

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
1153442	Масс-спектрометрические и рентгеновские методы анализа

Екатеринбург

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Аналитический контроль природных и технических объектов	<b>Код ОП</b> 1. 18.04.01/33.09
<b>Направление подготовки</b> 1. Химическая технология	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 18.04.01

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	Пупышев Александр Алексеевич	доктор химических наук, профессор	Профессор	физико-химических методов анализа

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Масс-спектрометрические и рентгеновские методы анализа

### 1.1. Аннотация содержания модуля

В структуре образовательной программы модуль «Масс-спектрометрические и рентгеновские методы анализа» находится в части формируемой участниками образовательных отношений. Модуль имеет своей целью ознакомление студентов с основными подходами и возможностями различных вариантов метода масс-спектрометрии в области молекулярного, элементного и изотопного анализа природных и технических объектов. Рассматриваются теоретические основы физики рентгеновского излучения, взаимодействие рентгеновского излучения с веществом, особое внимание уделено вопросам подготовки проб различного агрегатного состояния к анализу и проведение качественного и количественного рентгеноспектрального анализа. Модуль направлен на формирование у студентов научных взглядов и экспериментальных навыков в области молекулярно-структурного, элементного и изотопного анализов.

### 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	Масс-спектрометрия	5
2	Рентгеноспектральный анализ	4
ИТОГО по модулю:		9

### 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

Пререквизиты модуля	1. Физические методы анализа
Постреквизиты и кореквизиты модуля	1. Анализ природных и технических объектов

### 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

Масс-спектрометрия	ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания	<p>З-1 - Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и инженерных наук</p> <p>З-2 - Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и инженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания</p> <p>У-1 - Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и инженерных наук</p> <p>У-2 - Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и инженерных наук</p>
	ОПК-2 - Способен самостоятельно ставить, формализовывать и решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, используя методы моделирования и математического анализа	<p>З-2 - Характеризовать сферы применения и возможности пакетов прикладных программ для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>У-2 - Использовать методы моделирования и математического анализа, в том числе с использованием пакетов прикладных программ для решения задач профессиональной деятельности</p>
	ОПК-5 - Способен планировать, организовывать и контролировать работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования и технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности	<p>З-1 - Изложить основные нормы и правила, регламентирующие работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>З-2 - Объяснить принципы и типовой порядок планирования, организации и контроля выполнения работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>З-3 - Перечислить основные разделы документов (технического задания, технических условий и т.п.), в соответствии с которыми выполняются работы по созданию, установке и модернизации</p>

		<p>технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>З-4 - Показать возможности использования цифровых технологий (создание цифровых двойников) для оптимизации работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>У-1 - Обосновать детальный план проведения работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>У-2 - Анализировать задания, распределять и объяснять их работникам коллектива при выполнении работ по созданию, установке и модернизации оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>У-3 - Оценивать исполнение работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем на соответствие регламентам</p> <p>У-4 - Использовать при необходимости техники цифрового моделирования при выполнении работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>П-1 - Самостоятельно составить план работ в целом по этапам создания, установки и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем либо отдельных этапов этой работы</p> <p>П-2 - Провести контроль выполнения заданий с учетом соответствия регламентам, срокам исполнения и материальным затратам</p>
--	--	--

		Д-1 - Демонстрировать требовательность и принципиальность в процессе контроля выполнения заданий
	ОПК-6 - Способен планировать и организовать работы по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности с учетом энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта	<p>З-1 - Перечислить основные технические параметры и технологические характеристики эксплуатируемого оборудования и реализуемых технологических процессов</p> <p>З-2 - Назвать имеющиеся ограничения режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>З-3 - Объяснить принципы энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p> <p>У-1 - Технически грамотно формулировать задания по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов с учетом имеющихся ограничений режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>У-2 - Оценивать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов на основании визуального анализа и показаний контрольно-измерительной аппаратуры</p> <p>У-3 - Обоснованно корректировать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов, добиваясь повышения уровня энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p> <p>П-1 - Организовать в соответствии с разработанным утвержденным планом выполнение работ по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p> <p>П-2 - Предлагать и аргументированно доказывать целесообразность корректировок параметров эксплуатации оборудования и реализации технологических процессов для повышения</p>

