

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**



УТВЕРЖДАЮ

Проректор ДонГУ

В.И. Сторожев

2023г.

ПРОГРАММА

кандидатского экзамена

по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Донецк – 2023

Программа кандидатского экзамена по направлению подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия, по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Введение

Программа кандидатского экзамена по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния разработана с целью обеспечения подготовки и аттестации научных и научно-педагогических кадров высшей квалификации.

Структура экзамена

Кандидатский экзамен по специальности проводится в форме экзамена на основе билетов. Каждый билет содержит 3 вопроса. Кроме того, на экзамене могут быть заданы дополнительные вопросы. Экзамен подразумевает также собеседование по содержанию полностью или частично подготовленного кандидатского исследования. За экзамен выставляется единая оценка.

Раздел 1. Конденсированное состояние вещества

Кристаллические и аморфные тела. Строение кристаллов. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Решетки Браве. Индексы Миллера. Точечные и пространственные группы. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Вульфа - Брэгга. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.

Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии. Комбинации атомных дефектов. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций. Движение дислокаций. Переползание и скольжение. Механизмы образования дислокаций в кристаллах. Влияние радиационных, механических и термических воздействий на реальную структуру твердых тел.

Типы химической связи в кристаллах. Межатомное взаимодействие и силы связи в твердом теле. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов. Плотнупакованные структуры.

Аморфные тела - методы получения и дифракционного исследования структуры. Жидкие кристаллы. Физика тонких пленок. Наноматериалы.

Особенности жидкого состояния. Кластерная модель растворов.

Раздел 2. Энергетический спектр кристаллов

Описание энергетического состояния кристаллов с помощью газа квазичастиц. Примеры квазичастиц. Фононы, магноны, экситоны, плазмоны и др. Электроны в металле как квазичастицы. Квазиимпульс. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и фермионы. Взаимодействие квазичастиц.

Колебание кристаллической решетки - фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоемкость решетки, Дебаевская частота. Фактор Дебая - Валлера в рассеивании рентгеновских лучей. Ангармонизм и тепловое расширение.

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

Явления в контактах. Потенциальные барьеры. Контактная разница потенциалов. Токи, ограниченные пространственным зарядом. Барьер Шотки. Квазидвумерные системы в полупроводниках: гетероструктуры, МДП-структуры (металл - диэлектрик - полупроводник). Размерное квантование электронного спектра.

Электронный спектр и плотность состояний электронов в квантующем магнитном поле. Эффект де Гааза - ван Альфена. Спектр квазидвумерных электронов в поперечном квантующем магнитном поле.

Раздел 3. Электронные и кинетические свойства твердых тел

Кинетические уравнения. Электро- и теплопроводность. Время релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах. Электрон-фононное взаимодействие. Нормальные процессы, процессы переброса. Ионная проводимость кристаллов. Суперионная проводимость. Магнитосопротивление и эффект Холла. Квантовый эффект Холла.

Полупроводники. Электронная структура типичных полупроводников. Германий и кремний. Примесные уровни. Доноры и акцепторы, p-n-

переходы. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей. Горячие носители. Эффект Гана.

Теплоемкость. Температурная зависимость теплоемкости. Модели Эйнштейна и Дебая. Границы справедливости классической теории.

Раздел 4. Диэлектрики

Эффективное поле. Электрострикция и пьезоэлектричество. Пироэлектрики и сегнетоэлектрики. Электрический гистерезис. Аномалии физических свойств сегнетоэлектриков в области фазовых переходов.

Раздел 5. Оптические и магнитные явления твердых тел

Механизмы поглощения фотонов. Поглощение свободными носителями. Решеточное поглощение. Многофононные процессы. Комбинационное рассеяние света в кристаллах. Поглощение связанными носителями. Правила отбора. Межзонные прямые и непрямые переходы. Люминесценция кристаллов. Рекомбинационное излучение в диэлектриках и полупроводниках. Спонтанное и вынужденное излучение. Лазеры. Разные типы ОКГ и принцип их действия.

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). Энергия анизотропии. Магнитоэлектричество.

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. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).

Раздел 6. Термодинамика и фазовые переходы

Физическая природа твердых соединений. Образование соединений. Законы Рауля и Генри. Условия неограниченной и ограниченной

растворимости. Классификация промежуточных фаз по Курнакову и Агееву. Электронные соединения. Фазы Лавеса. Фаза проникновения.

