

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра Высшей математики и физики

Фонд оценочных средств дисциплины

**Б1.О.04 Современные методы исследования конструкционных и  
композитных материалов**

Основная профессиональная образовательная программа  
высшего образования программы магистратуры по направлению подготовки  
(сетевая форма реализации)

**03.04.01 Прикладные математика и физика**  
Направленность (профиль):  
**«Физические исследования инновационных материалов»**

Уровень:  
**Магистратура**

Форма обучения  
**Очная**

Рассмотрено и утверждено на заседании кафедры  
Высшей математики и физики от  
08.09.2022 протокол №2  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Зайцева И.В.

Авторы-разработчики:  
д.т.н., Дьяченко Н.В.,  
к.т.н., Бобкова Т.И.

**1. Паспорт Фонда оценочных средств по дисциплине**  
**«Современные методы исследования конструкционных и композитных материалов»**  
Таблица 1

№ раздела	Тема дисциплины	Наименование средств текущего контроля	Формируемые компетенции
1 семестр			
1	Введение. Общие понятия. Исследование механических свойств	Выполнение практической работы 1	ОПК-3 ПК-1
2	Методы исследования тепловых, термических и термомеханических свойств	Выполнение практической работы 2	ОПК-3 ПК-1
3	Акустические методы исследования свойств материалов	Выполнение практической работы 3	ОПК-3 ПК-1
4	Оптические методы исследования свойств материалов (Оптическая микроскопия).	Выполнение практической работы 4	ОПК-3 ПК-1
	ТКУ	Тестирование	ОПК-3 ПК-1
5	Растровая (сканирующая) микроскопия	Выполнение практической работы 5	ОПК-3 ПК-1
2 семестр			
6	Электронно-микроскопические просвечивающие методы исследования	Выполнение практической работы 6	ОПК-3 ПК-1
7	Дифракционные методы исследования свойств материалов	Выполнение практической работы 7	ОПК-3 ПК-1
8	Атомно-силовая микроскопия	Выполнение практической работы 8	ОПК-3 ПК-1
	ТКУ	Тестирование	ОПК-3 ПК-1
9	Методы исследования транспортных и электрических свойств	Выполнение практической работы 9	ОПК-3 ПК-1
10	Методы исследования магнитных свойств	Выполнение практической работы 10	ОПК-3 ПК-1

## 2. Перечень компетенций, с указанием этапов их формирования в процессе освоения дисциплины

Код и наименование профессиональной компетенции	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции	Результаты обучения
ОПК-3 Способен в рамках своей профессиональной деятельности анализировать, выявлять, формализовать и находить решения фундаментальных и прикладных научно-технических и инновационных задач	ОПК-3.1 Решает задачи анализа и формализации фундаментальных и прикладных научно-технических проблем.	Знать: – методы исследования конструкционных и композитных материалов. Уметь: – применять эти методы для получения необходимых характеристик материалов; Владеть: – навыками анализа полученных результатов, формализации и решения задач исследования материалов.
ПК-1 Способен использовать специализированные знания о выбранных объектах для проведения исследований с применением современных информационных технологий	ПК-1.1 Применяет специальные знания для исследования структуры и свойств новых материалов.	Знать: – физическую сущность явлений, протекающих в твердых телах, при различных внешних воздействиях. Уметь: – выполнять количественные оценки величины эффектов и характеристических параметров с учётом особенностей кристаллической структуры конструкционных и функциональных материалов, типа и концентрации примесей. Владеть: – стандартной терминологией, определениями и обозначениями.
	ПК-1.2 Проводит математическое моделирование и оптимизацию параметров объектов и процессов с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств.	Знать: – методы математического моделирования процессов в твердых телах; Уметь: – вносить необходимые изменения в модель для оптимизации параметров вещества и процессов; Владеть: – навыками использования стандартных и специально разработанных средств для моделирования процессов.

### 3. Балльно-рейтинговая система оценивания

**Таблица 3. Распределение баллов по видам учебной работы – 1 и 2 семестры**

Вид учебной работы, за которую ставятся баллы	Баллы
Текущий контроль:	0-100
в том числе промежуточная аттестация	0-30
ИТОГО	0-100

**Таблица 7.1. Распределение баллов по текущему контролю**

1 семестр			
№	Вид работ	Min	Max
1. Обязательная часть			
1.1	Текущий контроль успеваемости по проверке сформированности остаточных знаний:		
1.1.1	Текущий контроль успеваемости (ТКУ)	0	10
1.2	Выполнение практических работ:		
1.2.1	Практическая работа 1. Задачи теории деформации, упругости, прочности. Пределы пластичности, хрупкости. Диаграмма напряжений.	4	6
1.2.2	Практическая работа 2. Задачи теплопроводности и теплопереноса в твердых телах ТГА, ДТА, ДСК. Задачи прочности конструкционных и функциональных материалов при повышенных и пониженных температурах	4	6
1.2.3	Практическая работа 3. Задачи распространения упругих волн в твердых телах	4	6
1.2.4	Практическая работа 4. Задачи интерференции, поляризации, отражения. Методы электронной микроскопии: трансмиссионные, прямого разрешения, контраста, реплик.	4	6
1.2.5	Практическая работа 5. Отражательная электронная микроскопия. Методы подготовки образцов для исследования электронной микроскопией. Задачи магнитной и электрической фокусировки электронного пучка	4	6
Итого баллов по обязательной части		20	40
2. Вариативная часть			
2.1	Реферат «Современные методы исследования конструкционных и композитных материалов»	1	5
2.2	Участие в НИРС	10	25
2.3	Участник клуба МиФ	1	10
2.4	Участие в олимпиаде (физика, математика)	5	10
2.4.1	участие	5	5
2.4.2	призер	10	10
2.5	Публикация в индексируемом журнале (совместно с преподавателем)	10	10
2.6	Акселерационная программа/ проект Росмолодежи	20	40

