

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор по образовательной  
деятельности

\_\_\_\_\_ С.Т. Князев  
«\_\_» \_\_\_\_\_

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

| <b>Код модуля</b> | <b>Модуль</b>                      |
|-------------------|------------------------------------|
| 1159433           | Методы исследования наноматериалов |

**Екатеринбург**

| <b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>                            | <b>Учетные данные</b>                                     |
|--|---|
| <b>Образовательная программа</b><br>1. Нанотехнологии и микросистемная техника | <b>Код ОП</b><br>1. 28.03.01/33.01                        |
| <b>Направление подготовки</b><br>1. Нанотехнологии и микросистемная техника    | <b>Код направления и уровня подготовки</b><br>1. 28.03.01 |

Программа модуля составлена авторами:

| <b>№ п/п</b> | <b>Фамилия Имя Отчество</b>     | <b>Ученая степень, ученое звание</b>                    | <b>Должность</b> | <b>Подразделение</b>                                      |
|--------------|---------------------------------|---|------------------|---|
| 1            | Кузнецов Дмитрий Константинович | кандидат физико-математических наук, без ученого звания | Доцент           | физики конденсированного состояния и наноразмерных систем |
| 2            | Пряхина Виктория Игоревна       | кандидат физико-математических наук, без ученого звания | Доцент           | Департамент фундаментальной и прикладной физики           |

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Методы исследования наноматериалов

## 1.1. Аннотация содержания модуля

Модуль состоит из четырех дисциплин: «Введение в электронную микроскопию наноструктур», «Основы сканирующей зондовой микроскопии», «Рентгеновские и нейтронные методы исследования материалов», «Спектроскопические методы исследования веществ и минералов». Модуль дает комплексное представление о методах исследования нанообъектов и наноматериалов, основными практическими возможностями и ограничениями этих методов; формирует компетенции, направленные на самостоятельное проведение научно-исследовательской деятельности, работу на современном научном оборудовании, умения подбирать и анализировать профессиональную информацию, выбирать и обосновывать экспериментальные методы. Дисциплина «Введение в электронную микроскопию наноструктур» посвящена рассмотрению основных физических процессов и явлений, лежащих в основе электронной микроскопии, основных методов сканирующей электронной микроскопии, применяемых для исследования наноматериалов и нанообъектов, ознакомлению с современными достижениями и тенденциями развития сканирующей электронной микроскопии в мире. Дисциплина «Основы сканирующей зондовой микроскопии» посвящена теоретическому и практическому изучению современных методов исследования морфологии и локальных свойств наноструктурированных материалов и систем при помощи методов сканирующей зондовой микроскопии. Описывается устройство и общие принципы работы сканирующего зондового микроскопа, обсуждаются различные нанометрологические методики исследования, особенности взаимодействия различных типов зондовых датчиков с материалом в микро- и нанометровых масштабах. Занятия дополнены лабораторными работами с использованием учебных сканирующих зондовых микроскопов.

## 1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

| № п/п            | Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения | Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах |
|------------------|--|---|
| 1                | Введение в электронную микроскопию наноструктур            | 3   |
| 2                | Основы сканирующей зондовой микроскопии                    | 3   |
| 3                | Рентгеновские и нейтронные методы исследования материалов  | 3   |
| 4                | Спектроскопические методы исследования веществ и минералов | 3   |
| ИТОГО по модулю: |  | 12  |

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Пререквизиты модуля                | 1. Основы современной химии                           |
| Постреквизиты и кореквизиты модуля | 1. Теоретические основы профессиональной деятельности |

|  |                         |
|--|-------------------------|
|  | 2. Наноматериаловедение |
|--|-------------------------|

#### 1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

| Перечень дисциплин модуля                       | Код и наименование компетенции   | Планируемые результаты обучения (индикаторы)  |
|---|--|---|
| 1   | 2  | 3   |
| Введение в электронную микроскопию наноструктур | ОПК-3 - Способен проводить исследования и изыскания для решения прикладных инженерных задач относящихся к профессиональной деятельности, включая проведение измерений, планирование и постановку экспериментов, интерпретацию полученных результатов | <p>З-2 - Характеризовать возможности доступной исследовательской аппаратуры для реализации предложенных приемов и методов решения поставленных прикладных инженерных задач относящихся к профессиональной деятельности</p> <p>З-3 - Описать последовательность действий при обработке и интерпретации полученных результатов исследований и изысканий</p> <p>У-1 - Обосновать выбор приемов, методов и соответствующей аппаратуры для проведения исследований и изысканий, которые позволят решить поставленные прикладные задачи, относящиеся к профессиональной деятельности</p> <p>У-2 - Определять перечень необходимых ресурсов и временные затраты при составлении плана проведения исследований и изысканий</p> <p>У-3 - Анализировать и объяснить полученные результаты исследований и изысканий</p> <p>П-2 - Представить интерпретацию полученных результатов в форме научного доклада (сообщения)</p> <p>П-3 - Составить план проведения исследований и изысканий, включающий перечень необходимых ресурсов и временные затраты</p> |

|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | Д-1 - Проявлять заинтересованность в содержании и результатах исследовательской работы   |
|  | ОПК-6 - Способен выполнять настройку технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности по имеющейся технической документации | <p>З-1 - Перечислить основные параметры функционирования технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности в соответствии с имеющейся технической документацией</p> <p>З-2 - Объяснить принципы и основные правила и методы настройки технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности по имеющейся технической документации</p> <p>З-3 - Привести примеры использования цифровых технологий для настройки технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p> <p>У-2 - Определять основные параметры функционирования технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности для установления соответствия имеющейся технической документации</p> <p>У-3 - Оптимизировать с помощью цифровых технологий настройки технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности по имеющейся технической документации</p> <p>П-2 - Осуществлять контроль соответствия имеющейся технической документации и необходимую корректировку основных параметров функционирования технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p> |
|  | ОПК-7 - Способен эксплуатировать технологическое оборудование, выполнять технологические операции,   | <p>З-1 - Объяснить принцип действия основного технологического оборудования</p> <p>З-2 - Изложить научные основы технологических операций</p>  |

|  |   |   |
|--|---|---|
|  | <p>контролировать количественные и качественные показатели получаемой продукции, показатели энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта, осуществлять метрологическое обеспечение производственной деятельности</p> | <p>У-1 - Определять необходимое технологическое оборудование для выполнения технологических операций</p> <p>У-2 - Оценить соответствие выбранного технологического оборудования и технологических операций нормам и правилам безопасной эксплуатации, технологическим регламентам и инструкциям</p> <p>У-3 - Анализировать неполадки технологического оборудования, устанавливать их причины и определять способы их устранения</p> <p>У-4 - Оценивать с использованием количественных или качественных показателей соответствие характеристик получаемой продукции установленным техническим требованиям и фиксировать отклонения</p> <p>П-1 - Поддерживать в процессе производственной эксплуатации заданные режимы технологических операций и параметры работы необходимого оборудования, обеспечивающие производительность и качество получаемой продукции</p> <p>Д-1 - Умение концентрировать внимание на реализации порученного производственного процесса, умение брать на себя ответственность за результат</p> |
|  | <p>ПК-1 - Способен проводить экспериментальные исследования по получению и измерению характеристик материалов и компонентов нано- и микросистемной техники</p>  | <p>З-1 - Изложить основные принципы организации, планирования и проведения научного исследования</p> <p>З-2 - Сделать обзор научно-технической информации по поставленной профессиональной задаче для оптимального планирования экспериментального исследования</p> <p>У-2 - Систематизировать полученные экспериментальные результаты</p>  |
|  | <p>ПК-2 - Способен проводить анализ результатов измерений параметров наноматериалов и</p>   | <p>З-1 - Определить методы обработки и анализа результатов измерений</p>  |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | наноструктур и готовить научно-технические отчеты   | <p>У-1 - Обрабатывать результаты измерений, в том числе с использованием современных программных пакетов</p> <p>У-2 - Правильно интерпретировать результаты проведенных измерений</p> <p>У-3 - Соотносить результаты измерений с современным мировым состоянием дел в области нанотехнологий на основе актуальных литературных данных</p> <p>П-1 - Сделать вывод о параметрах наноматериалов и наноструктур на основе анализа результатов измерений</p>   |
|   | ПК-3 - Способен сопровождать технологические процессы и эксплуатацию измерительных систем в области нанотехнологии и микросистемной техники | <p>З-1 - Сформулировать требования по правильной и безопасной эксплуатации измерительных систем</p> <p>У-1 - Определять оптимальные условия эксплуатации измерительных систем</p> <p>У-2 - Установить ошибки технологического процесса при получении неудовлетворительного результата исследования</p> <p>П-2 - Предлагать способы оптимизации технологического процесса и устранения ошибок в работе измерительных систем</p>  |
|   | ПК-5 - Способен выбирать адекватные задачам экспериментальные методы для исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур   | <p>З-1 - Сделать обзор экспериментальных методов исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p> <p>У-1 - Обосновать выбор экспериментальных методов исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p> <p>У-2 - Различать особенности экспериментальных исследовательских методов в области нанотехнологий</p> <p>П-1 - Предлагать методы исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p> <p>Д-1 - Проявлять готовность к освоению новых исследовательских методов</p> |
| Основы сканирующей зондовой микроскопии | ОПК-3 - Способен проводить исследования и изыскания для решения прикладных инженерных задач   | З-1 - Изложить основные приемы и методы проведения исследований и изысканий, которые могут быть использованы для решения поставленных прикладных задач,   |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | <p>относящихся к профессиональной деятельности, включая проведение измерений, планирование и постановку экспериментов, интерпретацию полученных результатов</p>                   | <p>относящихся к профессиональной деятельности</p> <p>З-3 - Описать последовательность действий при обработке и интерпретации полученных результатов исследований и изысканий</p> <p>У-1 - Обосновать выбор приемов, методов и соответствующей аппаратуры для проведения исследований и изысканий, которые позволят решить поставленные прикладные задачи, относящиеся к профессиональной деятельности</p> <p>У-3 - Анализировать и объяснить полученные результаты исследований и изысканий</p> <p>П-1 - Подготовить и провести экспериментальные измерения, исследования и изыскания для решения поставленных прикладных задач, относящихся к профессиональной деятельности</p> <p>П-2 - Представить интерпретацию полученных результатов в форме научного доклада (сообщения)</p> <p>Д-1 - Проявлять заинтересованность в содержании и результатах исследовательской работы</p> |
|  | <p>ОПК-6 - Способен выполнять настройку технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности по имеющейся технической документации</p> | <p>З-1 - Перечислить основные параметры функционирования технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности в соответствии с имеющейся технической документацией</p> <p>З-2 - Объяснить принципы и основные правила и методы настройки технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности по имеющейся технической документации</p> <p>З-3 - Привести примеры использования цифровых технологий для настройки технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p>  |



