

## **Программа вступительного испытания в аспирантуру по дисциплине «Физика конденсированного состояния»**

по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия,  
направленность подготовки «Физика конденсированного состояния»

(Утверждено на заседании Ученого совета ИМЕТ РАН 30 марта 2017 г.,  
Протокол № 2/17)

Вступительное испытание в аспирантуру по дисциплине «Физика конденсированного состояния» проводится в виде вступительного экзамена.

Цель вступительного экзамена по дисциплине «Физика конденсированного состояния» - определение уровня освоения базовых знаний, формирующих общефизическую и общетехническую подготовку поступающего в аспирантуру и его возможности освоить программу подготовки высших кадров в аспирантуре.

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: физика, кристаллография, металловедение, материаловедение, физика металлов

### **Структура вступительного экзамена**

Экзамен состоит из устного ответа на вопросы экзаменационной комиссии.

В ходе обсуждения поступающему могут быть заданы вопросы и предложены задачи из всех разделов курса «Физика конденсированного состояния».

### **Содержание вступительного экзамена**

#### *Раздел 1. Силы связи в твердых телах.*

1. Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.

2. 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>.

3. 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.

#### *Раздел 2. Симметрия твердых тел*

1. 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.

2. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии.

3. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве.

#### *Раздел 3. Дефекты в твердых телах*

1. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.

2. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации

#### *Раздел 4. Дифракция в кристаллах*

1. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.

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

3. Методы рентгеноструктурного анализа

#### *Раздел 5. Колебания решетки*

1. 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.

#### *Раздел 6. Механические свойства твердых тел*

1. Характеристики упругости. Закон Гука. Энергия деформированного кристалла. Механизмы релаксационных явлений. Внутреннее трение.

2. Пластичность. Дислокационные механизмы твердости и пластической деформации твердых тел. Ползучесть и релаксация напряжений.

#### *Раздел 7. Диффузия*

1. Диффузия в твердых телах и жидкостях. Коэффициент диффузии, температурная зависимость. Энергия активации диффузии. Само- и гетеродиффузия.

2. Теория скоростей химических реакций. Уравнение Аррениуса. Механизмы диффузии в твердых телах. Эффект Киркендалла, обратный эффект Киркендалла.

#### *Раздел 8. Тепловые свойства твердых тел*

1. Теплоемкость твердых тел. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.

2. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.

3. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

4. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.

5. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.

#### *Раздел 9. Электронные свойства твердых тел*

1. Электронные свойства твердых тел: основные экспериментальные факты. Проводимость, эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Трудности объяснения этих фактов на основе классической теории Друде.

2. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

3. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу. Полосатый спектр энергии.
4. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.
5. Приближение почти свободных электронов. Брэгговские отражения электронов.
6. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний.
7. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

#### *Раздел 10. Магнитные свойства твердых тел*

1. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Законы Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
2. Природа ферромагнетизма. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика.
3. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).
4. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.
5. Спиновые волны, магноны.
6. Движение магнитного момента в постоянном и переменном магнитных полях. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс.

#### *Раздел 11. Оптические и магнитооптические свойства твердых тел*

1. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.
2. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.
3. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).
4. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

#### *Раздел 13. Сверхпроводимость*

1. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.
2. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.
3. Эффект Джозефсона.
4. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

### ПРИМЕР ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА (ЗАДАНИЙ УСТНОГО ЭКЗАМЕНА)

*Вопрос 1.* Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.

*Вопрос 2.* Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.

*Вопрос 3.* Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

Как правило, один из вопросов относится к теме работ предполагаемого научного руководителя.

### **Система оценивания результатов экзамена**

Результаты экзамена оцениваются по пятибалльной системе по следующему принципу:

Критерии оценивания	Баллы
Ответ полный, без замечаний, продемонстрированы знания по дисциплине	5
Ответ полный, с незначительными замечаниями	4
Ответ не полный, существенные замечания	3
Ответ на поставленный вопрос не дан.	2-1

Невыполнение одного из заданий (или отказ от его выполнения) является, как правило, основанием для выставления неудовлетворительной оценки за вступительный экзамен в целом.

### **Минимальное количество баллов**

Минимальное количество баллов, дающее право на участие в конкурсе по поступлению в аспирантуру, составляет 4 балла.

### **Литература:**

1. Физическое материаловедение. Т. I. Под ред. Калина Б.А. М. НИЯУ МИФИ. 2007.
2. Гуртов В.А. Физика твердого тела для инженеров: Учебное пособие. М.: Техносфера, 2007.
3. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир.1969.
4. Васильев Д.М. Физическая кристаллография. Уч. Пособие для металлург. ВУЗов. М.: Металлургия, 1981.
5. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высшая школа, 2000.
6. Матвеев А.Н. Электричество и магнетизм. Москва, Высшая школа, 1983.
7. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводимости. МЦ НМО, М., 2000.

### **Дополнительная литература:**

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Физматгиз, 1962.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. I, II. М.: Мир, 1979.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М.: Наука, 1964.
4. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1966.
5. Физика твердого тела: Учебное пособие для ВТУЗов / Верещагин И.К., Кокин С.М., Никитенко В.А. и др. – М.: Высш. шк., 2001.
6. П.Де Жен. Сверхпроводимость металлов и сплавов. М.: Мир, 1968.
7. Вонсовский С.В. Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферримагнетиков. М.: Наука, 1971.

8. Булер П. Физико-химическая термодинамика вещества. СПб.: «Янус», 2004.
9. Шафрановский И.И., Алявдин В.Ф. Краткий курс кристаллографии учеб. для негеол. спец. вузов / М.: Высшая школа, 1984.

Программу разработал:

Профессор  
д. тех.н.

И.М. Миляев