2.6.1	участие	20	20
2.6.2	грант	40	40
	Промежуточная аттестация по дисциплине	0	30
Итого баллов по вариативной части		40	60
Итого баллов по дисциплине			100

2 семестр			
№	Вид работ	Min	Max
1. Обязательная часть			
1.1	Текущий контроль успеваемости по проверке сформированности остаточных знаний:		
1.1.1	Текущий контроль успеваемости (ТКУ)	0	10
1.2	Выполнение практических работ:		
1.2.1	Практическая работа 6. Просвечивающая электронная микроскопия. Методы подготовки образцов для исследования электронной микроскопией.	4	6
1.2.2	Практическая работа 7. Рентгеноструктурный анализ. Физика рентгеновских лучей. Уравнение диф-ракции Вульфа - Бреггов. Основной закон дифракции рентгеновских лучей - закон Лауэ. Электронография и нейтро-нография	4	6
1.2.3	Практическая работа 8. Растровая электронная микроскопия, принцип работы микроскопа и основные методики, используемые при методе растровой электронной микроскопии	4	6
1.2.4	Практическая работа 9. Эффект Холла и его измерение. Электропроводность низкоразмерных частиц металлов и низкоомных полупроводников. Размерные эффекты при измерениях.	4	6
1.2.5	Практическая работа 10. Задачи расчета намагничивания, магнитных моментов	4	6
Итого баллов по обязательной части		20	40
2. Вариативная часть			
2.1	Реферат «Современные методы исследования конструкционных и композитных материалов»	1	5
2.2	Участие в НИРС	10	25
2.3	Участник клуба МиФ	1	10
2.4	Участие в олимпиаде (физика, математика)	5	10
2.4.1	участие	5	5
2.4.2	призер	10	10
2.5	Публикация в индексируемом журнале (совместно с преподавателем)	10	10
2.6	Акселерационная программа/ проект Росмолодежи	20	40
2.6.1	участие	20	20
2.6.2	грант	40	40
	Промежуточная аттестация по дисциплине	0	30
Итого баллов по вариативной части		40	60
Итого баллов по дисциплине			100

**Таблица 7.2. Конвертация баллов в итоговую оценку на зачете с оценкой и экзамене**

Оценка	Баллы
Зачтено (отлично)	85-100
Зачтено (хорошо)	64-84
Зачтено (удовлетворительно)	40-63
Не зачтено (неудовлетворительно)	0-39

#### **4. Содержание оценочных средств текущего контроля. Критерии оценивания**

Перечень учебно-методического и информационного обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине, в том числе по подготовке к текущему контролю и промежуточной аттестации представлены в рабочих программах и методических рекомендациях для обучающихся по освоению дисциплины.

Перечень тестовых заданий, методика выполнения и критерии оценивания по темам дисциплины:

##### **Практическая работа 1.**

Задачи теории деформации, упругости, прочности. Пределы пластичности, хрупкости. Диаграмма напряжений.

##### **1. Цель работы**

Главная цель: Изучить основные механические свойства материалов, освоить методы построения и анализа диаграмм напряжений, определить характеристики прочности, упругости и пластичности.

Конкретные задачи:

1. Изучить виды деформаций и механические свойства материалов.
2. Освоить методику построения диаграммы напряжений по экспериментальным данным.
3. Определить пределы упругости, пропорциональности, текучести и прочности.
4. Рассчитать модуль упругости, характеристики пластичности и хрупкости.
5. Сравнить механические свойства различных материалов.

##### **2. Ход работы**

Этап 1. Теоретическая подготовка

- Изучить основные понятия: напряжение, деформация, упругость, пластичность, прочность.
- Ознакомиться с видами диаграмм растяжения для различных материалов.
- Изучить характеристики, определяемые из диаграмм напряжений.

Этап 2. Получение экспериментальных данных

- Провести испытания образцов на растяжение (или использовать предоставленные данные).
- Зафиксировать значения нагрузки и удлинения на различных этапах нагружения.
- Испытать образцы из разных материалов (хрупких и пластичных).

Этап 3. Построение диаграммы напряжений

- Пересчитать экспериментальные данные в напряжения и деформации.
- Построить диаграмму напряжений в координатах  $\sigma - \epsilon$ .
- Выделить характерные участки диаграммы: упругий, пластический, упрочнения.

Этап 4. Определение механических характеристик

- Определить предел пропорциональности и предел упругости.
- Найти предел текучести (физический или условный).
- Определить временное сопротивление (предел прочности).
- Рассчитать модуль упругости материала.

#### Этап 5. Расчет характеристик пластичности

- Определить относительное остаточное удлинение после разрыва.
- Рассчитать относительное сужение площади поперечного сечения.
- Оценить запас пластичности материала.