|  |  |  |
|--|--|--|
|  |  | <p>У-1 - Регулировать основные параметры функционирования технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности в соответствии с имеющейся технической документацией</p> <p>У-2 - Определять основные параметры функционирования технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности для установления соответствия имеющейся технической документации</p> <p>П-1 - Проводить организацию настройки и настройку технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности по имеющейся технической документации</p> <p>П-2 - Осуществлять контроль соответствия имеющейся технической документации и необходимую корректировку основных параметров функционирования технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p> <p>Д-1 - Внимательно и ответственно относиться к выполнению требований технической документации</p> |
|  | <p>ОПК-7 - Способен эксплуатировать технологическое оборудование, выполнять технологические операции, контролировать количественные и качественные показатели получаемой продукции, показатели энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта, осуществлять метрологическое обеспечение производственной деятельности</p> | <p>З-1 - Объяснить принцип действия основного технологического оборудования</p> <p>З-2 - Изложить научные основы технологических операций</p> <p>З-3 - Характеризовать способы метрологического обеспечения производственной деятельности, контроля количественных и качественных показателей получаемой продукции</p> <p>У-1 - Определять необходимое технологическое оборудование для выполнения технологических операций</p> <p>У-2 - Оценить соответствие выбранного технологического оборудования и технологических операций нормам и правилам безопасной эксплуатации,</p>   |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | <p>технологическим регламентам и инструкциям</p> <p>У-3 - Анализировать неполадки технологического оборудования, устанавливать их причины и определять способы их устранения</p> <p>У-6 - Определять оптимальные способы метрологического сопровождения технологических процессов</p> <p>П-3 - Провести диагностику неполадок и определить способы ремонта технологического оборудования</p> <p>Д-1 - Умение концентрировать внимание на реализации порученного производственного процесса, умение брать на себя ответственность за результат</p>     |
|  | <p>ПК-1 - Способен проводить экспериментальные исследования по получению и измерению характеристик материалов и компонентов нано- и микросистемной техники</p> | <p>З-2 - Сделать обзор научно-технической информации по поставленной профессиональной задаче для оптимального планирования экспериментального исследования</p> <p>У-1 - Определить план исследования, с учетом степени значимости и взаимозависимости ожидаемых результатов измерений</p> <p>У-2 - Систематизировать полученные экспериментальные результаты</p> <p>П-1 - Выполнять в соответствии с планом экспериментальные научные исследования по получению и измерению характеристик материалов и компонентов нано- и микросистемной техники</p> |
|  | <p>ПК-2 - Способен проводить анализ результатов измерений параметров наноматериалов и наноструктур и готовить научно-технические отчеты</p>                    | <p>З-1 - Определить методы обработки и анализа результатов измерений</p> <p>З-2 - Сформулировать нормативные требования к научно-техническим отчетам</p> <p>У-1 - Обрабатывать результаты измерений, в том числе с использованием современных программных пакетов</p> <p>У-2 - Правильно интерпретировать результаты проведенных измерений</p> <p>У-3 - Соотносить результаты измерений с современным мировым состоянием дел в</p>  |

|   |   |
|---|---|
|   | <p>области нанотехнологий на основе актуальных литературных данных</p> <p>П-1 - Сделать вывод о параметрах наноматериалов и наноструктур на основе анализа результатов измерений</p> <p>П-2 - Оформлять научно-технический отчет в соответствие с нормативными требованиями и с использованием современных информационных технологий</p>  |
| <p>ПК-3 - Способен сопровождать технологические процессы и эксплуатацию измерительных систем в области нанотехнологии и микросистемной техники</p>                        | <p>У-1 - Определять оптимальные условия эксплуатации измерительных систем</p> <p>У-2 - Установить ошибки технологического процесса при получении неудовлетворительного результата исследования</p> <p>П-1 - Иметь опыт эксплуатации высокотехнологичного экспериментального оборудования для решения задач в области нанотехнологии и микросистемной техники</p> <p>П-2 - Предлагать способы оптимизации технологического процесса и устранения ошибок в работе измерительных систем</p>        |
| <p>ПК-4 - Способен использовать методы математического моделирования и статистического анализа экспериментальных результатов в области нано- и микросистемной техники</p> | <p>З-1 - Перечислить методы моделирования и анализа экспериментальных результатов</p> <p>З-2 - Интерпретировать результаты моделирования объектов и процессов нанотехнологий и микросистемной техники</p> <p>У-1 - Выбирать оптимальные и актуальные модели и методы анализа с учетом поставленных профессиональных задач</p> <p>У-2 - Анализировать экспериментальные результаты с использованием математического аппарата и программных пакетов для компьютерного моделирования и анализа</p> |
| <p>ПК-5 - Способен выбирать адекватные задачам экспериментальные методы для исследования и модификации свойств</p>  | <p>З-1 - Сделать обзор экспериментальных методов исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p> <p>У-1 - Обосновать выбор экспериментальных методов исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p>  |

|   |   |  |
|---|---|--|
|   | наноматериалов и наноструктур   | <p>У-2 - Различать особенности экспериментальных исследовательских методов в области нанотехнологий</p> <p>П-1 - Предлагать методы исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p> <p>Д-1 - Проявлять готовность к освоению новых исследовательских методов</p>   |
| Рентгеновские и нейтронные методы исследования материалов | ОПК-7 - Способен эксплуатировать технологическое оборудование, выполнять технологические операции, контролировать количественные и качественные показатели получаемой продукции, показатели энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта, осуществлять метрологическое обеспечение производственной деятельности | <p>З-1 - Объяснить принцип действия основного технологического оборудования</p> <p>У-1 - Определять необходимое технологическое оборудование для выполнения технологических операций</p> <p>П-1 - Поддерживать в процессе производственной эксплуатации заданные режимы технологических операций и параметры работы необходимого оборудования, обеспечивающие производительность и качество получаемой продукции</p> |
|   | ПК-4 - Способен использовать методы математического моделирования и статистического анализа экспериментальных результатов в области нано- и микросистемной техники  | <p>З-1 - Перечислить методы моделирования и анализа экспериментальных результатов</p> <p>У-2 - Анализировать экспериментальные результаты с использованием математического аппарата и программных пакетов для компьютерного моделирования и анализа</p>  |
|   | ПК-5 - Способен выбирать адекватные задачам экспериментальные методы для исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур   | <p>У-1 - Обосновать выбор экспериментальных методов исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p> <p>П-1 - Предлагать методы исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур</p> <p>Д-1 - Проявлять готовность к освоению новых исследовательских методов</p>  |