Равновесие фаз. Движущая сила фазовых переходов. Фазовые равновесия в многокомпонентных системах. Влияние искривления поверхности на фазовое равновесие. Формула Томсона. Правило фаз. Фазовые переходы I и II рода. Диффузионные и бездиффузионные превращения в двухкомпонентных системах. Мартенситные превращения. Виды термической обработки. Метастабильное состояние. Распад пересыщенных твердых растворов.

Диаграммы равновесия. Анализ диаграмм состояния с эвтектическим, перитектическим, монотектическим, синтектическим и метатектическим превращениями, а также диаграмм типа "Сигара". Диаграммы состояния с эвтектоидным, перитектоидным и монотектоидным превращениями.

Кинетика фазовых превращений. Кристаллизация. Гомогенное и гетерогенное образование центров кристаллизации. Работа образования критического зародыша. Форма и скорость образования центров кристаллизации. Зависимость скорости образования и скорости роста центров кристаллизации от переохлаждения. Направленная кристаллизация и концентрационное переохлаждение. Ликвационная микронеоднородность. Концентрационные неоднородности при дендритной кристаллизации. Механизмы и кинетика роста кристаллов. Диффузионная задача роста кристаллов (задача Стефана о промерзаниях, задачах роста пули).

Диффузия в металлах и сплавах. Атомная теория диффузии. Постулаты Онзагера. Диффузия против градиента концентрации.

Переходы металл-диэлектрик в системе электронов. Переход Андерсона. Край подвижности в электронном спектре. Переход Мотта. Флуктуации. Твердые растворы и промежуточные фазы.

Раздел 7. Сверхпроводимость

Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера.

Сверхпроводники I и II рода. Основы микроскопической и термодинамической теорий.

Куперовские пары. Длина когерентности. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводнике.

Туннельный эффект. Эффект Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость.

Раздел 8. Экспериментальные методы физики конденсированного состояния

Рентгенография – методы исследований идеальной и реальной структуры.

Электроннография и электронная микроскопия.

Исследование магнитных структур и фононных спектров: нейтронография (упругое и неупругое когерентное рассеяние нейтронов), эффект Мёссбауэра, ЭПР, ЯМР.

Электрические и гальваномагнитные измерения как методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках.

Оптические методы исследований: металлография, использование лазерных источников света и др.

Методы термического анализа (ДТА, ЦТА).

Основная литература

1. Чернов А.А., Гиваргизов Е.И., Багдасаров Х.С. и др. Современная кристаллография. В 4 томах. М.: Наука, 1980.
2. Блейкмор Дж. Физика твердого тела. М.: Мир, 1988.
3. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.; Наука, 1979.
4. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. М.; Наука, 1979.
5. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
6. Вонсовский С.В. Магнетизм. М.: Наука, 1971.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. М.; Наука, 1976.
8. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика сплошных сред. М.: Наука, 1976.
9. Уэрт Ч., Томсон Р. Физика твердого тела. М.: Мир, 1969.
10. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. М.: Мир, 1979. т.1, 2.
11. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978.
12. Роуз-Инс А., Родерик Е. Введение в физику сверхпроводимости. М.: Мир, 1972.
13. Мосс Т., Баррел Г., Эллис Б. Полупроводниковая оптоэлектроника. М.: Мир, 1976.
14. Мотт Н., Дэвис Э. Электронные процессы в некристаллических веществах. М.: Мир, 1982. т.1, 2.
15. Жидкие металлы. Под ред. Р. Эванса и Д. Гринвуда. М. Мет., 1980.

Дополнительная литература

1. Убеллоде А.Р. Расплавленное состояние вещества. М. Мет., 1982, 375 с.
2. Данилов В.И. Строение и кристаллизация жидкости. Киев: Изд. АН УССР, 1956, 568 с.
3. Чалмерс Б. Теория затвердевания. М. Мет., 1968, 288 с.
4. Физика тонких пленок. Т 1-8. Под ред. Г. Хасса и Р.Э. Туна. М. «Мир», 1970-1976 г.г.

Программа разработана на основании паспорта научной специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния и соответствует позициям паспорта: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7.

Программа одобрена на заседании Ученого совета физико-технического факультета, протокол от «21» апреля 2023г. № 8.

И. о. декана физико-технического ф-та



С.А. Фоменко