Принято на заседании
Ученого совета ИНМиН
протокол № 8-25 от 23.10.2025 г.

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ ДЛЯ ПОСТУПАЮЩИХ НА ОБУЧЕНИЕ ПО ПРОГРАММАМ ПОДГОТОВКИ НАУЧНЫХ И НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ КАДРОВ В АСПИРАНТУРЕ ПО ГРУППЕ НАУЧНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

1.3 Физические науки

Москва 2025

СОДЕРЖАНИЕ

I. Пояснительная записка ……. 3
II. Содержание разделов …… 4
III. Рекомендуемая литература ……... 6

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цель вступительного испытания – оценка уровня имеющихся у поступающих знаний и компетенций, необходимых для обучения в аспирантуре по группе научных специальностей 1.3. «Физические науки».

Форма, продолжительность проведения вступительного испытания. Критерии оценивания

Минимальное количество баллов по результатам вступительных испытаний, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания, составляет 40 баллов по всем условиям поступления.

Вступительное испытание состоит из двух частей: письменная часть и собеседование. Для прохождения вступительного испытания поступающий должен предоставить план-проспект диссертационной работы и мотивационное письмо (1000–1500 слов), отражающее причины выбора НИТУ МИСИС и соответствующей программы подготовки. Без план-проспекта диссертационной работы и мотивационного письма поступающий до вступительного испытания не допускается. План-проспект диссертационной работы и мотивационное письмо предоставляется экзаменационной комиссии до начала письменной части вступительного испытания.

Вступительное испытание оценивается по 100-балльной шкале.

Экзаменационный билет письменной части содержит пять вопросов, каждый из которых оценивается до 10 баллов. При неполном ответе или при наличии ошибок члены экзаменационной комиссии выставляют количество баллов пропорционально части правильного выполнения задания. Результатом оценивания является сумма баллов, полученных за правильные ответы на соответствующие вопросы письменной части экзамена. Максимально возможное количество баллов, которое может получить абитуриент на письменной части экзамена – 50.

Продолжительность письменного экзамена – 120 минут.

Собеседование проводится с ведущими учёными направления, которые оценивают мотивированность абитуриента и его план будущей работы. Максимально возможное количество баллов, которое может получить абитуриент на собеседовании – 50.

Перечень принадлежностей, которые поступающий имеет право пронести в аудиторию во время проведения вступительного испытания: ручка, пишущая черными или синими чернилами.

2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ

Термодинамика

Термодинамическая система и термодинамические параметры. Законы термодинамики. Фазовые и химические равновесия. Диаграммы P-T, P-T-X, T-X фазового равновесия. Многокомпонентные системы. Методы определения термодинамических величин. Поверхностные явления. Адсорбция и поверхностное натяжение. Изотермы адсорбции и поверхностного натяжения двухкомпонентных систем.

Квантовая и статистическая физика

Уравнение Шредингера. Движение в центральносимметричном поле. Теория возмущений. Система многих частиц в квантовой механике. Многоэлектронные атомы. Молекулы. Статистическое распределение. Распределение Гиббса и его свойства. Распределение в классической системе, распределение Максвелла. Статистическая термодинамика. Квантовая статистика. Распределение Бозе-Эйнштейна и Ферми–Дирака.

Описание структуры кристаллов

Элементы симметрии кристаллов. Решетка Бравэ. Точечные группы симметрии. Обратная решетка. Основные понятия кристаллохимии. Кристаллические решетки. Обратная решетка. Атомные плоскости. Индексы Миллера атомных плоскостей.

Химическая связь в твердых телах

Природа сил химического взаимодействия. Ионная связь и ионные кристаллы. Потенциал ионизации, энергия сродства к электрону, электроотрицательность, степень ионности. Ионные радиусы и координационное число. Ковалентная связь. Решетки ковалентных кристаллов. Связывающие и разрыхляющие орбитали, σ - и π - связи. Гибридизация орбиталей. Металлическая связь и решетки металлических кристаллов. Уровень и поверхность Ферми. Ковалентные и металлические радиусы и координационное число.

Кинетика

Формальная кинетика: Скорость реакции. Влияние внешних факторов на скорость

реакции. Энергия активации. Связь константы равновесия и констант скоростей прямой и обратной реакций. Диффузия: Диффузия в газах, жидкостях и твердых телах. Уравнения диффузии. Коэффициент диффузии. Модель случайных блужданий. Механизмы диффузии в твердых телах. Диффузия в многофазных системах. Диффузионный рост фаз. Ионная проводимость. Явления переноса в электролитах и ионных кристаллах. Диффузия в условиях наложения внутреннего и внешнего электрического поля. Использование процесса диффузии и технологии полупроводникового приборостроения.