#### 3. Отчетность

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - Основные понятия механики материалов
  - Виды деформаций и механических свойств
  - Характеристики пластичности и хрупкости
4. Экспериментальная часть:
  - Исходные данные испытаний
  - Методика проведения измерений
  - Примеры расчетов напряжений и деформаций
5. Результаты и анализ:
  - Построенные диаграммы напряжений
  - Таблицы механических характеристик
  - Сравнение свойств различных материалов
  - Анализ характера разрушения образцов
6. Выводы:
  - О механических свойствах исследованных материалов
  - О соответствии свойств материала требованиям эксплуатации
  - О преимуществах и недостатках различных материалов
  - О практическом значении определенных характеристик

#### Практическая работа 2.

Задачи теплопроводности и теплопереноса в твердых телах ТГА, ДТА, ДСК. Задачи прочности конструкционных и функциональных материалов при повышенных и пониженных температурах

##### 1. Цель работы

Главная цель: Исследовать процессы теплопереноса в твердых телах методами ТГА, ДТА, ДСК и изучить влияние температуры на прочностные характеристики конструкционных и функциональных материалов.

Конкретные задачи:

1. Освоить методы термического анализа: ТГА, ДТА, ДСК.
2. Исследовать теплопроводность различных материалов.
3. Изучить фазовые превращения и термическую стабильность материалов.
4. Определить прочностные характеристики материалов при различных температурах.
5. Проанализировать влияние температуры на механические свойства.

##### 2. Ход работы

Этап 1. Подготовка образцов и оборудования

- Подготовить образцы материалов для термического анализа и механических испытаний.
- Провести калибровку оборудования для ТГА, ДТА, ДСК.
- Настроить температурные режимы испытаний.

Этап 2. Термический анализ

- Провести термогравиметрический анализ (ТГА) для изучения изменения массы образца.

- Выполнить дифференциальный термический анализ (ДТА) для регистрации тепловых эффектов.
- Провести дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК) для измерения тепловых потоков.

Этап 3. Испытания при различных температурах

- Провести механические испытания при повышенных температурах.
- Выполнить испытания при пониженных (криогенных) температурах.
- Определить прочностные характеристики при различных температурных условиях.

Этап 4. Анализ результатов

- Построить кривые ТГА, ДТА, ДСК.
- Определить температуры фазовых превращений.
- Рассчитать тепловые эффекты процессов.
- Проанализировать изменение прочности и пластичности в зависимости от температуры.

### 3. Отчетность

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - Основы теплопереноса в твердых телах
  - Принципы методов ТГА, ДТА, ДСК
  - Влияние температуры на механические свойства материалов
4. Экспериментальная часть:
  - Методики проведения термического анализа
  - Условия механических испытаний
  - Характеристики исследованных материалов
5. Результаты и анализ:
  - Кривые ТГА, ДТА, ДСК с интерпретацией
  - Температурные зависимости прочностных характеристик
  - Сравнительный анализ поведения материалов при разных температурах
  - Определение рабочих температурных диапазонов
6. Выводы:
  - О термической стабильности исследованных материалов
  - О влиянии температуры на механические свойства
  - О применимости методов термического анализа для исследования материалов
  - О рекомендациях по использованию материалов в различных температурных условиях

### Практическая работа 3.

Задачи распространения упругих волн в твердых телах

#### 1. Цель работы

Главная цель: Исследовать закономерности распространения упругих волн в твердых телах, определить скорости распространения различных типов волн и изучить влияние свойств материала на волновые процессы.

Конкретные задачи:

1. Изучить теоретические основы распространения упругих волн в твердых телах.
2. Освоить экспериментальные методы исследования упругих волн.
3. Определить скорости продольных и поперечных волн в различных материалах.
4. Исследовать затухание упругих волн в зависимости от расстояния.
5. Проанализировать влияние дефектов структуры на распространение волн.



## 2. Ход работы

### Этап 1. Подготовка оборудования и образцов

- Подготовить образцы из различных материалов (металлы, полимеры, керамика).
- Настроить измерительную аппаратуру (генератор импульсов, пьезодатчики, осциллограф).
- Определить геометрические параметры образцов.

### Этап 2. Измерение скоростей упругих волн

- Зарегистрировать время прохождения продольных волн через образцы.
- Измерить время прохождения поперечных волн.
- Рассчитать скорости распространения волн по полученным данным.
- Провести измерения для материалов с различной структурой.

### Этап 3. Исследование затухания волн

- Измерить амплитуду упругих волн на различных расстояниях от источника.
- Построить графики затухания амплитуды.
- Определить коэффициенты затухания для разных материалов.

### Этап 4. Изучение влияния дефектов

- Исследовать распространение волн в образцах с искусственными дефектами.
- Сравнить волновые картины в defect-free и дефектных образцах.
- Проанализировать влияние размера и типа дефектов на параметры волн.

## 3. Отчетность

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - Теория упругих волн в твердых телах
  - Типы упругих волн и их характеристики
  - Факторы, влияющие на распространение волн
4. Экспериментальная часть:
  - Описание измерительной установки
  - Методика проведения измерений
  - Параметры исследованных образцов
5. Результаты и анализ:
  - Таблицы измеренных скоростей упругих волн
  - Графики затухания амплитуды волн
  - Сравнительный анализ различных материалов
  - Оценка влияния дефектов на волновые процессы
6. Выводы:
  - О закономерностях распространения упругих волн
  - О связи скоростей волн с упругими свойствами материалов
  - О возможностях ultrasonic методов контроля качества материалов
  - О практическом значении полученных результатов

## Практическая работа 4.

Задачи интерференции, поляризации, отражения. Методы электронной микроскопии: трансмиссионные, прямого разрешения, контраста, реплик.

### 1. Цель работы

Главная цель: Изучить оптические явления интерференции, поляризации и отражения света, а также освоить основные методы электронной микроскопии для исследования микроструктуры материалов.