|  |  |   |
|--|--|---|
| Спектроскопические методы исследования веществ и минералов | ОПК-4 - Способен разрабатывать элементы технических объектов, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических, социальных ограничений             | <p>З-1 - Описать области фундаментальных, инженерных и других наук, освоенных за время обучения, знания которых используются при разработке заданных элементов технических объектов, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических, социальных ограничений</p> <p>У-1 - Оценить взаимосвязь разрабатываемого элемента с техническим объектом, системой или технологическим процессом в целом</p> <p>П-1 - Выполнить разработку заданного элемента технических объектов, систем и технологических процессов с учетом экономических, экологических, социальных ограничений</p>                                 |
|  | ОПК-6 - Способен выполнять настройку технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности по имеющейся технической документации | <p>З-2 - Объяснить принципы и основные правила и методы настройки технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности по имеющейся технической документации</p> <p>У-2 - Определять основные параметры функционирования технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности для установления соответствия имеющейся технической документации</p> <p>П-1 - Проводить организацию настройки и настройку технологического оборудования, объектов и процессов в сфере своей профессиональной деятельности по имеющейся технической документации</p> |
|  | ПК-3 - Способен сопровождать технологические процессы и эксплуатацию измерительных систем в области нанотехнологии и микросистемной техники                                | <p>У-1 - Определять оптимальные условия эксплуатации измерительных систем</p> <p>П-2 - Предлагать способы оптимизации технологического процесса и устранения ошибок в работе измерительных систем</p>   |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | ПК-5 - Способен<br>выбирать адекватные<br>задачам<br>экспериментальные<br>методы для<br>исследования и<br>модификации свойств<br>наноматериалов и<br>наноструктур | З-1 - Сделать обзор экспериментальных<br>методов исследования и модификации<br>свойств наноматериалов и наноструктур<br><br>У-2 - Различать особенности<br>экспериментальных исследовательских<br>методов в области нанотехнологий<br><br>Д-1 - Проявлять готовность к освоению<br>новых исследовательских методов |
|--|---|--|

### **1.5. Форма обучения**

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Введение в электронную микроскопию**  
**наноструктур**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

| <b>№ п/п</b> | <b>Фамилия Имя Отчество</b>        | <b>Ученая степень,<br/>ученое звание</b>                          | <b>Должность</b> | <b>Подразделение</b>   |
|--------------|------------------------------------|---|------------------|--|
| 1            | Кузнецов Дмитрий<br>Константинович | кандидат физико-<br>математических<br>наук, без ученого<br>звания | Доцент           | физики<br>конденсированног<br>о состояния и<br>наноразмерных<br>систем |

**Рекомендовано учебно-методическим советом института** Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 17.03.2022 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Кузнецов Дмитрий Константинович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

| Код раздела, темы | Раздел, тема дисциплины*                   | Содержание  |
|-------------------|--|---|
| 1                 | Основные положения электронной микроскопии | <p>История развития микроскопии и приборов. Предмет электронной микроскопии, сравнение с другими методами микроскопии.</p> <p>Устройство электронного микроскопа: колонна, электронные пушки, электромагнитная оптика, вакуумные системы.</p> <p>Взаимодействие электронов с веществом. Рассеяние электронов. Диффузия электронов. Нагрев и разрушение образца. Обратнотраженные и вторичные электроны. Обратнотраженные электроны от тонких пленок и объемных образцов.</p> <p>Детекторы вторичных электронов и обратнотраженных электронов. Основные типы детекторов. Спектрометры и фильтры.</p> <p>Понятия разрешение, увеличение, глубины резкости в микроскопии. Контрасты в электронной микроскопии. Запись и обработка изображений.</p> <p>Подготовка образцов для электронной микроскопии. Металлы и керамика, частицы и волокна, влажные материалы и биологические образцы. Исследование непроводящих образцов.</p> |



|   |   |  |
|---|---|--|
| 2 | Аналитические методы исследования в электронной микроскопии             | <p>Рентгеновский микроанализ. Типы рентгеновского излучения. Спектрометры с дисперсией по энергиям и по длинам волн. Количественный микроанализ. Методы коррекции в рентгеновском микроанализе. Обработка данных при рентгеновском микроанализе.</p> <p>Дифракция обратно рассеянных электронов. Картина обратно рассеянных электронов. Кичуки линии. Пространственное разрешение метода дифракции обратно рассеянных электронов. Текстура и ориентация кристаллических образцов. Анализ дефектов, фаз и однородности вещества. Выделение зерен и их границ. Анализ микродеформаций и микронапряжений. Системы для анализа дифракционных картин обратно рассеянных электронов. Применение дифракции обратноотраженных электронов в материаловедении.</p> <p>Подготовка образцов для исследований с помощью рентгеновского микроанализа и дифракции электронов.</p> |
| 3 | Просвечивающая электронная микроскопия                                  | <p>Основные составные части просвечивающего электронного микроскопа. Электронная пушка. Высоковольтный генератор и ускоритель. Линзовая система осветителя и дефлектор. Держатели образцов. Формирующая линзовая система. Камера наблюдения и камера фоторегистрации. Контрасты в просвечивающей электронной микроскопии. Спектроскопия характеристических потерь энергии электронов. Энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия. Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии.</p>   |
| 4 | Технология фокусированных ионных пучков и электронно-лучевая литография | <p>Взаимодействие ионов с веществом. Физические основы технологии фокусированных ионных пучков. Основные узлы и функциональные блоки микроскопа с ионным пучком. Наноструктурирование поверхности с помощью ионного пучка. Подготовка образцов для просвечивающей электронной микроскопии.</p> <p>Общие принципы электронно-лучевой литографии. Настройка электронно-лучевой системы. Электронные резисты и их характеристики. Основные этапы электронно-лучевой литографии. Использование электронно-лучевых сканирующих систем для изготовления наноструктур.</p>  |
| 5 | Специальные техники сканирующей электронной микроскопии                 | <p>Современные достижения электронной микроскопии. Модели электронных микроскопов. Аналитические приставки.</p> <p>Сканирующая электронная микроскопия переменного вакуума. Рассеяние первичного пучка электронов на молекулах газа. Генерация сигнала в газе. Наблюдение образцов в парах воды. Основные конструктивные особенности микроскопов с возможностью наблюдения в переменном вакууме. Режим естественной среды. Рентгеновский микроанализ в</p>   |

|  |  |   |
|--|--|---|
|  |  | <p>микроскопии переменного вакуума. In-situ исследования в микроскопии переменного вакуума.</p> <p>Низковольтная сканирующая электронная микроскопия<br/>Взаимодействие электронов низких энергий с веществом. Основные конструктивные особенности низковольтных электронных микроскопов. Получение изображений при низких вольтах. Рентгеновский микроанализ в низковольтной микроскопии.</p> <p>Криоэлектронная микроскопия. Основные конструктивные особенности криоэлектронного микроскопа. Получение изображений в криоэлектронной микроскопии. Подготовка образцов.</p> <p>Корреляционная микроскопия. Основные виды корреляционной микроскопии. In-situ исследования с помощью корреляционной микроскопии.</p> <p>Сканирующая Оже-электронная микроскопия. Генерация Оже электронов. Основные конструктивные особенности Оже микроскопа. Требования к вакуумной системе. Пространственное разрешение. Формирование изображения. Интерпретация изображения, полученного в Оже электронах. Количественный анализ в Оже микроскопии.</p> <p>Применение специальных техник сканирующей электронной микроскопии для исследования в материаловедении, нано- и биотехнологиях. Преимущества использования электронной микроскопии при исследовании биологических объектов. Подготовка биологических образцов. Химическая фиксация образцов. Обезвоживание образцов. Подготовка ультратонких срезов.</p> |
|--|--|---|

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

| Направление воспитательной деятельности | Вид воспитательной деятельности                    | Технология воспитательной деятельности  | Компетенция   | Результаты обучения   |
|---|--|---|---|---|
| Профессиональное воспитание             | учебно-исследовательская, научно-исследовательская | Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности | ПК-5 - Способен выбирать адекватные задачам экспериментальные методы для исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур | У-2 - Различать особенности экспериментальных исследовательских методов в области нанотехнологий<br>Д-1 - Проявлять готовность к освоению новых исследовательских |

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Введение в электронную микроскопию наноструктур

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Кларк, Э. Р., Баженов, С. Л.; Микроскопические методы исследования материалов : монография.; РИЦ Техносфера, Москва; 2007; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=115673> (Электронное издание)
2. Панова, Т. В.; Современные методы исследования вещества: электронная и оптическая микроскопия : учебное пособие.; Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, Омск; 2016; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=563044> (Электронное издание)
3. , Хайруллин, А. Р., Хайруллина, Н. С., Петров, В. А., Аверьянова, Н. В.; Микроструктурный анализ энергонасыщенных материалов методами оптической и электронной микроскопии : методическое пособие.; Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань; 2018; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=612353> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Кларк, Э. Р., Эшли Р., Баженов, С. Л.; Микроскопические методы исследования материалов; Техносфера, Москва; 2007 (2 экз.)
2. Шиммель, Г.; Методика электронной микроскопии; Мир, Москва; 1972 (4 экз.)
3. , Криштал, М. М., Ясников, И. С., Полунин, В. И., Филатов, А. М., Ульяненко, А. Г.; Сканирующая электронная микроскопия и рентгеноспектральный микроанализ в примерах практического применения : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям "Металлургия" и "Физ. материаловедение".; Техносфера, Москва; 2009 (5 экз.)
4. Энгель, Л., Бернштейн, М. Л., Клингеле, Г.; Растровая электронная микроскопия. Разрушение : Справочник.; Metallurgia, Москва; 1986 (5 экз.)
5. Утевский, Л. М.; Дифракционная электронная микроскопия в металловедении; Metallurgia, Москва; 1973 (5 экз.)
6. ; Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия : учеб. для вузов по специальности "Физика металлов" и "Металловедение, оборудование и технология терм. обраб. металлов".; Metallurgia, Москва; 1982 (92 экз.)

#### Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

Электронная библиотека УрФУ [<https://opac.urfu.ru>]

Реферативно-поисковая база данных Scopus [<http://www.scopus.com>]

Реферативно-поисковая база данных Web of Science [<https://www.webofscience.com/>]

Научная электронная библиотека издательства Springer [<https://link.springer.com>]

Научная электронная библиотека eLibrary [<https://elibrary.ru>]

## Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

Поисковая система Академия Google [<https://scholar.google.com>]

Научная электронная библиотека КиберЛенинка [<https://cyberleninka.ru>]

## 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Введение в электронную микроскопию наноструктур

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

| № п/п | Виды занятий         | Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы  | Перечень лицензионного программного обеспечения  |
|-------|----------------------|--|--|
| 1     | Лекции               | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов<br>Рабочее место преподавателя<br>Доска аудиторная<br>Периферийное устройство<br>Подключение к сети Интернет | Office Professional 2003 Win32<br>Russian CD-ROM |
| 2     | Практические занятия | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов<br>Рабочее место преподавателя<br>Доска аудиторная<br>Подключение к сети Интернет                            | Office Professional 2003 Win32<br>Russian CD-ROM |
| 3     | Консультации         | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов<br>Рабочее место преподавателя   | Office Professional 2003 Win32<br>Russian CD-ROM |

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
|   |   | <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>   |   |
| 4 | Текущий контроль и промежуточная аттестация | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM |
| 5 | Самостоятельная работа студентов            | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>   | Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM |

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Основы сканирующей зондовой**  
**микроскопии**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

| <b>№ п/п</b> | <b>Фамилия Имя Отчество</b> | <b>Ученая степень,<br/>ученое звание</b> | <b>Должность</b> | <b>Подразделение</b>   |
|--------------|-----------------------------|--|------------------|--|
| 1            | Аликин Денис Олегович       | кандидат физико-математических наук      | Доцент           | физики<br>конденсированног<br>о состояния и<br>наноразмерных<br>систем |

**Рекомендовано учебно-методическим советом института** Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 17.03.2022 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- **Аликин Денис Олегович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем**

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

| Код раздела, темы | Раздел, тема дисциплины*  | Содержание   |
|-------------------|---|--|
| 1                 | Введение в сканирующую зондовую (СЗМ) и атомно-силовую микроскопию (АСМ). Базовые принципы работы и реализации сканирующих зондовых микроскопов | <p>Краткий обзор содержания курса. Введение и терминология. Типы зондов и взаимодействий. История развития СЗМ. Основные принципы работы АСМ. Потенциал взаимодействия зонда с образцом, зависимость силы взаимодействия от расстояния между зондом и образцом. Основные типы кантилеверов – зондовых датчиков, используемых в АСМ. Технология изготовления кантилеверов. Типовые системы регистрации АСМ. Устройство оптического рычага. Построение изображений в АСМ. Принцип работы обратной связи. Режимы постоянной высоты и постоянной силы.</p> <p>Типы сканеров, применяемых в СЗМ, основные свойства пьезокерамических материалов, лежащие в основе их изготовления. Устройство триподных, трубчатых, биморфных и гибридных сканеров. Устройства для грубого подвода и перемещения зонда относительно исследуемой поверхности: редукторы перемещений, шаговые электро- и пьезо-двигатели.</p> <p>Типовая конструкция АСМ. Защита СЗМ от механических вибраций. Пассивные и активные виброизолирующие системы. Защита от акустических шумов.</p> |
| 2                 | Основы цифровой обработки сигналов и её применения к получению и анализу данных   | Основные понятия цифровой обработки сигналов. Временное и частотное представление сигналов. Типы электрических шумов и методы фильтрации. Свёртка и Фурье-преобразование.  |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | сканирующей зондовой микроскопии  | Модуляционные техники. Селективный усилитель. Методы амплитудной и частотной модуляции. Пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор (PID контроллер). Регулятор с фазовой автоподстройкой частоты (PLL контроллер). Многочастотные методы исследования.  |
| 3 | Полуконтактная методика атомно-силовой микроскопии                        | <p>Принцип реализации колебательных методик АСМ. Полу-контактная АСМ и организация обратной связи в полуконтактной АСМ. Эффективная масса и собственная частота механических колебаний кантилевера.</p> <p>Теория колебаний кантилевера: свободные и вынужденные, линейные и нелинейные колебания кантилевера, моды колебаний. Зависимость амплитуды и фазы вынужденных колебаний кантилевера от расстояния между зондом и образцом. Сравнение контактной и полуконтактной методики АСМ. Бесконтактный режим колебаний кантилевера.</p> <p>Метод отображения фазы. Стратегия выбора оптимальных параметров колебаний кантилевера и режима сканирования при исследовании различного типа объектов.</p>   |
| 4 | Исследование локальных механических свойств материалов при помощи АСМ     | <p>Особенности силового взаимодействия кантилеверов с поверхностью: упругие взаимодействия, капиллярные силы, сила Ван-дер-Ваальса, адгезионные силы. Закон Гука и отклонения кантилевера под действием нормальной и поперечной сил. Физический смысл сигналов АСМ. Силовые кривые: методы измерения и физическая интерпретация. Калибровка кантилевера. Модели контактного взаимодействия. Наноидентирование. Алгоритм определения модулей Юнга из данных силовых кривых. Прыжковая АСМ.</p> <p>Модуляционные методики на базе контактной АСМ: микроскопия модуляции силы, атомно-силовая акустическая микроскопия, вязко-эластическая полуконтактная АСМ.</p> <p>Микроскопия сил трения: регистрация латеральных сил взаимодействия зонда и образца, вклады топографии и неоднородности коэффициента трения. Количественная интерпретация результатов микроскопии сил трения.</p> |
| 5 | Электростатическая силовая микроскопия (ЭСМ) и микроскопия зонда Кельвина | <p>Исследование электрических свойств материалов с помощью СЗМ. Зондовые датчики для электрических методик измерения. Электрическое взаимодействие между кантилевером и образцом. Особенности вынужденных колебаний кантилевера при электростатическом взаимодействии зонда с поверхностью при приложении постоянного и переменного электрического напряжения между зондом и образцом. Электростатическая силовая микроскопия. Распределение электрического от зонда АСМ и вклады в сигнал от различных частей кантилевера. Роль расстояния в ЭСМ. Реализация двухпроходных методик. Электрическая силовая микроскопия. Микроскопия зонда Кельвина (МЗК). Связь поверхностного потенциала и работы выхода электронов. Особенности реализации МЗК при амплитудной и</p>  |