		<p>уровня энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p> <p>Д-1 - Демонстрировать ответственное отношение к работе, организаторские способности</p>
	<p>ПК-1 - Способен организовать проведение химического анализа природных и технических объектов, включая выбор методик, аппаратуры и обработку результатов</p>	<p>З-3 - Объяснить назначение, устройство, принципы работы, правила эксплуатации и технического обслуживания средств измерения, испытательного и вспомогательного оборудования для проведения химического анализа объектов исследования</p> <p>У-3 - Выявлять неисправности средств измерения, испытательного и вспомогательного оборудования, применяемых для проведения химического анализа объектов испытаний</p> <p>П-3 - Организовать техническое обслуживание и ремонт средств измерения, испытательного и вспомогательного оборудования</p>
	<p>ПК-2 - Способен ставить и решать исследовательские задачи разработки методов аналитического контроля и оптимизации параметров анализа объектов исследования</p>	<p>З-1 - Сделать сообщение о научной проблематике в соответствующей области знаний</p> <p>З-3 - Выбрать наиболее перспективные методы и средства планирования, организации и внедрения результатов разработок в области методов аналитического контроля и оптимизации параметров анализа</p> <p>У-1 - Анализировать научную проблематику соответствующей области знаний</p> <p>У-3 - Применять наиболее перспективные методы и средства планирования, организации и внедрения результатов разработок в области методов аналитического контроля и оптимизации параметров анализа</p> <p>П-1 - Обосновать перспективы проведения исследований в соответствующей области знаний</p> <p>П-2 - Ставить конкретные научно-технические задачи разработки методов</p>

		аналитического контроля и оптимизации параметров анализа объектов исследования
	ПК-4 - Способен организовать и осуществить работы по непрерывному совершенствованию производственной деятельности	З-1 - Привести примеры методик проведения физико-химического анализа У-1 - Осуществлять подбор эффективных методик и методов анализа растворов, материалов и образцов изделий П-1 - Разрабатывать предложения по совершенствованию процессов анализа материалов и растворов
Рентгеноспектральный анализ	ОПК-1 - Способен формулировать и решать научно-исследовательские, технические, организационно-экономические и комплексные задачи, применяя фундаментальные знания	З-1 - Соотносить проблемную область с соответствующей областью фундаментальных и инженерных наук З-2 - Привести примеры терминологии, принципов, методологических подходов и законов фундаментальных и инженерных наук, применимых для формулирования и решения задач проблемной области знания У-1 - Использовать для формулирования и решения задач проблемной области терминологию, основные принципы, методологические подходы и законы фундаментальных и инженерных наук У-2 - Критически оценить возможные способы решения задач проблемной области, используя знания фундаментальных и инженерных наук
	ОПК-2 - Способен самостоятельно ставить, формализовывать и решать задачи, относящиеся к профессиональной деятельности, используя методы моделирования и математического анализа	З-2 - Характеризовать сферы применения и возможности пакетов прикладных программ для решения задач профессиональной деятельности У-2 - Использовать методы моделирования и математического анализа, в том числе с использованием пакетов прикладных программ для решения задач профессиональной деятельности
	ОПК-5 - Способен планировать, организовывать и контролировать работы по созданию, установке и модернизации технологического	З-1 - Изложить основные нормы и правила, регламентирующие работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем



	<p>оборудования и технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p>	<p>З-2 - Объяснить принципы и типовой порядок планирования, организации и контроля выполнения работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>З-3 - Перечислить основные разделы документов (технического задания, технических условий и т.п.), в соответствии с которыми выполняются работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>З-4 - Показать возможности использования цифровых технологий (создание цифровых двойников) для оптимизации работы по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>У-1 - Обосновать детальный план проведения работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>У-2 - Анализировать задания, распределять и объяснять их работникам коллектива при выполнении работ по созданию, установке и модернизации оборудования, технологических процессов и информационных систем</p> <p>У-3 - Оценивать исполнение работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем на соответствие регламентам</p> <p>У-4 - Использовать при необходимости техники цифрового моделирования при выполнении работ по созданию, установке и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем</p>
--	---	--