Конкретные задачи:

1. Исследовать явления интерференции и поляризации света.
2. Изучить закономерности отражения света от различных поверхностей.
3. Освоить принципы работы трансмиссионного электронного микроскопа.
4. Изучить методы получения контраста и приготовления реплик.
5. Освоить методику прямого разрешения атомной структуры материалов.

## 2. Ход работы

### Этап 1. Исследование оптических явлений

- Провести эксперименты по наблюдению интерференции света.
- Исследовать явление поляризации света с помощью поляризаторов.
- Изучить отражение света от поверхностей с различной шероховатостью.
- Измерить интенсивность отраженного света под разными углами.

### Этап 2. Подготовка образцов для электронной микроскопии

- Приготовить ультратонкие срезы для трансмиссионной микроскопии.
- Изготовить углеродные реплики поверхности.
- Провести ионное травление для повышения контраста.
- Нанести проводящие покрытия при необходимости.

### Этап 3. Работа на трансмиссионном электронном микроскопе

- Освоить методику юстировки микроскопа.
- Провести исследования в режиме bright-field и dark-field.
- Получить изображения с атомным разрешением.
- Изучить дифракционные картины материалов.

### Этап 4. Анализ микроструктуры

- Идентифицировать фазы и дефекты структуры.
- Измерить размеры частиц и зерен.
- Проанализировать морфологию поверхности по репликам.
- Сравнить различные методы контрастирования.

## 3. Отчетность

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - Физические основы интерференции, поляризации и отражения света
  - Принципы электронной микроскопии
  - Методы приготовления образцов
4. Экспериментальная часть:
  - Схемы оптических экспериментов
  - Параметры электронно-микроскопических исследований
  - Методики приготовления образцов
5. Результаты и анализ:
  - Интерференционные картины и поляризационные диаграммы
  - Электронно-микроскопические изображения
  - Дифракционные картины
  - Сравнительный анализ различных методов исследования
6. Выводы:
  - О возможностях оптических методов исследования
  - О преимуществах электронной микроскопии
  - О качестве приготовленных образцов
  - О перспективах применения изученных методов

## Практическая работа 5.

Отражательная электронная микроскопия. Методы подготовки образцов для исследования электронной микроскопией. Задачи магнитной и электрической фокусировки электронного пучка

### 1. Цель работы

Главная цель: Освоить методы отражательной электронной микроскопии, изучить способы подготовки образцов и исследовать задачи фокусировки электронного пучка с помощью магнитных и электрических полей.

Конкретные задачи:

1. Изучить принципы отражательной электронной микроскопии.
2. Освоить методы подготовки образцов для различных видов электронной микроскопии.
3. Исследовать механизмы магнитной и электрической фокусировки электронного пучка.
4. Провести сравнительный анализ различных методов фокусировки.
5. Оценить влияние качества подготовки образцов на результаты исследований.

### 2. Ход работы

Этап 1. Подготовка образцов

- Приготовить образцы для отражательной электронной микроскопии.
- Освоить методы механической полировки и ионного травления.
- Подготовить тонкие срезы для просвечивающей электронной микроскопии.
- Научиться изготовлению реплик поверхности.

Этап 2. Исследование фокусировки электронного пучка

- Изучить принципы действия магнитных линз.
- Исследовать возможности электрической фокусировки.
- Провести эксперименты по фокусировке пучка на различных материалах.
- Оценить разрешающую способность при разных методах фокусировки.

Этап 3. Работа в отражательном режиме

- Настроить микроскоп для работы в отражательном режиме.
- Провести исследование поверхности образцов.
- Получить изображения с различным увеличением.
- Изучить влияние угла падения электронов на качество изображения.

Этап 4. Сравнительный анализ

- Сравнить качество изображений, полученных разными методами.
- Оценить влияние методов подготовки образцов на результаты.
- Проанализировать преимущества и недостатки различных методов фокусировки.

### 3. Отчетность

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - Принципы отражательной электронной микроскопии
  - Методы подготовки образцов
  - Теория магнитной и электрической фокусировки
4. Экспериментальная часть:
  - Методики подготовки образцов
  - Параметры исследования фокусировки
  - Условия проведения микроскопии
5. Результаты и анализ:
  - Изображения, полученные в отражательном режиме
  - Результаты исследований фокусировки пучка
  - Сравнительные характеристики методов фокусировки

- Оценка качества подготовки образцов
- 6. Выводы:
  - О возможностях отражательной электронной микроскопии
  - О эффективности различных методов фокусировки
  - О влиянии подготовки образцов на качество исследований
  - О перспективах применения изученных методов

### **Практическая работа 6.**

Просвечивающая электронная микроскопия. Методы подготовки образцов для исследования электронной микроскопией.

#### **1. Цель работы**

Главная цель: Освоить методы просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и изучить современные способы подготовки образцов для электронно-микроскопических исследований.

Конкретные задачи:

1. Изучить устройство и принципы работы просвечивающего электронного микроскопа.
2. Освоить методики подготовки ультратонких срезов и фольг.
3. Изучить методы ионного и ультразвукового травления образцов.
4. Освоить технику получения высококачественных электронно-микроскопических изображений.
5. Научиться интерпретировать результаты ПЭМ-исследований.

#### **2. Ход работы**

##### **Этап 1. Подготовка образцов**

- Провести механическое истончение образцов до толщины 100-200 мкм.
- Выполнить ультразвуковое вырезание дисков диаметром 3 мм.
- Провести ионное травление для достижения толщины менее 100 нм.
- Приготовить углеродные реплики поверхности.