|   |  |   |
|---|--|---|
|   |  | частотной модуляции сигнала. Сканирующая емкостная микроскопия.   |
| 6 | Локальные измерения тока. Микроскопия сопротивления растекания и сканирующая туннельная микроскопия  | Сканирующая микроскопия сопротивления растекания и микроскопия проводимости. Физическая реализация. Роль контактных явлений в микроскопии сопротивления растекания. Измерения и анализ локальных вольтамперных характеристик. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ). Туннельный ток в системах металл-диэлектрик-металл и металл-диэлектрик-полупроводник. Устройство и принцип работы СТМ: туннельный сенсор, требования и методы изготовления туннельных зондов, режимы постоянного тока и постоянной высоты. Ограничения СТМ. Реализация атомарного разрешения в сканирующем туннельном микроскопе. Измерение характеристики ток-расстояние и локальной работы выхода. СТМ спектроскопия: измерение вольтамперных характеристик туннельного контакта и распределения плотности электронных состояний.   |
| 7 | Исследование сегнетоэлектриков и ферромагнетиков. Силовая микроскопия пьезоэлектрического отклика (СМПО) и магнито-силовая микроскопия (МСМ) | Сегнетоэлектрики и пьезоэлектрики. Пьезоэлектрический тензор. СМПО для анализа доменной структуры, локального электромеханического отклика и локального переключения поляризации. Количественная интерпретация данных СМПО.<br><br>Ферромагнетики и суперпарамагнетики. Исследование магнитных свойств материалов методом МСМ. Основные артефакты МСМ. Возможные варианты реализации двухпроходных магнитных методик. Квазистатические методики и колебательные методики МСМ. Количественная интерпретация данных МСМ. Магниторезонансная микроскопия.  |
| 8 | Основные артефакты изображений СЗМ. Основы обработки СЗМ изображений   | Параметры, влияющие на качество и пространственное разрешение изображений, получаемых с помощью СЗМ. Источники искажений и артефактов в СЗМ измерениях.<br><br>Искажения, обусловленные несовершенством сканирующих элементов СЗМ. Программные и аппаратные методы компенсации недостатков сканирующих элементов, устройство сканеров с линеаризующими элементами.<br><br>Влияние формы зондов на качество СЗМ изображений, эффект конволюции. Методы диагностики наличия искажений, обусловленных несовершенной формой зонда, методы определения формы зонда и деконволюции результатов измерений. Другие распространённые артефакты измерений СЗМ.<br><br>Основные типы данных, получаемых при СЗМ измерениях: спектроскопические кривые, изображения, многослойные изображения, параметрические изображения. Варианты визуализации СЗМ изображений: двухмерное и трехмерное представление, проведение сечений. Методы коррекции изображений на примере обработки результатов измерения топографии поверхности. Вычитание систематических составляющих: постоянная компонента (общее смещение), постоянный наклон, поверхности высших порядков, |

|    |  |  |
|----|--|--|
|    |  | <p>соответствующие неидеальной траектории движения сканера. Методы фильтрации СЗМ изображений.</p> <p>Количественный анализ СЗМ изображений. Использование преобразования Фурье и функции автокорреляции для определения геометрических характеристик периодических и квазирегулярных структур. Проведение статистического анализа СЗМ изображений: определение шероховатости, статистика зерен, фрактальный анализ.</p>   |
| 9  | Сканирующая зондовая нанолитография и методы модификации материалов в сканирующей зондовой микроскопии | <p>Физические основы зондовой литографии в различных режимах СЗМ: СТМ литография, АСМ силовая литография, анодно-окислительная литография, локальное переключение поляризации в сегнетоэлектриках, литография с помощью зонда сканирующего ближнепольного оптического микроскопа, наноманипуляции отдельными атомами и молекулами. Примеры нанолитографии в различных средах с использованием СЗМ.</p>   |
| 10 | Ближнепольная оптическая микроскопия   | <p>Преимущества методов оптической микроскопии при исследовании материалов. Дифракционный предел пространственного разрешения классической оптической микроскопии. Идея конфокальной оптической микроскопии, повышение пространственного разрешения. Устройство и принцип работы сканирующего лазерного конфокального микроскопа, трехмерное сканирование, горизонтальное и вертикальное разрешение методики в сравнении с классической оптической микроскопией. Сканирующая лазерная конфокальная микроскопия комбинационного рассеяния: физические основы, техническая реализация и аналитические возможности.</p> <p>Области ближнего и дальнего поля при прохождении света через субволновую диафрагму, преодоление оптического дифракционного предела, идея сканирующего ближнепольного оптического микроскопа. Устройство, принцип действия, типы используемых зондов и основные режимы работы сканирующего ближнепольного оптического микроскопа. Методика регистрации резонанса поперечных сил для контроля расстояния между зондом и поверхностью, реализация системы обратной связи и регистрации топографии поверхности. Безапертурная сканирующая ближнепольная оптическая микроскопия. Эффект гигантского усиления сигнала комбинационного рассеяния вблизи острия проводящего зонда.</p> |

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

| Направление воспитательной | Вид воспитательной | Технология воспитательной деятельности | Компетенция | Результаты обучения |
|----------------------------|--------------------|--|-------------|---------------------|
|----------------------------|--------------------|--|-------------|---------------------|

| деятельности                | деятельности                                       |   |   |  |
|-----------------------------|--|---|---|--|
| Профессиональное воспитание | учебно-исследовательская, научно-исследовательская | Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности | ПК-3 - Способен сопровождать технологические процессы и эксплуатацию измерительных систем в области нанотехнологии и микросистемной техники | У-1 - Определять оптимальные условия эксплуатации измерительных систем |

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Основы сканирующей зондовой микроскопии

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Неволин, В. К.; Зондовые нанотехнологии в электронике : монография.; Техносфера, Москва; 2014; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260697> (Электронное издание)
2. Неволин, В. К.; Зондовые нанотехнологии в электронике; Техносфера, Москва; 2014; <http://www.iprbookshop.ru/26894.html> (Электронное издание)
3. Кларк, Э. Р., Баженов, С. Л.; Микроскопические методы исследования материалов : монография.; РИЦ Техносфера, Москва; 2007; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=115673> (Электронное издание)
4. Филимонова, Н. И.; Методы исследования микроэлектронных и наноэлектронных материалов и структур: сканирующая зондовая микроскопия : учебное пособие. I. ; Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск; 2013; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=228943> (Электронное издание)
5. Вознесенский, Э. Ф.; Методы структурных исследований материалов. Методы микроскопии : учебное пособие.; Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань; 2014; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428294> (Электронное издание)
6. ; Магнетизм на острие иглы. Основы атомно-силовой и магнитно-силовой микроскопии: научное электронное издание : монография.; Тамбовский государственный технический университет (ТГТУ), Тамбов; 2018; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=570352> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Неволин, В. К.; Зондовые нанотехнологии в электронике; Техносфера, Москва; 2005 (5 экз.)
2. Миронов, В. Л.; Основы сканирующей зондовой микроскопии : учебное пособие для вузов.; Техносфера, Москва; 2005 (2 экз.)
3. Рыков, С. А., Ильин, В. И., Шик, А. Я.; Сканирующая зондовая микроскопия полупроводниковых материалов и наноструктур : учебное пособие для вузов.; Наука, Санкт-Петербург; 2001 (12 экз.)
4. ; Сканирующая зондовая микроскопия биополимеров; Научный мир, Москва; 1997 (1 экз.)

#### Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

Электронная библиотека УрФУ [<https://opac.urfu.ru>]

Реферативно-поисковая база данных Scopus [<http://www.scopus.com>]

Реферативно-поисковая база данных Web of Science [<https://www.webofscience.com/>]

Научная электронная библиотека издательства Springer [<https://link.springer.com>]

Научная электронная библиотека eLibrary [<https://elibrary.ru>]

Статьи в периодических изданиях:

Domke J., Radmacher M. Measuring the elastic properties of thin polymer films with the atomic force microscope // *Langmuir*. – 1998. – Vol. 14, № 12. – P. 3320–3325. [<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/la9713006>]

Touhami A., Nysten B., Dufrêne Y.F. Nanoscale mapping of the elasticity of microbial cells by atomic force microscopy // *Langmuir*. – 2003. – Vol. 19, № 11. – P. 4539–4543. [<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/la034136x>]

Offroy M. et al. Fast automated processing of AFM PeakForce curves to evaluate spatially resolved Young modulus and stiffness of turgescient cells // *RSC Adv.* – 2020. – Vol. 10, № 33. – P. 19258–19275. [<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2020/ra/d0ra00669f>]

Soergel E. Piezoresponse force microscopy (PFM) // *J. Phys. D. Appl. Phys.* – 2011. – Vol. 44, № 46. – P. 464003. [<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/44/46/464003>]

Melitz W. et al. Kelvin probe force microscopy and its application // *Surf. Sci. Rep.* – 2011. – Vol. 66, № 1. – P. 1–27. [<https://doi.org/10.1016/j.surfrep.2010.10.001>]

Collins L. et al. Towards nanoscale electrical measurements in liquid by advanced KPFM techniques: a review // *Reports Prog. Phys.* – 2018. – Vol. 81, № 8. – P. 086101. [<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6633/aab560>]

Сайт компании «NT-MDT Spectral Instruments» [<https://www.ntmdt-si.ru/resources>]

Сайт компании «Asylum research» [<https://afm.oxinst.com>]

Сайт компании «Zurich Instruments» [<https://www.zhinst.com/europe/en/resources/principles-of-lock-in-detection>]

Сайт компании «Bruker» [<https://www.bruker.com/en/products-and-solutions/microscopes/materials-afm/afm-modes.html>]

Интернет-канал Atomic Force Microscopy [<https://www.youtube.com/user/AtomicForceMicro>]

Интернет-канал Park Systems [<https://www.youtube.com/c/parknano/playlists>]