		<p>П-1 - Самостоятельно составить план работ в целом по этапам создания, установки и модернизации технологического оборудования, технологических процессов и информационных систем либо отдельных этапов этой работы</p> <p>П-2 - Провести контроль выполнения заданий с учетом соответствия регламентам, срокам исполнения и материальным затратам</p> <p>Д-1 - Демонстрировать требовательность и принципиальность в процессе контроля выполнения заданий</p>
	<p>ОПК-6 - Способен планировать и организовать работы по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности с учетом энерго- и ресурсоэффективности производственного цикла и продукта</p>	<p>З-1 - Перечислить основные технические параметры и технологические характеристики эксплуатируемого оборудования и реализуемых технологических процессов</p> <p>З-2 - Назвать имеющиеся ограничения режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>З-3 - Объяснить принципы энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p> <p>У-1 - Технически грамотно формулировать задания по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов с учетом имеющихся ограничений режимов эксплуатации оборудования и регламенты технологических процессов</p> <p>У-2 - Оценивать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов на основании визуального анализа и показаний контрольно-измерительной аппаратуры</p> <p>У-3 - Обоснованно корректировать ход эксплуатации технологического оборудования и реализации технологических процессов, добиваясь повышения уровня энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p> <p>П-1 - Организовать в соответствии с разработанным утвержденным планом</p>

		<p>выполнение работ по эксплуатации технологического оборудования и обеспечению технологических процессов в сфере своей профессиональной деятельности</p> <p>П-2 - Предлагать и аргументированно доказывать целесообразность корректировок параметров эксплуатации оборудования и реализации технологических процессов для повышения уровня энерго и ресурсосбережения производственного цикла и продукта</p> <p>Д-1 - Демонстрировать ответственное отношение к работе, организаторские способности</p>
	<p>ПК-1 - Способен организовать проведение химического анализа природных и технических объектов, включая выбор методик, аппаратуры и обработку результатов</p>	<p>З-3 - Объяснить назначение, устройство, принципы работы, правила эксплуатации и технического обслуживания средств измерения, испытательного и вспомогательного оборудования для проведения химического анализа объектов исследования</p> <p>У-3 - Выявлять неисправности средств измерения, испытательного и вспомогательного оборудования, применяемых для проведения химического анализа объектов испытаний</p> <p>П-3 - Организовать техническое обслуживание и ремонт средств измерения, испытательного и вспомогательного оборудования</p>
	<p>ПК-2 - Способен ставить и решать исследовательские задачи разработки методов аналитического контроля и оптимизации параметров анализа объектов исследования</p>	<p>З-1 - Сделать сообщение о научной проблематике в соответствующей области знаний</p> <p>З-3 - Выбрать наиболее перспективные методы и средства планирования, организации и внедрения результатов разработок в области методов аналитического контроля и оптимизации параметров анализа</p> <p>У-1 - Анализировать научную проблематику соответствующей области знаний</p> <p>У-3 - Применять наиболее перспективные методы и средства планирования, организации и внедрения результатов</p>

		<p>разработок в области методов аналитического контроля и оптимизации параметров анализа</p> <p>П-1 - Обосновать перспективы проведения исследований в соответствующей области знаний</p> <p>П-2 - Ставить конкретные научно-технические задачи разработки методов аналитического контроля и оптимизации параметров анализа объектов исследования</p>
	<p>ПК-4 - Способен организовать и осуществить работы по непрерывному совершенствованию производственной деятельности</p>	<p>З-1 - Привести примеры методик проведения физико-химического анализа</p> <p>У-1 - Осуществлять подбор эффективных методик и методов анализа растворов, материалов и образцов изделий</p> <p>П-1 - Разрабатывать предложения по совершенствованию процессов анализа материалов и растворов</p>

### 1.5. Форма обучения

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Масс-спектрометрия**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Пупышев Александр Алексеевич	доктор химических наук, профессор	Профессор	физико- химических методов анализа