##### **Этап 2. Настройка микроскопа**

- Провести юстировку электронной пушки.
- Настроить систему магнитных линз.
- Откалибровать увеличение микроскопа.
- Настроить систему регистрации изображения.

##### **Этап 3. Проведение исследований**

- Получить изображения в режиме bright-field.
- Провести исследования в режиме dark-field.
- Получить электронограммы и проанализировать кристаллическую структуру.
- Провести исследования с высоким разрешением (HRTEM).

##### **Этап 4. Анализ результатов**

- Идентифицировать структурные дефекты.
- Определить размеры и распределение фаз.
- Проанализировать морфологию поверхности.
- Провести количественный анализ микроструктуры.

#### **3. Отчетность**

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - Принципы просвечивающей электронной микроскопии
  - Физические основы взаимодействия электронов с веществом
  - Методы интерпретации электронограмм
4. Экспериментальная часть:

- Методики подготовки образцов
  - Параметры работы микроскопа
  - Условия проведения исследований
5. Результаты и анализ:
- Электронно-микроскопические изображения
  - Дифракционные картины
  - Результаты анализа микроструктуры
  - Сравнение различных методов подготовки образцов
6. Выводы:
- О качестве приготовленных образцов
  - О возможностях метода ПЭМ
  - О структурных особенностях исследованных материалов
  - О перспективах применения метода

### **Практическая работа 7.**

Рентгеноструктурный анализ. Физика рентгеновских лучей. Уравнение дифракции Вульфа - Бреггов. Основной закон дифракции рентгеновских лучей - закон Лауэ. Электронография и нейтронография.

#### **1. Цель работы**

Главная цель: Изучить физические основы рентгеноструктурного анализа, освоить методы интерпретации дифракционных картин и провести сравнительный анализ методов электронографии и нейтронографии.

Конкретные задачи:

1. Изучить природу рентгеновских лучей и их взаимодействие с веществом.
2. Освоить уравнение Вульфа-Бреггов и закон Лауэ для интерпретации дифракционных данных.
3. Провести рентгеноструктурный анализ кристаллических образцов.
4. Изучить основы электронографии и нейтронографии.
5. Сравнить возможности различных дифракционных методов.

#### **2. Ход работы**

Этап 1. Теоретическая подготовка

- Изучить физику рентгеновского излучения.
- Освоить вывод уравнения Вульфа-Бреггов.
- Изучить условия дифракции по Лауэ.
- Ознакомиться с основами электронографии и нейтронографии.

Этап 2. Подготовка образцов и оборудования

- Подготовить монокристаллические и поликристаллические образцы.
- Настроить рентгеновский дифрактометр.
- Подготовить эталонные образцы для калибровки.

Этап 3. Проведение рентгеноструктурного анализа

- Получить дифракционные картины для различных образцов.
- Провести качественный фазовый анализ.
- Выполнить количественный анализ фазового состава.
- Определить параметры кристаллической решетки.

Этап 4. Сравнительный анализ методов

- Сравнить дифракционные картины, полученные разными методами.
- Проанализировать преимущества и ограничения каждого метода.
- Оценить разрешающую способность методов.

#### **3. Отчетность**

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист

2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - Физика рентгеновских лучей
  - Уравнение Вульфа-Бреггов и закон Лауэ
  - Основы электронографии и нейтронографии
4. Экспериментальная часть:
  - Методика проведения измерений
  - Параметры исследования
  - Характеристики образцов
5. Результаты и анализ:
  - Дифракционные картины
  - Результаты фазового анализа
  - Определение параметров решетки
  - Сравнительный анализ методов
6. Выводы:
  - О возможностях рентгеноструктурного анализа
  - О точности определения структурных параметров
  - О преимуществах и недостатках различных дифракционных методов
  - О практической значимости полученных результатов

### **Практическая работа 8.**

Растровая электронная микроскопия, принцип работы микроскопа и основные методики, используемые при методе растровой электронной микроскопии.

#### **1. Цель работы**

Главная цель: Изучить принципы работы растрового электронного микроскопа (РЭМ) и освоить основные методики исследования, применяемые в растровой электронной микроскопии.

Конкретные задачи:

1. Изучить устройство и принцип работы растрового электронного микроскопа.
2. Освоить методики подготовки образцов для РЭМ-исследований.
3. Изучить основные режимы работы РЭМ и получаемую информацию.
4. Освоить методы качественного и количественного анализа микроструктуры.
5. Изучить возможности совмещенного использования РЭМ с микрорентгеноспектральным анализом.

#### **2. Ход работы**

Этап 1. Подготовка образцов

- Провести механическую обработку образцов.
- Напылить проводящее покрытие (золото, углерод).
- Закрепить образцы на столике с помощью проводящих паст.
- Подготовить образцы с различной электропроводностью.

Этап 2. Изучение устройства РЭМ

- Ознакомиться с основными блоками микроскопа.
- Изучить принцип формирования электронного пучка.
- Освоить систему сканирования пучка по поверхности образца.
- Изучить детекторы вторичных и обратнорассеянных электронов.

Этап 3. Проведение исследований

- Провести исследования в режиме вторичных электронов.
- Выполнить исследования в режиме обратнорассеянных электронов.
- Провести элементный анализ с помощью EDS-детектора.
- Получить изображения с различными увеличениями.

Этап 4. Анализ результатов

- Провести морфологический анализ поверхности.
- Выполнить количественный анализ микроструктуры.

