

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

Код модуля	Модуль
1159433	Методы исследования наноматериалов

Екатеринбург

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

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
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 выбирать адекватные задачам экспериментальные методы для исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур	З-1 - Сделать обзор экспериментальных методов исследования и модификации свойств наноматериалов и наноструктур У-2 - Различать особенности экспериментальных исследовательских методов в области нанотехнологий Д-1 - Проявлять готовность к освоению 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:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Кузнецов Дмитрий Константинович	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных 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 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 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., Полуин, 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 Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	Office Professional 2003 Win32 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:

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

Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики

Протокол № 3 от 17.03.2022 г.

1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Аликін 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	<p>Основные понятия цифровой обработки сигналов. Временное и частотное представление сигналов. Типы электрических шумов и методы фильтрации. Свёртка и Фурье-преобразование.</p>

	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. 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. Искажения, обусловленные несовершенством сканирующих элементов СЗМ. Программные и аппаратные методы компенсации недостатков сканирующих элементов, устройство сканеров с линеаризующими элементами. 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. 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

№ 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 Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
2	Лабораторные занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Персональные компьютеры по количеству обучающихся Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM OriginPro Gwyddion [http://gwyddion.net]

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

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Рентгеновские и нейтронные методы
исследования материалов

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Селезнева Надежда Владимировна	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных 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). Рентгенографическое определение внутренних напряжений в материалах (исследование макро- и микронапряжений). Рентгенографическое определение величины кристаллитов. 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 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 Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов 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:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Буянова Елена Станиславовна	кандидат химических наук, доцент	Доцент	аналитической химии и химии окружающей среды
2	Замятин Дмитрий Александрович	к.г.-м.н	зав. лаб.	Институт Геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого 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 послыйный 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 ^{13}C, ^{31}P, ^{19}F, ^{77}Se 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 ^{57}Fe. Сверхтонкие взаимодействия, эффект Зеемана, квадрупольное взаимодействие, изомерный (температурный) сдвиг. Спектр ^{57}Fe. 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

№ 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 Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 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