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Физико-технологический**

Протокол № 3 от 12.11.2020 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Пупышев Александр Алексеевич, Профессор, физико-химических методов анализа

## 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
P1	Введение	Основные области применения метода, его достоинства и недостатки. Принципиальная схема измерения.
P2	Процессы ионизации и источники ионов	Образование масс-спектра. Первичные и вторичные процессы ионизации. Ионизация атомов и молекул, типы ионов: молекулярные, осколочные, перегруппировочные, метастабильные, полиатомные, положительные и отрицательные. Понятие масс-спектра. Этапы формирования масс-спектра. Условия проведения ионизации для масс-спектрометрии.  Функции источников ионов. Требования к ионным источникам. Классификация ионных источников.  Устройство, принцип работы и характеристики ионных источников: электронный удар; химическая ионизация; фотоионизация; термоионизация, одно- и двухленточные источники; ионная бомбардировка и метод вторично-ионной масс-спектрометрии; лазерная ионизация; матрично-активированная лазерная десорбция/ионизация; химическая ионизации при атмосферном давлении; ионизация электрораспылением; десорбционная ионизация под действием электрораспыления; высоковольтный искровой разряд; тлеющий разряд постоянного тока (физические принципы, каскадное распыление, процессы ионизации, валовой анализ, послыйный анализ), высокочастотный и микроимпульсный разряды; индуктивно-связанная плазма: конструкция, принцип

		действия. Сравнение рабочих характеристик источников ионов (разброс по энергии, стабильность, эффективность ионизации, типы получаемых ионов).
<b>P3</b>	Масс-анализаторы	<p>Классификация масс-анализаторов, типы статических и динамических масс-анализаторов. Параметры масс-анализаторов: разрешающая способность и различные способы ее определения, эффективность, абсолютная и относительная чувствительность, диапазон измерения масс, погрешности измерения. Анализ масс при помощи магнитного поля, основное уравнение масс-спектрометрии. Фокусировка ионов по направлению вылета, использование секторного магнитного поля.</p> <p>Электростатические анализаторы, фильтрация ионов по энергиям. Анализаторы с двойной фокусировкой:</p> <p>Маттауха-Герцога и Нира-Джонсона. Масс-анализатор с циклоидальной фокусировкой. Динамические масс-анализаторы: время-пролетный, квадрупольный, ион-циклотронного резонанса (омегаторонный).</p>
<b>P4</b>	Детекторы ионов, их конструкция и характеристики	Фотоэлектронные детекторы: электрометры (цилиндр Фарадея), вторичные и каналовые электронные умножители, сцинтилляционные детекторы. Фотографическая регистрация масс-спектра
<b>P5</b>	Масс-спектрометрические методы анализа	<p>Качественный элементный и молекулярный анализ, особенности его проведения.</p> <p>Количественный анализ: основные допущения. Методы внешнего и внутреннего стандарта, изотопного разбавления, их аналитические характеристики. Коэффициент относительной чувствительности и его роль в количественном масс-спектральном анализе.</p> <p>Анализ металлов, изоляторов, порошков, жидкостей, газов. Изотопный анализ. Послойный и локальный анализ.</p>
<b>P6</b>	Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой	<p>Сущность метода масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, принцип работы приборов и их блок-схемы. Достоинства и недостатки метода.</p> <p>Индукционный разряд. Возникновение и формирование плазмы. Роль различных заряженных частиц в формировании и поддержании индукционного разряда. Каскадная ионизация. Реакции с переносом заряда. Особенности индукционного разряда как ионного источника.</p> <p>Индуктивно связанная плазма. Составные части генератора индуктивно связанной плазмой, их функции.</p> <p>Конструкции плазменных горелок, принцип их действия. Поджиг индуктивно связанной плазмы. Физическое строение факела плазмы, основные зоны и их характеристики: тороидальный плазмод, центральный канал, зона предварительного нагрева, зона начального излучения, нормальная аналитическая зона, «хвост» плазмы. Физические характеристики факела плазмы: температуры, концентрация электронов, их распределения. Процессы преобразования</p>