- Провести корреляцию между составом и структурой.
  - Сравнить информацию, получаемую в разных режимах.
3. Отчетность
- Отчет должен содержать:
1. Титульный лист
  2. Цель работы
  3. Теоретическая часть:
    - Принципы растровой электронной микроскопии
    - Физические основы взаимодействия электронов с веществом
    - Методы интерпретации РЭМ-изображений
  4. Экспериментальная часть:
    - Методики подготовки образцов
    - Параметры работы микроскопа
    - Условия проведения исследований
  5. Результаты и анализ:
    - РЭМ-изображения в разных режимах
    - Результаты элементного анализа
    - Количественные характеристики микроструктуры
    - Сравнительный анализ различных методик
  6. Выводы:
    - О возможностях метода растровой электронной микроскопии
    - О влиянии подготовки образцов на качество исследований
    - О преимуществах совмещения РЭМ с элементным анализом
    - О практической значимости полученных результатов

### **Практическая работа 9.**

Эффект Холла и его измерение. Электропроводность низкоразмерных частиц металлов и низкоомных полупроводников. Размерные эффекты при измерениях.

#### **1. Цель работы**

Главная цель: Изучить эффект Холла и методы его измерения, исследовать особенности электропроводности низкоразмерных систем и проанализировать влияние размерных эффектов на электронные свойства материалов.

Конкретные задачи:

1. Изучить физическую природу эффекта Холла и методы его измерения.
2. Освоить методику определения концентрации и подвижности носителей заряда.
3. Исследовать электропроводность низкоразмерных металлических частиц.
4. Изучить особенности проводимости низкоомных полупроводников.
5. Проанализировать влияние размерных эффектов на электронные свойства

#### **2. Ход работы**

Этап 1. Подготовка образцов и оборудования

- Подготовить образцы низкоразмерных металлов и полупроводников.
- Изготовить контакты для измерений методом фотолитографии.
- Настроить измерительную установку для эффекта Холла.
- Калибровать измерительные приборы.

Этап 2. Измерение эффекта Холла

- Провести измерения холловского напряжения при различных магнитных полях.
- Определить тип проводимости образцов.
- Рассчитать концентрацию носителей заряда.
- Определить подвижность носителей.

Этап 3. Исследование размерных эффектов

- Провести измерения для образцов различной толщины.

- Исследовать зависимость проводимости от размеров частиц.
- Проанализировать влияние границ раздела на электронный транспорт.
- Сравнить результаты для металлов и полупроводников.

Этап 4. Анализ электропроводности

- Построить вольт-амперные характеристики.
- Определить удельное сопротивление образцов.
- Проанализировать температурную зависимость проводимости.
- Сравнить экспериментальные данные с теоретическими моделями.

3. Отчетность

Отчет должен содержать:

1. Титульный лист
2. Цель работы
3. Теоретическая часть:
  - Физические основы эффекта Холла
  - Особенности проводимости низкоразмерных систем
  - Теория размерных эффектов в наноматериалах
4. Экспериментальная часть:
  - Методика измерений эффекта Холла
  - Параметры исследованных образцов
  - Условия проведения экспериментов
5. Результаты и анализ:
  - Результаты измерений холловского напряжения
  - Рассчитанные концентрации и подвижности носителей
  - Зависимости проводимости от размеров образцов
  - Сравнительный анализ различных материалов
6. Выводы:
  - О типе проводимости и параметрах носителей заряда
  - О влиянии размерных эффектов на электронные свойства
  - О особенностях проводимости низкоразмерных систем
  - О точности и возможностях метода измерений эффекта Холла

## **Практическая работа 10.**

Задачи расчета намагничивания, магнитных моментов.

1. Цель работы

Главная цель: Освоить методы расчета намагничивания и магнитных моментов различных материалов, изучить влияние внешних факторов на магнитные характеристики.

Конкретные задачи:

1. Изучить теоретические основы магнетизма и магнитных моментов.
2. Освоить методы расчета намагниченности для различных типов магнитных материалов.
3. Исследовать зависимость намагниченности от температуры и магнитного поля.
4. Рассчитать магнитные моменты атомов и ионов в кристаллической решетке.
5. Проанализировать влияние структуры материала на его магнитные свойства.

2. Ход работы

Этап 1. Теоретическая подготовка

- Изучить виды магнетизма: диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферримагнетизм.
- Освоить понятия магнитного момента, намагниченности, магнитной восприимчивости.
- Изучить закон Кюри-Вейсса и его применение.

Этап 2. Расчет магнитных моментов

- Рассчитать магнитные моменты ионов переходных металлов.



- Определить эффективные магнитные моменты комплексов.
  - Проанализировать вклад спинового и орбитального моментов.
- Этап 3. Расчет намагниченности
- Построить кривые намагничивания для различных материалов.
  - Рассчитать намагниченность насыщения.
  - Изучить влияние температуры на намагниченность.
  - Проанализировать петли гистерезиса.
- Этап 4. Моделирование магнитных свойств
- Смоделировать температурную зависимость магнитной восприимчивости.
  - Рассчитать параметры обменного взаимодействия.
  - Проанализировать влияние размера частиц на магнитные свойства.
3. Отчетность
- Отчет должен содержать:
1. Титульный лист
  2. Цель работы
  3. Теоретическая часть:
    - Основы теории магнетизма
    - Методы расчета магнитных моментов
    - Теория магнитного упорядочения
  4. Расчетная часть:
    - Расчеты магнитных моментов ионов
    - Расчеты намагниченности
    - Моделирование температурных зависимостей
  5. Результаты и анализ:
    - Таблицы рассчитанных магнитных моментов
    - Графики зависимостей намагниченности
    - Сравнительный анализ различных материалов
    - Оценка точности расчетов
  6. Выводы:
    - О магнитных свойствах исследованных материалов
    - О влиянии температуры и поля на намагниченность
    - О точности применяемых расчетных методов
    - О практической значимости полученных результатов

