

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
Программа вступительного экзамена по научной специальности «Физика конденсированного состояния»

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Национальный исследовательский университет  
«Высшая школа экономики»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

\_\_\_\_\_ С.Ю. Рощин

**Программа вступительного испытания по дисциплине «Физика конденсированного состояния» для поступающих на программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре**

**Направление 03.06.01 «Физика и астрономия»**

Направленность 01.04.07 «Физика конденсированного состояния» (физико-математические науки)

## 1. Область применения и нормативные ссылки

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

## 2. Структура вступительного экзамена

### Форма проведения испытания:

Устный ответ на вопросы экзаменационной комиссии.

### 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».

### Оценка уровня знаний (баллы):

Каждый вопрос оценивается по десятибалльной шкале. Итоговая оценка выставляется по 5-балльной шкале по следующему принципу пересчета:

"Отлично" - 8-10 баллов (по 10-балльной шкале);

"Хорошо" - 6-7 баллов (по 10-балльной шкале);

"Удовлетворительно" - 4-5 баллов (по 10-балльной шкале);

"Неудовлетворительно" - 0-3 балла (по 10-балльной шкале).

### Критерии оценивания

|   | Баллы |
|---|-------|
| Ответ полный без замечаний, продемонстрированы знания по дисциплине | 10-8  |
| Ответ полный, с незначительными замечаниями                         | 6-7   |

|   |     |
|---|-----|
| Ответ не полный, существенные замечания | 4-5 |
| Ответ на поставленный вопрос не дан.    | 0-3 |

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

### 3. Содержание

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

##### Основные вопросы.

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.

#### **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. 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 7. 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. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.

### **Раздел 8. 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 9. 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 10. 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.

### **Рекомендуемая литература**

- Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.  
Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. I, II. М.: Мир, 1979.  
Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.  
Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.

Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высш. шк., 2000.

Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.

Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979.

Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводимости. МЦ НМО, М., 2000.

## **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.

Обычно один из вопросов относится к теме работ предполагаемого руководителя аспиранта.