

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Калужский филиал  
федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет)  
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)**

**Кафедра «Проектирование и технология производства  
электронных приборов» (ИУК1)**

## **ПРОГРАММА**

**вступительного экзамена в аспирантуру  
по научной специальности**

**1.3.8 «Физика конденсированного состояния»**

**Калуга, 2024 г.**

## Содержание программы

### 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  $\text{CaTiO}_3$ .

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.

### 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. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков.

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 тóля в образец. Эффект Джозефсона.

Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

## Рекомендуемая литература

### Основная литература по дисциплине

1. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука. 1978.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. I, II. М.: Мир, 1979.
3. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир. 1974.
4. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. М.: Высш. шк., 2000.
5. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1979.
6. Шмидт В.В. Введение в физику сверхпроводимости. МЦ НМО. М., 2000.
7. Епифанов Г.И. Физика твердого тела. // М.. Лань. 2010
8. Матухин В.Л., Ермаков В.Л. Физика твердого тела // М., Лань, 2010
9. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Физика конденсированного состояния // М.. Бином. Лаборатория знаний. 2011
10. Физика твердого тела А. С. Василевский // М. Дрофа. 2010
11. Шалимов К.В. Физика полупроводников // М.. Лань, 2008.
12. Винтайкин Б.Е. Физика твердого тела // М., МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2008
13. Протасов Ю.С., Чумашев С.Н. Твердотельная электроника: Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2003

### Дополнительная литература и учебные материалы

1. Гуртов, В. А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко ; науч. ред. Л. А. Алешина. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Техносфера, 2012. – 560 с. – (Мир физики и техники). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233466>
2. Панова Т.В., Геринг Г.И. Физика конденсированного состояния вещества: Учебное пособие. - Омск: Омск.гос.ун-т, 2008. -101 с.

И.о. заведующего кафедрой ИУК1  
"Проектирование и технология  
производства электронных приборов"  
д.т.н., профессор



В.В. Андреев