Динамика кристаллической решётки

Упругие деформации и напряжения в кристаллах. Упругие постоянные. Соотношения Коши. Числа независимых упругих постоянных в кубических и гексагональных кристаллах. Упругие волны в кристаллах. Колебания решётки. Нормальные моды и спектры колебательных возбуждений одномерных моноатомной и двухатомной цепочек атомов; акустические и оптические ветви спектра возбуждений. Фононы. Статистика фононов. Методы исследования спектров колебательных возбуждений. Плотность колебательных состояний. Решеточная теплоемкость. Модели Эйнштейна и Дебая; пределы их применимости; сравнение с экспериментальными данными. Температура Дебая. Тепловое расширение. Теплопроводность кристаллической решетки. Числа заполнения фононных состояний; режим Казимира; процессы переброса.

Электроны в кристаллах

Уравнение Шредингера для периодического потенциала. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Квазиимпульс. Понятие об эффективной массе. Зонная модель. Зоны Бриллюэна. Приближение почти свободного электрона. Приближение сильно связанного электрона. Локализованные состояния. Элементарная теория примесных состояний. Статистика электронов и дырок в полупроводниках. Уравнение электронейтральности. Собственная и примесная проводимость. Вырожденные полупроводники. Кинетические явления. Рассеяние носителей зарядов. Эффективное сечение рассеяния и время релаксации. Циклотронный резонанс. Законы дисперсии и эффективные массы носителей заряда. Метод эффективной массы. Поверхностные состояния. Уровни Тамма и Шокли. Экситоны. Поляроны. Эффект Холла. Контактные явления. Дебаевская длина экранирования. Термодинамическая и фотоэлектрическая работа выхода электрона. Контакты металл-металл, металл-полупроводник, p-n переход. Гетеропереходы. Омические контакты. Механизмы прохождения тока через контакты. Оптические свойства. Оптические постоянные и связь между ними. Спектры отражения и поглощения. Излучательная рекомбинация. Механизмы излучательных переходов. Спонтанное и стимулированное излучение. Фотовольтаические эффекты в контакте металл-полупроводник, p-n переходе. Фотоэлектромагнитный эффект.

Дефекты в кристаллах фазовые равновесия и фазовые переходы

Собственные структурные несовершенства. Равновесные и неравновесные дефекты. Фазовые равновесия. Основные определения. Условия равновесия в многофазных системах. Правило фаз Гиббса. Фазовые диаграммы одно-, двух- и трехкомпонентных систем. Твердые растворы замещения, внедрения и вычитания. Условия неограниченной растворимости в твердом состоянии. Типы промежуточных фаз. Кристаллизация. Гомогенное зарождение кристаллов в расплаве. Критический размер зародыша. Эпитаксия. Поликристаллические пленки, механизм образования, особенности структуры. Атомные механизмы роста кристаллов (непрерывный, ступенчатый, дислокационный). Равновесная форма кристаллов. Принцип Гиббса-Кюри. Отклонения от равновесия при кристаллизации. Влияние скорости охлаждения на микроструктуру. Бездиффузионная кристаллизация. Полиморфные превращения. Диффузионный механизм. Мартенситный механизм. Массивное превращение.

Свойства конденсированных систем

Металлы. Легирование металлов. Стали, цветные металлы и сплавы. Классификация, виды и режимы теромобработки. Основные применения и свойства. Полупроводниковые соединения. Полупроводниковые материалы для различных областей применения. Принципы легирования. Диэлектрические функциональные материалы (магнитные материалы, пьезо-, пиро-, сегнетоэлектрики) Композиционные материалы. Классификация по форме наполнителя и схеме армирования. Композиционные материалы на металлической и неметаллической основе. Неметаллические материалы. Магнетизм. Классы магнитных материалов. Физические основы диа-, парамагнетизма. Типы магнитных структур: ферромагнетизм, антиферромагнетизм, ферримагнетизм. Основные свойства сверхпроводящего состояния. Термодинамика сверхпроводников.

Методы исследования структуры и свойств материалов и их возможности

Методы рентгеноструктурного анализа. Применение для анализа моно- и поликристаллов. Физика рентгеновских лучей. Рентгеновские спектры. Прикладной рентгеноструктурный анализ. Качественный и количественный фазовый анализ. Нейтронография.

Взаимодействие нейтронов и быстрых электронов с веществом. Основные области применения дифракции нейтронов для анализа структуры конденсированных систем. Электронография. Принципы получения электронограмм. Вид электронограмм поли- и монокристаллов. Основные области и примеры применения электронографии для анализа структуры конденсированных систем. Просвечивающая электронная микроскопия. Формирование изображения в ПЭМ и основные режимы работы прибора. Разрешающая способность ПЭМ. Типы контрастов в ПЭМ. Растровая (сканирующая) электронная микроскопия и микроанализ. Основные области и примеры применения для анализа структуры конденсированных систем. Микрорентгеноспектральный качественный и количественный элементный анализ. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Оже-электронная спектроскопия. Масс-спектрометрия вторичных ионов. Основные области и примеры применения для анализа конденсированных систем.

3. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1 Сивухин Д. В. Общий курс физики. В 5 томах. Том 2. Термодинамика и молекулярная физика, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013.

2 Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 томах. Том 3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория Теоретическая физика. Квантовая механика (нерелятивистская теория), М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013.

3 Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. В 10 томах. Том 5. Статистическая физика. В 2 частях. Часть 1, М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013.

4 Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твёрдого тела. Изд-во "Мир", М., 1979.

5 Киттель Ч. Введение в физику твёрдого тела. М.: Наука, 1978.

6 Шаскольская М.Л. Кристаллография. Изд-во "Высшая школа", М., 1975.

7 Пайерлс Р., Квантовая теория твердых тел, Едиториал УРСС, М., 2002.

8 Киреев П.С. Физика полупроводников. Изд-во "Высшая школа", М., 1975.

9 Займан Дж. Принципы теории твёрдого тела. Изд-во "Мир", М., 1966.

10 А.А. Абрикосов Основы теории металлов, ФИЗМАТЛИТ, М., 2009.

11 де Женн П.-Ж. Сверхпроводимость металлов и сплавов. Изд-во "Мир", 1968.

12 Займан Дж. Модели беспорядка. "Мир", М., 1982.

13 Горелик С.С., Дашевский М.Я. Материаловедение полупроводников, М., Металлургия, 1973 г.

14 Шаскольская М.П. Кристаллография , М., « Высшая школа», 1975 г.

15 Киттель Ч. Элементарная физика твердого тела , М., «Наука», 1976 г.

16 Мильвидский М.Г., Освенский В.Б. Структурные дефекты в монокристаллах поупроводников М., «Металлургия», 1983 г.

17 Киреев П.С. Физика полупроводников М., «Высшая школа», 1975 г.

18 Бокштейн Б.С., Менделев М.И. Краткий курс физической химии.- М.: Изд.Дом МИСиС. 2008.

19 Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А., Физическая химия, -М. Металлургия. 2002,

20 Родин А.О. Физическая химия, М., Изд.Дом МИСиС, 2010.

21 Петелин А.Л. Нелинейная термодинамика М.: Изд.Дом МИСиС. 2011

22 Данилов Ю.А. Лекции по нелинейной динамике М.: КомКнига2006

23 Лившиц Б.Г. Металлография. - М.: Металлургия, 1990. - 336 с.

24 Металлография. Микроструктура металлических сплавов. Лабораторный практикум. - М.: МИСиС, 2007. - 198 с. (№ 1165).

25 Металлография. Металлография технических сплавов. Лабораторный практикум. - Под ред. Новикова В.Ю. - М.: МИСиС, 1987. - 154 с. (№ 294).

26 Малинина Р.И., Чешля Ю.В., Цыганова И.А. Металлография. Структура реальных металлов, затвердевание, диаграммы фазового равновесия двойных систем. Часть I. Задачник. - М.: МИСиС, 1996. - 108 с. (№ 979).

27 Металлография. Задачник. Часть II. Структурообразование в сплавах тройных систем и углеродистых сплавах на базе стабильной и метастабильной диаграмм состояния железо- углерод. - М.: МИСиС, 1995. (№ 980).

28 Новиков И.И., Розин К.М. Кристаллография и дефекты кристаллической решетки. - М.: Металлургия, 1990. - 336 с.

29 Новиков И.И., Строганов ИИ, Новиков А.И. Металловедение, термообработка и рентгенография. - М.: МИСиС, 1994. - 480 с.

30 Захаров А.М. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. - М. : Металлургия, 1990. - 240 с.

31 Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. - М.: Металлургия, 1986. – 480 с.

32 Материаловедение. - Под ред. Б.Н.Арзамасова. - М.: Машиностроение, 1986. - 384 с.

33 Уманский Я.С., Скаков Ю.А., Иванов А.Н., Расторгуев Л.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. -М.: Металлургия, 1982,362с.

34 Горелик С.С., Скаков Ю.А., Расторгуев Л.Н. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. -М.: МИСиС, 2002, 360с.

35 Новиков И.И., Строганов Г.Б., Новиков А.И. Металловедение, термообработка и рентгенография. -М.: МИСиС, 1994, 480с.

36 Дьяконова Н.П., Иванов А.Н. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия. Раздел: Микрорентгеноспектральный анализ. -М.: МИСиС, №412, 1991, 32с.

37 Брандон Д., Каплан У. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля, пер. с англ.- М.: Техносфера, 2004, 384с.

38 Д.Синдо, Т.Оикава. Аналитическая просвечивающая электронная микроскопия. –М., Техносфера, 2006, 252 с.

39 Под ред. М.М.Кришталл и др. Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный анализ. -М., Техносфера, 2009, 206 с.