		<p>аналита от аэрозоля до ионов в различных зонах плазменного факела. Влияние операционных параметров на процессы ионизации: мощность высокочастотного генератора, скорость транспортирующего потока газа, глубина пробоотбора. Физические процессы в интерфейсе и за скиммером. Эффект объемного заряда.</p> <p>Ионная оптика приборов. Масс-анализаторы.</p> <p>Устройства ввода жидких, твердых, газообразных проб и их характеристики. Распылители и их характеристики: пневматические поперечно-поточные и концентрические (Мейнхарда, микроконцентрические, прямой инжекции). Ультразвуковые распылители, их достоинства и недостатки. Десольватация аэрозоля и десольвататоры. Электротермические испарители. Лазерная абляция проб. Техника гидридов и холодного пара. Проточная инжекция.</p> <p>Образование положительных однозарядных атомных ионов. Ионный состав индуктивно связанной плазмы.</p> <p>Образование двухзарядных атомных ионов. Образование полиатомных ионов: оксидных, гидроксидных, гидридных, аргидов. Образование отрицательных ионов.</p> <p>Спектральные помехи от изотопов других элементов, двухзарядных ионов и полиатомных ионов. Классификация фоновых полиатомных ионов. Учет спектральных помех с помощью математических уравнений. Снижение и устранение спектральных помех использованием режима холодной плазмы, способами вскрытия образцов, разделения и концентрирования</p> <p>элементов, использованием реакционной газовой экстракции, десольватацией аэрозоля, электротермическим испарением, лазерной абляцией проб, использованием приборов высокого разрешения, столкновительно-реакционных ячеек.</p> <p>Матричные помехи на стадиях ввода проб, ионизации и транспортировки ионного луча.</p> <p>Способы количественного элементного и изотопного анализа. Аналитические и метрологические характеристики метода.</p>
--	--	--

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

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

### 1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .



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

### **Масс-спектрометрия**

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

1. Лебедев, А. Т.; Масс-спектрометрия в органической химии : учебное пособие.; Техносфера, Москва; 2015; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=496508> (Электронное издание)
2. Лебедев, А. Т.; Масс-спектрометрия для анализа объектов окружающей среды : монография.; Техносфера, Москва; 2013; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=273789> (Электронное издание)

#### **Печатные издания**

1. Пупышев, А. А., Суриков, В. Т.; Масс-спектрометрия с индуктивно связанной плазмой. Образование ионов : [монография].; УрО РАН, Екатеринбург; 2006 (2 экз.)
2. Пупышев, А. А., Сермягин, Б. А.; Дискриминация ионов по массе при изотопном анализе методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой : [монография].; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2006 (5 экз.)
3. Рамендик, Г. И.; Элементный масс-спектрометрический анализ твердых тел: Физические основы и аналитические характеристики; Химия, Москва; 1993 (1 экз.)
4. Карасек, Ф., Ревельский, И. А., Яшин, Ю. С.; Введение в хромато-масс-спектрометрию; Мир, Москва; 1993 (2 экз.)

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

Научная электронная библиотека Elibrary.ru <https://www.elibrary.ru/>

Электронная библиотечная сеть "Лань" <http://e.lanbook.com/>

Зональная научная библиотека УрФУ <http://lib.urfu.ru>

Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ <http://study.urfu.ru/>

American Chemical Society <http://pubs.acs.org/>

ЭБС Университетская библиотека онлайн «Директ-Медиа» <http://www.biblioclub.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**

Министерство образования и науки Российской Федерации <http://минобрнауки.рф/>

Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>

ООО Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/defaultx.asp>

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

Поисковая система <http://www.yandex.ru>

Поисковая система <http://www.google.com>

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Масс-спектрометрия

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	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Периферийное устройство	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Лабораторные занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Рентгеноспектральный анализ**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Пупышев Александр Алексеевич	доктор химических наук, профессор	Профессор	физико- химических методов анализа

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Физико-технологический**

Протокол № 3 от 12.11.2020 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Пупышев Александр Алексеевич, Профессор, физико-химических методов анализа

