

**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.	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методы исследования конструкционных и композитных материалов.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять эти методы для получения необходимых характеристик материалов;</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками анализа полученных результатов, формализации и решения задач исследования материалов.</li> </ul>
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.	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физическую сущность явлений, протекающих в твердых телах, при различных внешних воздействиях.</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– выполнять количественные оценки величины эффектов и характеристических параметров с учётом особенностей кристаллической структуры конструкционных и функциональных материалов, типа и концентрации примесей.</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- стандартной терминологией, определениями и обозначениями.</li> </ul>
	ПК-1.2 Проводит математическое моделирование и оптимизацию параметров объектов и процессов с использованием стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств.	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методы математического моделирования процессов в твердых телах;</li> </ul> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вносить необходимые изменения в модель для оптимизации параметров вещества и процессов;</li> </ul> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками использования стандартных и специально разработанных средств для моделирования процессов.</li> </ul>

### 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 нейтронография	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:
  - о Физика рентгеновских лучей
  - о Уравнение Вульфа-Брэггов и закон Лауэ
  - о Основы электронографии и нейтронографии
4. Экспериментальная часть:
  - о Методика проведения измерений
  - о Параметры исследования
  - о Характеристики образцов
5. Результаты и анализ:
  - о Дифракционные картины
  - о Результаты фазового анализа
  - о Определение параметров решетки
  - о Сравнительный анализ методов
6. Выводы:
  - о О возможностях рентгеноструктурного анализа
  - о О точности определения структурных параметров
  - о О преимуществах и недостатках различных дифракционных методов
  - о 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 микрорентгоспектральным анализом.

#### 2. Ход работы

##### Этап 1. Подготовка образцов

- Провести механическую обработку образцов.
- Нанести 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 свой

#### **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. Растворная 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-спектроскопии 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 измерение 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 твёрдость с учетом площади отпечатка, оставляемого четырёхгранной 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) дилатометрический 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) МТБ-1 по ГОСТ 9031-75.
- б) Варианты 1 и 4.
- в) МВК-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) Амплитудо-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.

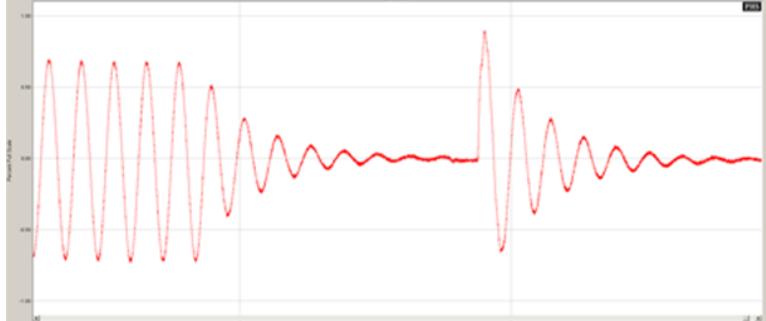
17. Относительное удлинение  $\delta$ , характеризует...

- 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 растягивающей нагрузки при постоянной температуре с доведением образца до разрушения.
- г) измерение способности тела сопротивляться внедрению другого твердого тела (индентора).