Интернет-канал M\*N: Microscopy, Machine Learning, Materials [<https://www.youtube.com/channel/UCyh-7XIL-BuymJD7vdoNOvw>]

**Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

Поисковая система Академия Google [<https://scholar.google.com>]

Научная электронная библиотека КиберЛенинка [<https://cyberleninka.ru>]

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Основы сканирующей зондовой микроскопии**

#### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

| <b>№ п/п</b> | <b>Виды занятий</b>  | <b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>   | <b>Перечень лицензионного программного обеспечения</b>  |
|--------------|----------------------|--|---|
| 1            | Лекции               | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов<br><br>Рабочее место преподавателя<br><br>Доска аудиторная<br><br>Периферийное устройство<br><br>Подключение к сети Интернет   | Office Professional 2003 Win32<br>Russian CD-ROM  |
| 2            | Лабораторные занятия | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов<br><br>Рабочее место преподавателя<br><br>Персональные компьютеры по количеству обучающихся<br><br>Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами<br><br>Подключение к сети Интернет | Office Professional 2003 Win32<br>Russian CD-ROM<br><br>OriginPro<br><br>Gwyddion [ <a href="http://gwyddion.net">http://gwyddion.net</a> ] |

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| 3 | Консультации                                | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  |
| 4 | Текущий контроль и промежуточная аттестация | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  |
| 5 | Самостоятельная работа студентов            | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>   | Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM<br>OriginPro<br>Gwyddion [ <a href="http://gwyddion.net">http://gwyddion.net</a> ] |

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Рентгеновские и нейтронные методы**  
**исследования материалов**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

| <b>№ п/п</b> | <b>Фамилия Имя Отчество</b>       | <b>Ученая степень,<br/>ученое звание</b>                          | <b>Должность</b> | <b>Подразделение</b>   |
|--------------|-----------------------------------|---|------------------|--|
| 1            | Селезнева Надежда<br>Владимировна | кандидат физико-<br>математических<br>наук, без ученого<br>звания | Доцент           | физики<br>конденсированног<br>о состояния и<br>наноразмерных<br>систем |

**Рекомендовано учебно-методическим советом института** Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 17.03.2022 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Селезнева Надежда Владимировна, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

| Код раздела, темы | Раздел, тема дисциплины*  | Содержание  |
|-------------------|---|---|
| 1                 | Рассеяние рентгеновских лучей                                       | Элементарный акт рассеяния. Когерентное рассеяние на свободных электронах (классическая теория). Некогерентное рассеяние на свободных электронах (квантовая теория). Рассеяние на элементарной ячейке. Структурный фактор элементарной ячейки кристалла. Изменение фазы при рассеянии и его влияние на структурный множитель. Рассеяние на кристалле. Интерференционная функция Лауэ. Интегральная интенсивность.   |
| 2                 | Применение рентгеноструктурного анализа для исследования материалов | Определение плотности и молекулярного веса. Определение типа твердого раствора. Определение коэффициента термического расширения. Определение характеристической температуры Дебая. Фазовый анализ и изучение диаграмм состояний. Исследование границ растворимости. Фазовый анализ (качественный и количественный фазовый анализ).<br>Рентгенографическое определение внутренних напряжений в материалах (исследование макро- и микронапряжений).<br>Рентгенографическое определение величины кристаллитов.<br>Определение преимущественной ориентации зерен (текстура). |
| 3                 | Синхротронное излучение   | Физические принципы генерации синхротронного излучения. Динамика электрона в накопительном кольце. Радиационные потери. Количественные характеристики излучения поворотного магнита. Общая схема и ключевые параметры   |



|   |   |  |
|---|---|--|
|   |   | синхротронного источника. Применения синхротронного излучения.   |
| 4 | Нейтроннографические методы исследования материалов | Свойства нейтронов и их взаимодействие с веществом. Дифракция нейтронов на кристалле. Экспериментальная техника (нейтронные дифрактометры). Магнитная нейтроннография. |
| 5 | Метод полнопрофильного анализа (метод Ритвельда)    | Математическое описание метода и его реализация в программе FullProf   |

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

| Направление воспитательной деятельности | Вид воспитательной деятельности                    | Технология воспитательной деятельности  | Компетенция   | Результаты обучения   |
|---|--|---|---|---|
| Профессиональное воспитание             | учебно-исследовательская, научно-исследовательская | Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности | ПК-5 - Способен выбирать адекватные задачам экспериментальные методы для исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур | П-1 - Предлагать методы исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур<br>Д-1 - Проявлять готовность к освоению новых исследовательских методов |

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Рентгеновские и нейтронные методы исследования материалов

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Никитенко, Ю. В.; Рефлектометрия поляризованных нейтронов : монография.; Физматлит, Москва; 2013; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=275556> (Электронное издание)
2. Фетисов, Г. В., Асланов, Л. А.; Синхротронное излучение: методы исследования структуры веществ : учебное пособие.; Физматлит, Москва; 2007; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=76647> (Электронное издание)
3. Белов, Н. П.; Основы кристаллографии и кристаллофизики. Часть I. Введение в теорию симметрии кристаллов : учебное пособие.; Университет ИТМО, Санкт-Петербург; 2009; <http://www.iprbookshop.ru/67480.html> (Электронное издание)
4. Анищик, В. М.; Дифракционный анализ : учебное пособие.; Вышэйшая школа, Минск; 2011; <http://www.iprbookshop.ru/20072.html> (Электронное издание)

## **Печатные издания**

1. Никитенко, Ю. В.; Рефлектометрия поляризованных нейтронов; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2013 (3 экз.)
2. Горелик, С. С., Расторгуев, Л. Н., Скаков, Ю. А.; Рентгенографический и электронно-оптический анализ : Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям 550500-Металлургия, 651300-Металлургия, 651800-Физ. материаловедение.; МИСИС, Москва; 2002 (38 экз.)

## **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

Горбунов, Владимир Анатольевич. Учебно-методический комплекс дисциплины "Рентгеновские методы исследования наноструктур" [Электронный ресурс]. Ч. 2 / В. А. Горбунов, Н. В. Селезнева, А. Л. Надольский ; Федер. агентство по образованию, Урал. гос. ун-т им. А. М. Горького, ИОНЦ "Нанотехнологии и перспективные материалы" [и др.]. — Электрон. дан. (1,17 Мб). — Екатеринбург : [б. и.], 2008. [<http://hdl.handle.net/10995/1547>]

Электронная библиотека УрФУ [<https://opac.urfu.ru>]

Электронный научный архив УрФУ [<https://elar.urfu.ru>]

Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ [<https://study.urfu.ru>]

Зональная научная библиотека УрФУ [<https://lib.urfu.ru>]

Реферативно-поисковая база данных Scopus [<http://www.scopus.com>]

Реферативно-поисковая база данных Web of Science [<https://www.webofscience.com/>]

Научная электронная библиотека издательства Springer [<https://link.springer.com>]

Научная электронная библиотека eLibrary [<https://elibrary.ru>]

Базы стандартных рентгенографических данных открытого доступа:

COD: Open-access database [<http://www.crystallography.net/cod/>]

BCS: Bilbao Crystallographic Server of crystallographic symmetry information [<http://www.cryst.ehu.es/#retrievaltop>]

AMCSD: American Mineralogist Crystal Structure Database [<http://rruff.info/AMS/amcsd.php>]

International Union of Crystallography [<https://www.iucr.org>]

## **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

## **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

Поисковая система Академия Google [<https://scholar.google.com>]

Научная электронная библиотека КиберЛенинка [<https://cyberleninka.ru>]

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Рентгеновские и нейтронные методы исследования материалов

#### Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

| № п/п | Виды занятий                                | Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы   | Перечень лицензионного программного обеспечения  |
|-------|---|---|--|
| 1     | Лекции                                      | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов<br>Рабочее место преподавателя<br>Доска аудиторная<br>Подключение к сети Интернет | Office Professional 2003 Win32<br>Russian CD-ROM |
| 2     | Практические занятия                        | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов<br>Рабочее место преподавателя<br>Доска аудиторная<br>Подключение к сети Интернет | Office Professional 2003 Win32<br>Russian CD-ROM |
| 3     | Консультации                                | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов<br>Рабочее место преподавателя<br>Доска аудиторная<br>Подключение к сети Интернет | Office Professional 2003 Win32<br>Russian CD-ROM |
| 4     | Текущий контроль и промежуточная аттестация | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов<br>Рабочее место преподавателя<br>Доска аудиторная<br>Подключение к сети Интернет | Office Professional 2003 Win32<br>Russian CD-ROM |

|   |                                  |  |   |
|---|----------------------------------|--|---|
| 5 | Самостоятельная работа студентов | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов<br><br>Персональные компьютеры по количеству обучающихся | Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM |
|---|----------------------------------|--|---|