## 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
P1	Введение	Электромагнитное излучение, кванты. Характеристика рентгеновского излучения. Принципиальные схемы измерений в эмиссионном, флуоресцентном и абсорбционных вариантах. Блок-схемы установок для рентгеноспектрального анализа. Область применения, достоинства и недостатки различных способов рентгеноспектрального анализа.
P2	Характеристический рентгеновский спектр	Генерация рентгеновских лучей. Развитие представлений о строении атома. Модель атома Бора. Распределение электронов в атоме. Квантовые числа. Энергии электронных уровней атома. Возникновение характеристического рентгеновского спектра. Классификация рентгеновских переходов. Рентгеновские термы. Систематика характеристических линий рентгеновского спектра. Длины волн и частоты характеристических рентгеновских линий. Закон Мозли. Дублетная и мультиплетная структура спектра. Спин-дублеты и дублеты экранирования. Потенциалы возбуждения рентгеновских серий. Правила отбора. Оже-эффект.  Выход флуоресценции. Интенсивность линий характеристического спектра. Относительная интенсивность спектральных линий. Интенсивность линий первичного характеристического рентгеновского спектра и ее зависимость от операционных параметров рентгеновской трубки.
P3	Тормозной рентгеновский	Возникновение тормозного (непрерывного) рентгеновского излучения. Спектральное распределение интенсивности

	спектр	<p>непрерывного спектра. Интегральная и спектральная интенсивность, коротковолновая граница непрерывного рентгеновского спектра. Зависимость интенсивности непрерывного рентгеновского спектра от материала анода рентгеновской трубки, напряжения и тока ее питания. Выход тормозного излучения. Пространственное распределение тормозного излучения.</p> <p>Смешанное излучение рентгеновских трубок. Соотношения между интенсивностью характеристического и тормозного рентгеновских спектров при вариации операционных параметров рентгеновской трубки.</p>
<b>P4</b>	Флуоресцентное рентгеновское излучение	<p>Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Поглощение и рассеяние рентгеновского излучения. Квантовая теория поглощения рентгеновских лучей. Линейный и массовый коэффициенты ослабления рентгеновского излучения. Зависимость массовых коэффициентов поглощения от длины волны рентгеновского излучения и атомного номера поглощающего элемента. Таблицы массовых коэффициентов ослабления. Фотоэлектронное (истинное) поглощение (фотоабсорбция). Коэффициенты поглощения. Скачки и края поглощения. Структура краев поглощения. Флуоресцентное излучение.</p> <p>Рассеяние рентгеновского излучения. Когерентное и некогерентное рассеяние электронами атома. Коэффициент рассеяния и его зависимость от длины волны и атомного номера рассеивающего элемента. Интенсивность рентгеновского рассеяния материалом пробы.</p> <p>Влияние размера частиц на интенсивность рентгеновской флуоресценции. Природа фона в рентгенофлуоресцентном анализе.</p>
<b>P5</b>	Качественный и количественный рентгенофлуоресцентный анализ	<p>Интенсивность рентгеновской флуоресценции при возбуждение монохроматическим, непрерывным и смешанным излучением. Понятие толстого и тонкого образца. Форма градуировочных графиков. Критическая глубина слоя пробы. Эффекты избирательного характера.</p> <p>Способы проведения количественного анализа. Прямой способ внешнего стандарта. Способ внешнего стандарта с поправками на поглощение. Способ разбавления проб нейтральной средой. Способ добавок.</p> <p>Способ внутреннего стандарта. Способ стандарта-фона. Использование уравнений связи. Физические модели и уравнения связи. Варианты метода фундаментальных параметров. Методы <math>\mu</math>- и <math>\alpha</math>-коррекции.</p> <p>Математические модели и уравнения связи. Учет аппаратных эффектов. Рентгеноспектральные измерения и их погрешности. Метрологические характеристики рентгеноспектрального анализа.</p>