**Таблица 4.1. Критерии оценивания практических работ**

Критерий оценивания	Результат
обучающийся не смог дать ответ на вопросы преподавателя	0 баллов
Обучающийся плохо ответил на опрос, допустив значительные ошибки в ответах	1 балл
Обучающийся ответил на вопросы опроса, допустив некоторые ошибки в ответах	2 балла
Обучающийся в целом неплохо ответил на вопросы опроса, допустив незначительные ошибки в ответах	4 балла
обучающийся без ошибок полно и правильно ответил на вопросы	6 баллов

**Таблица 4.2. Критерии оценивания заданий из вариативной части**

2.1	Реферат «Современные методы исследования конструкционных и композитных материалов»	1	5
2.2	Участие в НИРС	10	25
2.3	Участник клуба МиФ	1	10
2.4	Участие в олимпиаде (физика, математика)	5	10

2.4.1	участие	5	5
2.4.2	призер	10	10
2.5	Публикация в индексируемом журнале (совместно с преподавателем)	10	10
2.6	Акселерационная программа/ проект Росмолодежи	20	40
2.6.1	участие	20	20
2.6.2	грант	40	40
	Промежуточная аттестация по дисциплине	0	30
Итого баллов по вариативной части		40	60
Итого баллов по дисциплине			100

## 5. Содержание оценочных средств промежуточной аттестации. Критерии оценивания

Форма проведения зачёта с оценкой: устный ответ на два вопроса в билете

### Перечень вопросов для подготовки к зачету с оценкой

Перечень вопросов для зачета с оценкой

#### ОПК-3, ПК-1

1. Основные погрешности физических измерений, принципы обработки результатов измерений.
2. Механические испытания материалов. Их виды.
3. Силы и напряжения. Напряженное состояние.
4. Методы обнаружения и измерения деформаций.
5. Испытание на растяжение. Диаграмма испытания. Характеристики прочности.
6. Испытания на сжатие, сдвиг, изгиб. Константы упругости и связь между ними.
7. Испытание на кручение. Определение модулей сдвига.
8. Методы определения твердости: по Бринелю, Роквеллу, Викерсу.
9. Термический анализ. Методы термического анализа
11. Термогравиметрический анализ.
12. Дифференциальный термический анализ.
13. Термомеханический анализ.
14. Акустические методы – активные и пассивные. Свойства звуковых волн в твердых телах.
15. Акустический контроль методами отражения и методами прохождения акустических волн. Импеданс.
16. Чувствительность и разрешающая способность акустических методов.
17. Оптическая микроскопия.
18. Электронная микроскопия.
19. Растровая электронная микроскопия.

### Перечень вопросов для подготовки к экзамену

#### ОПК-3, ПК-1

1. Просвечивающая электронная микроскопия.

2. Рентгеноструктурный анализ.
3. Рентгенофазовый анализ.
4. Рентгеноспектральный анализ.
5. Методы исследования низкоразмерных материалов.
6. Возможности дериватографии и масс-спектро스코пии при изучении низкоразмерных материалов.
7. Методы радиоспектроскопии и гамма-резонанса при изучении наноразмерных соединений.
8. Основы рентгенофлюоресцентной спектроскопии.
9. Методы исследования электрических свойств материалов.
10. Электрофизические методы исследования.
11. Методы исследования магнитных свойств материалов.
12. Оптические и электронные свойства наноструктур.
13. Магнитные свойства наноструктур.
14. Перспективы развития методов исследования функциональных материалов.

Критерии оценивания промежуточной аттестации в форме зачета с оценкой и экзамена

Критерий	Баллы
Глубина раскрытия вопросов (логика, структура, содержание и степень усвоения теории вопроса).	0-10
Стиль изложения информации	0-10
Ответы на дополнительные вопросы	0-10
Итого	0-30

### Тестовые задания

1. Какие свойства материала являются механическими?
  - а) Прочность, ударная вязкость.
  - б) Обрабатываемость, штампуемость.
  - в) Блеск, температура затвердевания.
  - г) Хладноломкость, притираемость
  
2. К какому классу испытаний относятся статические?
  - а) Неразрушающие.
  - б) Предпусковые.
  - в) Эксплуатационные.
  - г) Разрушающие.
  
3. На каких образцах проводят испытания на длительную прочность под действием постоянной растягиваемой нагрузки при постоянной температуре с доведением образца до разрушения?
  - а) Цилиндрические образцы.
  - б) Цилиндрические или плоские образцы.
  - г) Плоские образцы.
  - д) Образцы с треугольным сечением в области исследования.

4. Какие способы измерения способности тела сопротивляться внедрению другого твердого тела (индентора) относятся к статическим?

- а) По Шору, Шварцу, Бауману.
- б) По Польди, Морину, Граве
- в) По Бринеллю, Викерсу, Роквеллу, Шору
- г) По Бринеллю, Викерсу, Роквеллу, Кнупу

5. Какой метод не относится к методам термического анализа?

- а) Дифференциально-термический анализ (ДТА): температура фазовых превращений.
- б) Рентгенофлуоресцентный.
- в) Дифференциально-сканирующая калориметрия (ДСК): теплота фазовых превращений.
- г) Термогравиметрический анализ (ТГА): масса образца.