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Спектроскопические методы исследования**  
**веществ и минералов**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

| <b>№ п/п</b> | <b>Фамилия Имя Отчество</b>      | <b>Ученая степень,<br/>ученое звание</b> | <b>Должность</b> | <b>Подразделение</b>  |
|--------------|----------------------------------|--|------------------|---|
| 1            | Буянова Елена<br>Станиславовна   | кандидат<br>химических наук,<br>доцент   | Доцент           | аналитической<br>химии и химии<br>окружающей<br>среды                 |
| 2            | Замятин Дмитрий<br>Александрович | к.г.-м.н                                 | зав. лаб.        | Институт<br>Геологии и<br>геохимии им.<br>А.Н. Заварицкого<br>УрО РАН |

**Рекомендовано учебно-методическим советом института** Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 17.03.2022 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Буянова Елена Станиславовна, Доцент, аналитической химии и химии окружающей среды
- Замятин Дмитрий Александрович, зав. лаб., Институт Геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

| Код раздела, темы | Раздел, тема дисциплины*   | Содержание  |
|-------------------|--|---|
| 1                 | Введение в минералогию, материаловедение и кристаллографию. Общая характеристика и сущность спектроскопических методов анализа. Атомно-эмиссионный спектральный анализ | <p>История формирования и строение Земли. Предмет минералогии и геологии. Понятие и виды горных пород и минералов, характеристики минералов (морфология, кристаллическая структура, твердость), двойникование. Предмет кристаллографии и кристаллохимии, свойства кристаллов, семь сингоний, явления изоморфизма и полиморфизма, изображение структур и кристаллохимическая формула минералов. Химическая связь в кристаллах, классификация минералов. История становления материаловедения и ее связь с минералогией. Материалы в современном обществе и области их применение в современном обществе. Цикл создания и формы существования материалов, классификация по составу, структуре и ее уровню, свойствам, типам. Функциональные материалы: минералоподобные, наноразмерные, органические и композитные. Компьютерный дизайн новых материалов.</p> <p>Электромагнитное поле и излучение. Составляющие и характеристики электромагнитной волны, формула Планка, поляризация, интерференция, дисперсия и дифракция электромагнитных волн. Спектр электромагнитного излучения, диапазоны и источники излучения. Взаимодействие вещества с электромагнитным излучением (лучистой энергией). Виды и</p> |

|   |  |  |
|---|--|--|
|   |  | <p>параметры (характеристики) электромагнитного излучения. Классификация спектроскопических методов анализа. Абсорбционные и эмиссионные спектроскопические методы анализа. Методы молекулярной и атомной спектроскопии. Происхождение эмиссионных спектров. Источники возбуждения. Характер спектров. Длины волн спектральных линий и их интенсивность – основа, соответственно, качественного и количественного атомно-эмиссионного анализа. Аппаратура метода, основные узлы. Оптические характеристики спектральных приборов. Пламенные и непламенные атомизаторы. Источники монохроматического излучения. Детекторы в атомно- абсорбционном анализе. Приборы (одно- и двухлучевые).</p>   |
| 2 | Методы масс-спектрометрии  | <p>Методы масс-спектрометрии как основа установления состава вещества, его точной молекулярной массы, фрагментов строения, потенциалов ионизации и других физических и физико-химических характеристик вещества. Типы масс-спектрометров. Характер экспериментов. Расшифровка масс-спектров. Источники ионов. Масс-анализаторы. Способы регистрации масс-спектров (фотографический и электрический), расшифровка спектров. Возможности метода и его практическое применение (локальный и послойный элементный анализ проб, определение газовых примесей, микропримесей, изотопный анализ и т.п.).</p>  |
| 3 | Рентгеновские методы анализа: рентгеновские спектры, спектры поглощения, рентгенофлуоресценция, рентгеноэмиссионные спектры, рентгеноспектральный анализ | <p>Происхождение рентгеновских спектров. Первичное и вторичное (флуоресцентное) рентгеновское излучение. Устройство рентгеновской трубки. Рентгенофлуоресцентный анализ. Фотоэффект и вторичные спектры. Оже-эффект и флуоресценция - основные процессы распада возбужденных состояний атомов с вакансиями во внутренних электронных оболочках. Оже-переходы в атомах: двухчастичный характер, обозначения, Костер-Крониговские и супер-Костер-Крониговские переходы, энергия и интенсивность Оже-переходов. Каскад Оже-переходов. Выход флуоресценции. Зависимость выхода флуоресценции от характеристик атомов. Рентгеновский спектр образца, его характеристичность. Тормозное и характеристическое рентгеновское излучение. Закон Мозли. Основные принципы номенклатуры характеристических рентгеновских линий.</p> <p>Модели строения атома. Элементы систематики атомных спектров: спектр состояний одноэлектронного атома. Правила отбора для радиационных переходов в одноэлектронном и многоэлектронном атоме. Постулаты Бора. Рентгеновские термы. Квантовомеханическая теория Зоммерфельда характеристических рентгеновских спектров: водородоподобный характер рентгеновских термов, выражение для энергии рентгеновского уровня и терма, постоянные экранирования, диаграмма рентгеновских уровней. Относительные интенсивности эмиссионных линий в мультиплете (правило Бургера - Доргело). Рентгеновские спектрометры для разложения рентгеновского излучения в спектр и его регистрации. Области применения рентгенофлуоресцентного анализа. Истинное поглощение рентгеновских лучей веществом. Зависимость коэффициента</p> |

|   |                                       |  |
|---|---------------------------------------|--|
|   |                                       | <p>поглощения от длины волны лучей и порядкового номера вещества поглотителя. Скачки поглощения, их природа. Тонкая структура спектров поглощения твердых тел. Линейный, массовый и атомный коэффициенты ослабления рентгеновского излучения. Зависимость от длины волны и атомного номера поглощающего элемента. Таблицы массовых коэффициентов ослабления. Связь между рентгеновскими эмиссионными спектрами и парциальными плотностями электронных состояний. Рентгеновская эмиссионная спектроскопия с вариацией энергии возбуждающих электронов. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ. Избирательное поглощение и возбуждение характеристического излучения. Определение концентрации элементов с помощью рентгеновского флуоресцентного анализа. Приборы рентгеноспектрального флуоресцентного анализа.</p>  |
| 4 | Электронная микроскопия и микроанализ | <p>Сканирующая и просвечивающая электронная микроскопия: принципы работы, устройство, типы катодов и их характеристики. Пространственное разрешение и увеличение оптического, сканирующего и просвечивающего электронного микроскопа. Формирование изображения, контраст и динамический диапазон. Методы микроанализа в реализации на сканирующем электронном микроскопе. Взаимодействие сфокусированного пучка электронов с твердым материалом. Вторичные и обратно рассеянные электроны: зависимость от угла падения, атомного номера и угла регистрации, детекторы, извлекаемая информация. Эффекты каналирования и дифракция отраженных электронов (EBSD). Применение и извлекаемая информация методы для исследования монокристаллических и поликристаллических материалов. Координационные системы, стереографические проекции, полюсные фигуры и способы представления ориентировок, текстуры материала. Принцип формирования и компоненты изображений Кикучи работы метода, устройство детектора, принцип регистрации. Эффект каналирования и применение детекторов отраженных электронов для визуализации поликристаллического строения. Изображения Кикучи в материалах с разной структурой и принципы их формирования. Индексация и преобразование Хафа, определение ориентаций и фазы. Факторы, определяющие качество дифракционных картин. Примеры решаемых задач. Подготовка образцов для микроскопии и микроанализа на электронном сканирующем электронном микроскопе.</p> <p>Рентгеноспектральный микроанализ. Устройство и принципы работы электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализатора. Волновые и энергодисперсионные спектрометры. Используемые кристалл-анализаторы. Определение концентрации элементов. Метод трех поправок в рентгеновском микроанализе: атомный фактор, фактор поглощения, поправка на флуоресценцию, учет спектральных наложений. Режимы регистрации данных химического состава: точка, профиль, карта. Примеры и специальные решаемые задачи.</p> |