		<p>Порядок проведения качественного элементного анализа. Учет возможных ошибок расшифровки спектра.</p>
<p><b>Р6</b></p>	<p>Техника рентгеноспектрального анализа</p>	<p>Принципиальная схема рентгеновского спектрометра и ее функционирование. Спектрометры с волновой и энергетической дисперсией. Источники первичного рентгеновского излучения. Рентгеновские трубки с торцевым и боковым выходом, с прострельным анодом.</p> <p>Высоковольтные генераторы. Радиоизотопные источники рентгеновского излучения, специализированные приборы.</p> <p>Рентгеновские оптические системы с диспергирующими элементами (волновая дисперсия). Получение рентгеновского спектра. Интерференция и дифракция рентгеновского излучения. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллической решетке. Уравнение Вульфа-Брегга. Отражение различных порядков. Выбор кристаллов анализаторов. Типы кристаллов анализаторов. Плоские и вогнутые кристаллы. Дисперсия, разрешение спектральных линий. Многослойные дифракционные структуры. Дифракционные решетки.</p> <p>Спектрометры с плоским кристаллом (схема Соллера и Брэгга). Спектрометры с фокусирующим кристаллом: по Иоганну и Иогансону. Выделение рентгеновских линий с помощью селективных фильтров.</p> <p>Детекторы рентгеновского излучения. Свойства рентгеновского излучения, используемые для его регистрации. Пропорциональные и сцинтилляционные счетчики, полупроводниковые детекторы. Устройство, принцип действия. Анализ амплитуд импульсов, распределение амплитуд импульсов. Характеристики: разрешение по энергии, геометрическая эффективность, временная разрешающая способность, мертвое время, пик вылет. Предусилители и усилители импульсов, многоканальный амплитудный анализатор.</p> <p>Энергодисперсионные системы. Схемы и особенности энергетической селекции с детекторами различного типа.</p> <p>Использование капиллярной рентгеновской оптики.</p> <p>Поляризация рентгеновского излучения и ее использование в спектрометрах.</p> <p>Спектрометры с полным внешним отражением рентгеновского излучения.</p> <p>Классификация современных приборов для рентгенофлуоресцентного анализа: анализаторы, спектрометры, многоканальные спектрометры (квантометры).</p>

		Устройство и технические возможности. Способы измерения интенсивности рентгеновского излучения: таймера, монитора.
<b>Р7</b>	Технология рентгеноспектрального анализа	Этапы рентгеноспектрального анализа и особенности его проведения в случае анализа монолитных, порошкообразных и жидких образцов. Подготовка проб и образцов сравнения к анализу.

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

Направления воспитательной деятельности сопрягаются со всеми результатами обучения компетенций по образовательной программе, их освоение обеспечивается содержанием всех дисциплин модулей.

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Рентгеноспектральный анализ

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Лосев, Н. Ф.; Количественный рентгеноспектральный флуоресцентный анализ : монография.; Наука, Москва; 1969; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=476655> (Электронное издание)
2. 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)

#### Печатные издания

1. Павлинский, Г. В.; Основы физики рентгеновского излучения; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2007 (3 экз.)
2. Лосев, Н. Ф.; Количественный рентгеноспектральный флуоресцентный анализ; Наука, Москва; 1969 (4 экз.)
3. Блохин, М. А.; Рентгеноспектральный справочник; Наука, Москва; 1982 (3 экз.)

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

Научная электронная библиотека Elibrary.ru <https://www.elibrary.ru/>

Электронная библиотечная сеть "Лань" <http://e.lanbook.com/>

Зональная научная библиотека УрФУ <http://lib.urfu.ru>

Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ <http://study.urfu.ru/>

American Chemical Society <http://pubs.acs.org/>

ЭБС Университетская библиотека онлайн «Директ-Медиа» <http://www.biblioclub.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**

Министерство образования и науки Российской Федерации <http://минобрнауки.рф/>

Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>

ООО Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru/defaultx.asp>

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

Поисковая система <http://www.yandex.ru>

Поисковая система <http://www.google.com>

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

### **Рентгеноспектральный анализ**

**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 Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Периферийное устройство	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES
3	Лабораторные занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM  Office 365 EDUA3 ShrdSvr ALNG SubsVL MVL PerUsr B Faculty EES



		Рабочее место преподавателя Оборудование, соответствующее требованиям организации учебного процесса в соответствии с санитарными правилами и нормами	
--	--	--	--