6. При исследовании твердости по Бринеллю диаметр шарика  $D$  и соответствующее усилие  $F$  выбирают таким образом, чтобы диаметр отпечатка находился в пределах:

- а)  $0,1 \cdot D \leq d \leq 0,2 \cdot D$
- б)  $0,24 \cdot D \leq d \leq 0,60 \cdot D$
- в)  $0,29 \cdot D \leq d \leq 0,79 \cdot D$
- г) Соотношение диаметров шарика и отпечатка не важно.

7. По какому методу определяется твердость с учетом площади отпечатка, оставляемого четырехгранной алмазной пирамидкой, вдавливаемой в поверхность?

- а) Метод Бринелля.
- б) Метод Роквелла.
- в) Метод Виккерса.
- г) Метод Тейлора-Улитовского

8. Измерение твердости как метод металлографического исследования применяется при....

- а) Установлении глубины упрочненного или обезуглероженного слоя.
- б) Варианты 1 и 4
- в) Установлении размеров структурных составляющих.
- г) Оценки структурной неоднородности по толщине листового проката.

9. Механические свойства конструкционных материалов- это...

- а) коррозионная стойкость, окалиностойкость
- б) плотность, температура плавления и хладноломкость
- в) прочность, пластичность, ударная вязкость
- г) штампуемость, способность к загибу, свариваемость

10. Способы измерения твердости по Шору, Шварцу, Бауману, Польди, Морину, Граве являются

- а) статическими
- б) разрушающими
- в) нет правильного ответа
- г) динамическими

11. Раздел материаловедения, изучающий изменение свойств материалов под воздействием температуры- это...

- а) провоцирующий нагрев
- б) кипячение
- в) термический анализ
- г) все, выше перечисленное

12. Метод определения теплоты превращения и теплоемкости материалов по точным измерениям энергии, выделяемой (или поглощаемой) телом в ходе нагрева или охлаждения- это...

а) тепловой контроль

б) калориметрический анализ

в) EBSD-анализ

г) металлография

13. В определении изменений длины образцов при нагреве и охлаждении или при изотермической выдержке заключается...

а) dilatометрический анализ

б) термогравиметрический анализ

в) дифференциальная калориметрия

г) нейтронная спектроскопия

14. Какие меры предназначены для поверки твердомеров при измерении твердости сталей по методу Виккерса?

а) МТВ-1 по ГОСТ 9031-75.

б) Варианты 1 и 4.

в) MBK-8 по ГОСТ 9031-75.

г) МТВ-1 по ГОСТ 9031-75.

15. Что является графическим изображением зависимости нагрузки  $P$  на инденторе от глубины его внедрения  $h$  в исследуемый материал?

а) Диаграмма вдавливания.

б) Диаграмма пластической деформации.

в) Амплитудно-частотная характеристика.

г) Зависимость твердости от глубины внедрения индентора.

16. Что такое предел прочности?

а) Напряжение, при котором остаточная деформация в образце (остаточное удлинение) достигает 0,2%.

б) Напряжение разрушения образца при одноосном растяжении, определяемое как отношение нагрузки, при которой происходит разрушение к начальной площади поперечного сечения рабочей части образца.

в) Наибольшее значение максимального напряжения цикла, которое выдерживает металл без разрушения при повторении заданного числа циклов нагружения.

г) Нет правильного варианта ответа.

17. Относительное удлинение  $\delta$ , характеризует...

а) увеличение длины образца в результате деформации при растяжении.

б) уменьшение диаметра образца в результате деформации при сжатии.

в) уменьшение длины образца в результате деформации при сжатии.

г) уменьшение длины образца в результате деформации при растяжении.

18. При измерении твердости по Бринеллю применяются шарики (стальные или из твердого сплава) диаметром...

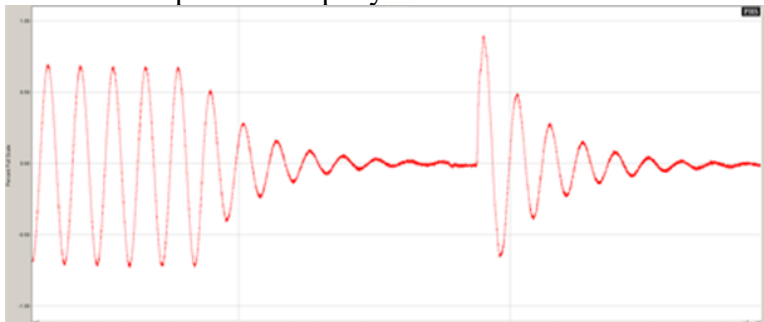
а) 5,0; 10,0 мм

б) 25,0; 15,0 мм

в) 3,0; 18,0 мм

г) 1,0; 2,0; 2,5; 5,0; 10,0 мм

19. Что изображено на рисунке?



- а) Характер незатухающих колебаний.
- б) Явление резонанса.
- в) Характер затухающих колебаний при возбуждении синусоидальным сигналом и ударом.
- г) Характер незатухающих колебаний при возбуждении синусоидальным сигналом и ударом.

20. Испытание на ударный изгиб по Шарпи это...

- а) испытание на действие циклической нагрузки объекта для определения характеристик сопротивления усталости.
- б) испытание, при которых призматический образец, лежащий на двух опорах, подвергается удару маятникового копра, причем линия удара находится посередине между опорами и непосредственно напротив надреза у образцов с надрезом.
- в) испытание цилиндрических или плоских образцов под действием постоянной растягиваемой нагрузки при постоянной температуре с доведением образца до разрушения.
- г) измерение способности тела сопротивляться внедрению другого твердого тела (индентора).