.

#### **6. Фазовые переходы.**

6.1. Равновесие фаз. Фазовые переходы I и II рода. Флуктуации. Фазовые переходы в магнитных системах, кристаллах, сегнетозлектриках, сверхпроводниках, жидких кристаллах, растворах. Фазовые переходы I рода, гистерезис и кинетика фазового превращения. Твердые растворы и

промежуточные фазы. Равновесие в многокомпонентных системах и правило фаз. Диаграммы равновесия. Кинетика фазовых превращений. Диффузионные и бездиффузионные превращения.

6.2. Спонтанные нарушения симметрии. Параметр порядка. Дальний и ближний порядок. Корреляции. Флуктуационно-диссипативная теорема. Теорема Мерлина-Вагнера. Теорема Голдстоуна. Топологические фазовые переходы.

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

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

7.1. Рентгенография: методы исследования идеальной и реальной структуры. Электронография и электронная микроскопия. 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.

### **Список рекомендованных источников.**

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. Ашкрофт Н., Мермин Н.. Физика твердого тела. - М.: "Мир", 1979, т. 1,2.
3. Бокий Г. Б., Порай-Кошиц М. А.. Рентгеноструктурный анализ. - М.:Изд-во МГУ, 1964, в 2-х томах.
4. Бонч-Бруевич В. Л., Калашников С. Г. Физика полупроводников. - М.: "Наука", 1990.
5. Давыдов А. С. Теория твердого тела. - М.: "Наука", 1976.
6. Займан Дж. Модели беспорядка, - М.: Мир, 1982.
7. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. Издание второе, "Мир", 1974.
8. Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П. Основы физики твердого тела. Учеб. пособие для вузов. - М.: Издательство физико-математической литературы, 2001.
9. Зиненко В. И., Сорокин Б. П., Турчин П. П. Основы физики твердого тела, - М.: Физматлит, 2001.
10. Келли А., Гровс Г. Кристаллография и дефекты в кристаллах. - М.: Мир, 1979.
11. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. - М.: "Наука", 1978.
12. Ландау Л. Д. Квантовая механика (нерелятивистская теория) / Л. Д. Ландау Е. М. Лифшиц // М.: ФИЗМАТЛИТ.-2004. -800 с.

13. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Механика сплошных сред. - М.: "Наука", 1982.
14. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Статистическая физика. - М.: "Наука", 1976.
15. Ландау, Л. Д. Статистическая физика. Часть 1 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц // М.: ФИЗМАТЛИТ.-2010. -616 с.
16. Ма С. К., Современная теория критических явлений. - М.: Мир. 1981.
17. Мосс Г., Баррел Г., Эллис Б. Полупроводниковая оптоэлектроника. - М.: "Мир", 1976.
18. Парсонидж Н., Стейли Л. Беспорядок в кристаллах. - М.: Мир, 1982.
19. Роуз-Инс А., Родерик Е. Введение в физику сверхпроводимости. - М.: "Мир", 1972.
20. Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П. Основы кристаллофизики. - М.: "Наука", 1979.
21. Смирнов Б. М. Физика фрактальных кластеров. - М.: Наука, 1991.
22. Соколов И. М. Размерности и другие критические показатели в теории протекания // УФН.-Т.150, в.2.- 1986.
23. Стенли. Фазовые переходы и критические явления. - М.: "Мир", 1973.
24. Струков А., Леванюк А. П. Физические основы сегнетоэлектрических явлений в кристаллах. - М.: "Наука", 1983.
25. Туров Е. А., Колчанов В. А., Меньпенин В. В., Мирсаев И. Ф., Николаев В. В. Симметрия и физические свойства антиферромагнетиков. - М.: Физматлит, 2001.
26. Уайт Р., Джебел Т.. Дальний порядок в твердых телах. - М.: Мир, 1982.
27. Уэрт У., Томсон Р. Физика твердого тела. - М.: "Мир", 1969.
28. Федер Е. Фракталы. Пер. с англ. - М.: Мир, 1991.
29. Херман. Полупроводниковые сверхрешетки. - М.: "Мир", 1989.
30. Чупрунов Е. В., Хохлов А. Ф., Фадеев М. А. Кристаллография. М.: Физматлит, 2000.
31. Эфрос А. Л. Физика и геометрия беспорядка. - М.: Наука, 1983.
32. Молекулярно-лучевая эпитаксия и гетероструктуры. Под ред. Л. Ченга и К. Плога. - М.: "Мир", 1989.
33. 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.

Составители программы:

В. И. Зиненко, д-р физ.-мат. наук, профессор,

С. В. Мискуль, д-р физ.-мат. наук, профессор,

П. П. Турчин, канд. физ.-мат. наук, доцент.

Программа соответствует паспорту номенклатуры специальностей научных работников.