|   |   |   |
|---|---|---|
| 5 | Методы магнитного резонанса (ЯМР, ЭПР)        | <p>Физические основы методов. Магнитные моменты ядер и электронов. Поведение магнитоактивных частиц во внешнем магнитном поле. Зеемановское расщепление уровней, Больцмановское распределение спинов ядер и электронов. Переходы между, уровнями, условия ядерного магнитного и электронного парамагнитного резонанса. Реализация условий ядерного магнитного резонанса. Принципиальная блок-схема ЯМР-спектрометра стационарного типа и импульсного Фурье-спектрометра ЯМР. Техника и методика эксперимента. Общий вид спектра ЯМР и его обзорный анализ. Число сигналов, их форма, положение в спектре, интенсивность. Химический сдвиг, спин-спиновое расщепление, времена продольной и поперечной релаксации. Применение в химии спектроскопии ЯМР Н1. Структурный анализ индивидуальных соединений, донорно-акцепторных и Н-комплексов, хиральных молекул. Количественный анализ смеси. Изучение быстро протекающих процессов (химический обмен ядер, внутреннее вращение). Обнаружение и характеристика структуры интермедиатов в химических реакциях (карбокатионы, ионные пары и т.п.). Определение термодинамических характеристик химических реакций. Применение в структурно-аналитических целях спектроскопии магнитного резонанса на ядрах <math>^{13}\text{C}</math>, <math>^{31}\text{P}</math>, <math>^{19}\text{F}</math>, <math>^{77}\text{Se}</math> и др. Реализация условий электронного парамагнитного (спинового) резонанса. Техника и экспериментальные методики спектроскопии ЭПР. Форма сигнала. Положение резонансного сигнала и g-фактор в изотропных и анизотропных системах. Электрон-ядерное взаимодействие и сверхтонкая структура спектра ЭПР. Применение спектроскопии ЭПР в химии: структурные и кинетические исследования. Изучение электронной и пространственной структуры координационных соединений, радикалов и ион-радикалов; характеристика парамагнитных центров в твердых системах и т.п. Изучение возбужденных триплетных состояний, сольватированных электронов и т.д. Обнаружение в реагирующей системе парамагнитных центров, их идентификация, наблюдения за изменением концентраций во времени, методы спиновых меток и спиновых ловушек, матричная изоляция как приемы изучения кинетики и механизмов термических, фотохимических, радиационных, биохимических реакций.</p> |
| 6 | Методы колебательной спектроскопии (ИК и КРС) | <p>Теоретические основы колебательной спектроскопии. Симметрия молекул и нормальных колебаний. Классификация нормальных колебаний. Основные, или фундаментальные полосы, обертоны, нормальных колебаний. Основные, или фундаментальные полосы, обертоны, составные и разностные полосы. Интенсивность колебаний. Форма полосы. Правила отбора. Резонанс Ферми. Эффекты кристалличности. Характеристические частоты. Концепция групповых колебаний, ее достоинства и недостатки. Важнейшие области колебательных спектров (обзорный анализ). Принципы устройства и действия ИК-спектрометров. Фурье-спектроскопия. Характер и подготовка образцов. Применение ИК- и КРС-спектроскопии в химии. Структурно-групповой анализ на основе данных каждого метода (ИК- и КРС-) порознь, выводы из сопоставления ИК- и КР-спектров</p>   |

|   |                               |  |
|---|-------------------------------|--|
|   |                               | <p>относительно симметрии и тонких аспектов строения молекул. Идентификация структуры (область "отпечатка пальцев", колебания функциональных групп и отдельных структурных фрагментов, качественный и количественный анализ многокомпонентных смесей, характер и степень координации лигандов в устойчивых комплексах и т.п.). Исследование пространственной структуры молекул (форма, симметрия, геометрическая изомерия, конформационный анализ). Анализ внутримолекулярных электронных взаимодействий (эффект поля, эффекты сопряжения и т.д.), характеристика дипольных моментов и поляризуемостей отдельных связей, фрагментов и т.д. Нахождение силовых полей молекулы, корреляции, силовых постоянных с другими параметрами и свойствами молекул. Использование фундаментальных частот для расчета колебательных вкладов в термодинамические функции. Исследование межмолекулярных взаимодействий (комплексы с водородной связью, комплексы с переносом заряда, сольватационные эффекты, координационный катализ и т.п.). Исследования равновесий. Кинетические исследования.</p> |
| 7 | Ядерный гамма-резонанс (ЯГРС) | <p>Резонансное поглощение гамма-излучения. Естественная ширина линии и энергия отдачи ядра. Испускание гамма-кванта ядром, колеблющимся в узле кристаллической решётки согласно модели Эйнштейна. Открытие эффекта Мессбауэра. Доплеровская модуляция энергии гамма-квантов. Схема уровней энергии мессбауэровского ядра на примере <math>^{57}\text{Fe}</math>. Сверхтонкие взаимодействия, эффект Зеемана, квадрупольное взаимодействие, изомерный (температурный) сдвиг. Спектр <math>^{57}\text{Fe}</math>. Внесистемные единицы измерения энергии в мессбауэровской спектроскопии. Определение параметров сверхтонких взаимодействий из экспериментальных спектров. Источники и детекторы в ЯГРС. Устройство и принцип действия гамма-резонансного спектрометра.</p>  |

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

| Направление воспитательной деятельности | Вид воспитательной деятельности                    | Технология воспитательной деятельности  | Компетенция   | Результаты обучения  |
|---|--|---|---|--|
| Профессиональное воспитание             | учебно-исследовательская, научно-исследовательская | Технология формирования уверенности и готовности к самостоятельной успешной профессиональной деятельности | ПК-3 - Способен сопровождать технологические процессы и эксплуатацию измерительных систем в области нанотехнологии и микросистемной техники | У-1 - Определять оптимальные условия эксплуатации измерительных систем |

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## **2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Спектроскопические методы исследования веществ и минералов**

#### **Электронные ресурсы (издания)**

1. Блохин, М. А.; Методы рентгеноспектральных исследований : монография.; Государственное издательство физико-математической литературы, Москва; 1959; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=475624> (Электронное издание)
2. Ельяшевич, М. А.; Атомная и молекулярная спектроскопия : монография.; Государственное издательство физико-математической литературы, Москва; 1962; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=474125> (Электронное издание)
3. Кларк, Э. Р., Баженов, С. Л.; Микроскопические методы исследования материалов : монография.; РИЦ Техносфера, Москва; 2007; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=115673> (Электронное издание)
4. Газенаур, Е. Г.; Методы исследования материалов : учебное пособие.; Кемеровский государственный университет, Кемерово; 2013; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232447> (Электронное издание)
5. Бёккер, Ю., Ю.; Спектроскопия : монография.; РИЦ Техносфера, Москва; 2009; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=88994> (Электронное издание)
6. Агишев, А. Ш.; Основы квантовой механики и ЯМР-спектроскопии : учебное пособие.; Казанский научно-исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань; 2013; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=258680> (Электронное издание)
7. Устынюк, Ю. А.; Лекции по спектроскопии ядерного магнитного резонанса : курс лекций. 1. Вводный курс; Техносфера, Москва; 2016; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=444862> (Электронное издание)
8. Пивоваров, С. С.; Физические основы теории оптической и рентгеновской спектроскопии : учебное пособие.; Издательство Санкт-Петербургского Государственного Университета, Санкт-Петербург; 2016; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=458095> (Электронное издание)
9. Нагибина, И. М.; Спектральные приборы и техника спектроскопии : монография.; Машгиз, Москва, Ленинград; 1963; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=474147> (Электронное издание)
10. Белл, Р. Д., Жижин, Г. Н.; Введение в фурье-спектроскопию : монография.; Мир, Москва; 1975; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=477402> (Электронное издание)

#### **Печатные издания**

1. Гюнтер, Х.; Введение в курс спектроскопии ЯМР.; Мир, Москва; 1984 (4 экз.)

#### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

Электронная библиотека УрФУ [<https://opac.urfu.ru>]

Электронный научный архив УрФУ [<https://elar.urfu.ru>]

Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ [<https://study.urfu.ru>]

Зональная научная библиотека УрФУ [<https://lib.urfu.ru>]

Реферативно-поисковая база данных Scopus [<http://www.scopus.com>]

Реферативно-поисковая база данных Web of Science [<https://www.webofscience.com/>]

Научная электронная библиотека издательства Springer [<https://link.springer.com>]

Научная электронная библиотека eLibrary [<https://elibrary.ru>]

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

Поисковая система Академия Google [<https://scholar.google.com>]

Научная электронная библиотека КиберЛенинка [<https://cyberleninka.ru>]

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Спектроскопические методы исследования веществ и минералов**

#### **Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

| <b>№ п/п</b> | <b>Виды занятий</b>  | <b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>  | <b>Перечень лицензионного программного обеспечения</b> |
|--------------|----------------------|---|--|
| 1            | Лекции               | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов<br>Рабочее место преподавателя<br>Доска аудиторная<br>Подключение к сети Интернет | Office Professional 2003 Win32<br>Russian CD-ROM       |
| 2            | Практические занятия | Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов<br>Рабочее место преподавателя<br>Доска аудиторная<br>Подключение к сети Интернет | Office Professional 2003 Win32<br>Russian CD-ROM       |

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| 3 | Консультации                                | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM |
| 4 | Текущий контроль и промежуточная аттестация | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Подключение к сети Интернет</p> | Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM |
| 5 | Самостоятельная работа студентов            | <p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>   | Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM |