

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ имени М.Н. Михеева
Уральского отделения Российской академии наук

СОГЛАСОВАНО:

Зам. директора института
по научной работе
доктор физ.-мат. наук

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института,
академик РАН



М.А. Коротин

Н.В. Мушников

« 01 » 09 2025 г.

« 02 » сентября 2025 г.

ПРОГРАММА-МИНИМУМ
кандидатского экзамена по специальности

1.3.8. Физика конденсированного состояния

Отрасль науки, по которой присуждаются ученые степени:

Физико-математические

Екатеринбург 2025

Введение

На основании постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (ред. от 16.10.2024) «О порядке присуждения ученых степеней» и Приказа Минобрнауки России от 24.02.2021 № 18 (ред. от 24.07.2023) «Об утверждении номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени, и внесении изменения в Положение о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук, утвержденное приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10 ноября 2017 г. № 1093» сдача кандидатских экзаменов осуществляется в соответствии с научной специальностью и отраслью науки, предусмотренными номенклатурой научных специальностей.

Настоящая экзаменационная программа соответствует утвержденному паспорту научной специальности Физика конденсированного состояния (шифр: 1.3.8.).

В основу настоящей программы положены основные разделы физики конденсированного состояния, касающиеся основных физических проблем данной области.

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_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 сильно связанных 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.

Поглощение 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 Мейсснера. 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.

Литература.

1. **Ашкрофт Н.У., Мермин Н.Д.**
Физика твердого тела: В 2-х т./ Пер. с англ. А.С.Михайлова; Под ред. М.И.Каганова.- Т.1. - М.: Мир, 1979. - 399 с.: черт. - Библиогр.в конце глав и прил.
2. **Ашкрофт Н.У., Мермин Н.Д.**
Физика твердого тела: В 2-х т./ Пер. с англ. А.С.Михайлова; Под ред. М.И.Каганова. - Т.2. - М.: Мир, 1979. - 422 с.: черт. - Библиогр.в конце глав и прил.
3. **Бонч-Бруевич Виктор Леопольдович. Калашников Сергей Григорьевич**
Физика полупроводников: Учеб. пособие для вузов. - М.: Наука, 1977. - 672 с.: ил.
4. **Вонсовский Сергей Васильевич**
Магнетизм. Магнитные свойства диа-,пара-,ферро-, антиферро- и ферримагнетиков. - М.: Наука, 1971. - 1032 с. : черт. - Библиогр.: с.1020-1026.
5. **Займан Джон М.**
Принципы теории твердого тела/ Пер. со 2-го англ.изд.; Под ред. В.Л.Бонч-Бруевича. - М.: Мир, 1974. - 472 с.: ил.
6. **Киттель Чарльз**
Введение в физику твердого тела/ Пер. с 4-го амер. изд. А.А.Гусева и А.В.Пахнева; Под общ.ред.А.А.Гусева. - М.: Наука, 1978. - 791 с.: ил.
7. **Павлов, П. В., Хохлов, А.Р.**
Физика твердого тела. - Москва : Мир, Б. г. (1988). - 416 с. : ил.; 22 см.; ISBN 5-03-000714-8 (В пер.) : 2 р. 70 к.
8. **Уэрт, Ч. А., Томсон, Р.М**
Физика твердого тела / Пер. с англ. А. С. Пахомова и Б. Д. Сумма ; Под ред. С. В. Тябликова. - 2-е изд. - Москва : Мир, 1969. - 558 с. : ил.; 22 см.
9. **Шмидт, Вадим Васильевич.**
Введение в физику сверхпроводников / Изд. 2., испр. и доп. В.В. Рязановым и М.В. Фейгельманом. - Москва : МЦНМО, 2000. - XIII, 397 с. : ил.; 23 см. - (Современные лекционные курсы); ISBN 5-900916-68-5