

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Химический факультет

(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от

**Рабочая программа дисциплины**

**РЕНТГЕНОВСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА**

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

**специалитет**

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

**04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия»**

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

**Неорганическая химия**

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

**очная**

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2022 год

## Лист актуализации

---

---

### Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

\_\_\_ 20\_\_ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 2022-2023 учебном году на заседании кафедры

Протокол от \_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

### Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

\_\_\_ 20\_\_ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 20\_\_ -20\_\_ учебном году на заседании кафедры

Протокол от \_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

### Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

\_\_\_ 20\_\_ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 20\_\_ -20\_\_ учебном году на заседании кафедры

Протокол от \_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

---

---

### Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель МК

\_\_\_ 20\_\_ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для  
исполнения в 20\_\_ -20\_\_ учебном году на заседании кафедры

Протокол от \_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_

## **1. Место дисциплины в структуре ОПОП**

Дисциплина «Рентгеновские методы анализа» относится к дисциплинам по выбору Блока 1 ОПОП по специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия» (Б1.В.03.ДВ.04) специализации «Неорганическая химия». Она изучается студентами очной формы обучения на четвертом курсе в 8 семестре.

Необходимой базой для освоения дисциплины «Рентгеновские методы анализа» являются курсы аналитической и неорганической химии, строения вещества, математики и физики, преподаваемые на младших курсах высших учебных заведений химического профиля. Для успешного и полного освоения разделов дисциплины и получения навыков выполнения рентгеновских методов анализа необходимы знания в области строения и свойств неорганических и органических веществ, владение основными приемами химического анализа и пробоотбора. Освоение современных инструментальных методов анализа требует знания фундаментальных разделов физики, таких как термодинамика, электродинамика, оптика, основы квантовой механики. Грамотная статистическая обработка результатов химического анализа невозможна без освоения фундаментальных разделов математики. Для наиболее полного использования приемов аналитической химии в анализе объектов окружающей среды и технологических сред требуется владение программным обеспечением компьютеров и их использование для планирования химических исследований и обработки экспериментальных данных. В этой связи, для успешного изучения курса «Рентгеновские методы анализа» рекомендуется предварительное освоение материала таких дисциплин как аналитическая и неорганическая химия, строение вещества, физика, математика, численные методы и программирование.

Знания и навыки, приобретенные в курсе изучения дисциплины «Рентгеновские методы анализа», необходимы для успешного освоения всех дисциплин базовой и вариативной части профессионального цикла и успешного проведения исследовательской работы.

### **Целями освоения дисциплины «Рентгеновские методы анализа» являются:**

Цель освоения курса «Рентгеновские методы анализа» состоит в изучении основных физических закономерностей взаимодействия рентгеновского излучения с веществом и их использования для проведения элементного и фазового анализа образцов различного состава.

### **Задачи дисциплины:**

- изучение процессов, происходящих при возникновении рентгеновского излучения и его взаимодействии с веществом;
- изучение теоретических основ рентгеновских методов анализа, их возможностей, областей применения и ограничений;
- формирование навыков практической работы на современном рентгеновском оборудовании.

## **2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)**

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
<b>ПК-1-н.</b> Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в области неорганической химии, и/или смежных с химией науках.	<b>ПК-1-н-1.</b> Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий	<i><b>Знать</b></i> возможности и область применения рентгеновских методов анализа. <i><b>Уметь</b></i> выбирать метод рентгеновского анализа для решения конкретной аналитической задачи. <i><b>Владеть</b></i> основными приемами проведения анализа с использованием современных рентгеновских методов анализа.	Устный опрос, экзамен
	<b>ПК-1-н-2.</b> Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов	<i><b>Знать</b></i> экспериментальные и расчетно-теоретические методы установления качественного и количественного состава объектов с использованием рентгеновских методов анализа. <i><b>Уметь</b></i> выбирать оптимальный экспериментальный и расчетно-теоретический метод качественного и количественного анализа для решения конкретной аналитической задачи. <i><b>Владеть</b></i> стандартными экспериментальными и расчетно-теоретическими методами установления качественного и количественного состава твердых и жидких образцов с использованием рентгеновских методов анализа.	
<b>ПК-2-н.</b> Способен проводить информационные исследования в области неорганической химии и/или смежных с химией науках	<b>ПК-2-н-1.</b> Проводит поиск специализированной информации в информационных базах данных	<i><b>Знать</b></i> физические процессы, происходящие при взаимодействии рентгеновского излучения с веществом. <i><b>Уметь</b></i> пользоваться информационными ресурсами для нахождения значений энергий краев поглощения и энергий характеристического рентгеновского излучения химических элементов. <i><b>Владеть</b></i> терминологией,	Устный опрос, экзамен

		используемой в современных рентгеновских методах анализа.	
	ПК-2-н-2. Анализирует и обобщает результаты поиска по тематике проекта в области неорганической химии и/или смежных с химией науках	<b>Знать</b> теоретические основы современных рентгеновских методов анализа. <b>Уметь</b> критически оценивать результаты анализа объектов современными рентгеновскими методами. <b>Владеть</b> метрологическими характеристиками современных рентгеновских методов анализа.	
<b>ПК-3-н.</b> Способен на основе критического анализа результатов НИР оценивать перспективы их практического применения и продолжения работ в области неорганической химии и/или смежных с химией науках	ПК-3-н-1. Систематизирует информацию, полученную в ходе НИР, анализирует ее и сопоставляет с литературными данными	<b>Знать</b> сущность взаимного влияние отдельных компонентов на возможность их обнаружения и определения при совместном присутствии с использованием современных рентгеновских методов. <b>Уметь</b> использовать справочные данные для оптимизации экспериментальных исследований с использованием рентгеновских методов анализа. <b>Владеть</b> основными способами устранения матричных эффектов при анализе современными рентгеновскими методами.	Устный опрос, экзамен
	ПК-3-н-2. Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов	<b>Знать</b> основные способы пробоотбора и пробоподготовки при использовании современных рентгеновских методов. <b>Уметь</b> оценить погрешность анализа современными рентгеновскими методами и сопоставить с их возможностями. <b>Владеть</b> навыками работы на современном рентгеновском оборудовании.	

<p><b>ПК-1-т.</b></p> <p>Способен определять способы, методы и средства решения технологических задач в рамках прикладных НИР в области неорганической химии.</p>	<p><b>ПК-1-т-1.</b></p> <p>Готовит детальные планы отдельных стадий прикладных НИР</p>	<p><b>Знать</b> сущность современных рентгеновских методов, их возможности, область применения, метрологические характеристики.</p> <p><b>Уметь</b> планировать и проводить анализ образцов различного происхождения современными рентгеновскими методами.</p> <p><b>Владеть</b> навыками проведения стандартных операций на современном рентгеновском оборудовании, используемом в аналитических целях.</p>	<p>Устный опрос, экзамен</p>
	<p><b>ПК-1-т-2.</b></p> <p>Готовит документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР</p>	<p><b>Знать</b> принцип работы и основные блоки современного рентгеновского оборудования, используемого для анализа объектов различного происхождения.</p> <p><b>Уметь</b> проводить анализ объектов различного агрегатного состояния с использованием современных рентгеновских методов.</p> <p><b>Владеть</b> основными этапами проведения анализа современными рентгеновскими методами.</p>	
	<p><b>ПК-1-т-3.</b></p> <p>Предлагает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач в рамках прикладных НИР</p> <p><b>ПК-1-т-4.</b></p> <p>Проводит испытания инновационной продукции</p>	<p><b>Знать</b> основные источники погрешностей при проведении анализа современными рентгеновскими методами.</p> <p><b>Уметь</b> обнаруживать грубые нарушения в процедуре проведения анализа и грубые погрешности результатов анализа современными рентгеновскими методами.</p> <p><b>Владеть</b> способностью критически оценивать результаты анализа современными рентгеновскими методами и сопоставлять с их возможностями.</p>	

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>9</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>324</b>
<b>в том числе</b>	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>226</b>
- занятия лекционного типа	<b>64</b>
- лабораторного типа	<b>96</b>
- занятия семинарского типа	<b>66</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>62</b>
<b>Промежуточная аттестация – экзамен</b>	<b>36</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы				Самостоятельная работа обучающегося, часы
		из них				
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
	Очная	Очная	Очная	Очная	Очная	Очная
Основы физики рентгеновского излучения	94	22	20	36	78	16
Принцип работы рентгенофлуоресцентных спектрометров.	86	18	22	30	70	16
Рентгенофлуоресцентный анализ	80	18	20	30	68	12
Электронно-зондовый микроанализ	15	4	2		6	9
Рентгенофазовый анализ	13	2	2		4	9
Итого	288	64	66	96	226	62

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий лабораторного и семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в виде комплексного экзамена в устной форме в виде ответа обучающегося на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой). Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ. На экзамене возможно также использование тестовых заданий.

### **Содержание разделов дисциплины**

#### **I. Свойства рентгеновского излучения и принципы его взаимодействия с веществом.**

Характеристика рентгеновского излучения. Возникновение рентгеновского излучения. Тормозное рентгеновское излучение. Характеристическое излучение. Механизм возникновения. Закон Мозли. Схема рентгеновских уровней. Правила отбора. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Ослабление интенсивности рентгеновского излучения. Рассеяние рентгеновского излучения. Когерентное и некогерентное рассеяние. Интерференция и дифракция. Уравнение Брэгга-Вульфа. Флуоресценция и Оже-переходы. Выход флуоресценции. Интенсивность линий спектра флуоресценции.

#### **II. Рентгенофлуоресцентные спектрометры. Принцип работы и основные блоки.**

Источники рентгеновского излучения. Рентгеновские трубки. Рентгеновская трубка с боковым окном. Рентгеновская трубка с торцевым окном. Радиоактивные изотопы. Рентгенофлуоресцентные спектрометры. Спектрометры с волновой дисперсией. Принцип работы. Приемники излучения. Конфигурация спектрометров с волновой дисперсией. Спектрометры с энергетической дисперсией. Принцип работы. Приемники излучения. Конфигурация приборов с энергетической дисперсией. Рентгенофлуоресцентные спектрометры полного отражения.

#### **III. Качественный и количественный рентгенофлуоресцентный анализ. Основные приемы.**

Подготовка проб к рентгенофлуоресцентному анализу. Общие требования к этапу приготовления излучателей. Факторы, влияющие на величину погрешности пробоподготовки. Выбор оптимальных условий возбуждения рентгеновской флуоресценции. Факторы, влияющие на интенсивность первичного рентгеновского излучения. Выделение рентгеновского излучения с помощью фильтра. Рентгеновский фон и способы его учета. Зависимость интенсивности линий спектра флуоресценции от концентрации элементов в пробе. Характерные особенности зависимости между интенсивностью и концентрацией в рентгенофлуоресцентном анализе. Взаимные влияния элементов. Характеристика взаимных влияний элементов. Способы рентгенофлуоресцентного анализа. Прямой способ внешнего стандарта. Способ стандарта фона. Способ внутреннего стандарта. Эмпирические уравнения связи. Способ Битти-Бирси. Способ Лачанса-Трэйля. Способ Расберри-Хайнриха. Полуэмпирические уравнения связи. Способ стандартов-бинеров. Вариант способа калибровки с использованием параметра  $K_j$ . Способ теоретических поправок. Способ фундаментальных параметров. Правильность, воспроизводимость и пределы обнаружения. Практическое применение.

#### **IV. Электронно-зондовый микроанализ**

Принцип и возможности метода. Оборудование.

#### **V. Рентгенофазовый анализ**



Сущность метода. Уравнение Вульфа-Брэгга. Приборы и оборудование. Качественный и количественный анализ.

### Лабораторный практикум

№п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ
1	1	Качественный анализ сплава методом фундаментальных параметров.
2	2	Определение железа, кобальта и никеля в сплаве методом фундаментальных параметров.
3	2	Определение элементного состава минералов методом фундаментальных параметров.
4	3	Определение мышьяка в песке методом градуировочного графика.
5	3	Определение кремния, алюминия, магния, кальция и железа в сухих строительных смесях методом градуировочного графика.
6	3	Определение железа в водных растворах.
7	3	Установление толщины металлического покрытия

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов в процессе изучения дисциплины «Рентгеновские методы анализа» предполагает чтение учебной и научной литературы, подготовка к лабораторным занятиям. По итогам изучения дисциплины предусмотрен экзамен.

Основу для самостоятельной подготовки студентов составляет **учебное пособие:**

Нипрук О.В. Рентгенофлуоресцентная спектрометрия: Учебное пособие. Н.Новгород, 2013. 91 с.

**5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:**

### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	Не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала.  Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

При изучении дисциплины «Рентгеновские методы анализа» студенты получают следующие знания, умения и владения в рамках освоения компетенций **ПК-1-н; ПК-2-н; ПК-3-н; ПК-1-т:**

**ПК-1-н-1.** Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий.

**ПК-1-н-2.** Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов.

**ПК-2-н-1.** Проводит поиск специализированной информации в информационных базах данных.

**ПК-2-н-2.** Анализирует и обобщает результаты поиска по тематике проекта в области неорганической химии и/или смежных с химией наук.

**ПК-3-н-1.** Систематизирует информацию, полученную в ходе НИР, анализирует ее и сопоставляет с литературными данными.

**ПК-3-н-2.** Определяет возможные направления развития работ и перспективы практического применения полученных результатов.

**ПК-1-т-1.** Готовит детальные планы отдельных стадий прикладных НИР.

**ПК-1-т-2.** Готовит документацию по подготовке, проведению и результатам прикладных НИР.

**ПК-1-т-3.** Предлагает технические средства и методы испытаний (из набора имеющихся) для решения поставленных задач в рамках прикладных НИР.

**ПК-1-т-4.** Проводит испытания инновационной продукции.

Промежуточный контроль качества усвоения студентами содержания дисциплины проводится в виде комплексного экзамена, на котором определяется:

- уровень усвоения студентами основного учебного материала по дисциплине;
- уровень понимания студентами изученного материала;
- способности студентов использовать полученные знания для решения конкретных задач.

Экзамен в 8 семестре проводится в устной форме в виде ответа обучающегося на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой) и последующим собеседованием в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ

**Для проведения промежуточного контроля сформированности компетенции используется ответ по билету на экзамене.**

#### **Шкала оценки при промежуточной аттестации**

<b>Оценка</b>		<b>Уровень подготовки</b>
зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не

		ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

## 5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

### 5.2.1 Контрольные вопросы

Вопросы	Код формируемой компетенции
1. Характеристика рентгеновского излучения. 2. Возникновение рентгеновского излучения. 3. Тормозное рентгеновское излучение. Механизм возникновения. 4. Характеристическое излучение. Механизм возникновения. 5. Закон Мозли. 6. Схема рентгеновских уровней. Правила отбора. 7. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. 8. Ослабление интенсивности рентгеновского излучения 9. Рассеяние рентгеновского излучения. 10. Когерентное и некогерентное рассеяние рентгеновского излучения. 11. Интерференция и дифракция рентгеновских лучей. 12. Уравнение Брэгга-Вульфа. 13. Флуоресценция и Оже-переходы. 14. Понятие выхода флуоресценции. 15. Интенсивность линий спектра флуоресценции. 16. Источники рентгеновского излучения. 17. Рентгеновские трубки. 18. Рентгеновская трубка с боковым окном. 19. Рентгеновская трубка с торцевым окном.	ПК-2-н., ПК-1-т.

20. Радиоактивные изотопы.	
21. Рентгенофлуоресцентные спектрометры.	
22. Принцип работы спектрометров с волновой дисперсией.	
23. Приемники излучения в спектрометрах с волновой дисперсией.	
24. Конфигурация спектрометров с волновой дисперсией.	
25. Принцип работы спектрометров с энергетической дисперсией.	
26. Приемники излучения в спектрометрах с энергетической дисперсией.	
27. Конфигурация приборов с энергетической дисперсией.	
28. Рентгенофлуоресцентные спектрометры полного отражения.	
29. Подготовка проб к рентгенофлуоресцентному анализу.	
30. Общие требования к этапу приготовления излучателей.	
31. Факторы, влияющие на величину погрешности пробоподготовки.	
32. Выбор оптимальных условий возбуждения рентгеновской флуоресценции.	
33. Факторы, влияющие на интенсивность первичного рентгеновского излучения.	
34. Выделение рентгеновского излучения с помощью фильтра.	
35. Рентгеновский фон и способы его учета.	
36. Зависимость интенсивности линий спектра флуоресценции от концентрации элементов в пробе.	
37. Характерные особенности зависимости между интенсивностью и концентрацией в рентгенофлуоресцентном анализе.	
38. Взаимные влияния элементов в методе РФС.	ПК-3-н., ПК-1-т.
39. Характеристика взаимных влияний элементов.	
40. Физические процессы, лежащие в основе взаимного влияния элементов на определение друг друга.	
41. Матричные эффекты.	
42. Виды градуировочных графиков.	
43. Способы устранения матричных эффектов.	
44. Способы рентгенофлуоресцентного анализа.	ПК-1-н., ПК-1-т.
45. Прямой способ внешнего стандарта.	
46. Способ стандарта фона.	
47. Способ внутреннего стандарта.	
48. Эмпирические уравнения связи.	
49. Способ Битти-Бирси.	
50. Способ Лачанса-Трэйля.	
51. Способ Расберри-Хайнриха.	
52. Полуэмпирические уравнения связи.	
53. Способ стандартов-бинаров.	
54. Вариант способа калибровки с использованием параметра $K_j$ .	
55. Способ теоретических поправок.	
56. Способ фундаментальных параметров.	
57. Правильность, воспроизводимость и пределы обнаружения.	

58. Практическое применение РФА.	
59. Электронно-зондовый микроанализ. Сущность метода и его возможности.	
60. Рентгенофазовый анализ. Оборудование. Качественный и количественный анализ.	

### 5.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции

#### ***Примерные задания для оценки сформированности компетенций ПК-1-н. и ПК-1-м:***

1. Подготовка проб к рентгенофлуоресцентному анализу. Общие требования к этапу приготовления излучателей. Факторы, влияющие на величину погрешности пробоподготовки.
2. Выбор оптимальных условий возбуждения рентгеновской флуоресценции. Факторы, влияющие на интенсивность первичного рентгеновского излучения. Выделение рентгеновского излучения с помощью фильтра. Рентгеновский фон и способы его учета.
3. Зависимость интенсивности линий спектра флуоресценции от концентрации элементов в пробе. Характерные особенности зависимости между интенсивностью и концентрацией в рентгенофлуоресцентном анализе.
4. Эмпирические уравнения связи. Способ Битти-Бирси. Способ Лачанса-Трэйля. Способ Расберри-Хайнриха. Полуэмпирические уравнения связи. Способ стандартов-бинаров. Вариант способа калибровки с использованием параметра  $K_j$ .
5. Способ теоретических поправок. Способ фундаментальных параметров.
6. Правильность, воспроизводимость и пределы обнаружения в методе РФС.
7. Практическое применение метода рентгенофлуоресцентной спектрометрии.

#### ***Примерные задания для оценки сформированности компетенций ПК-2-н. и ПК-1-м:***

8. Характеристика рентгеновского излучения. Возникновение рентгеновского излучения. Тормозное рентгеновское излучение. Характеристическое излучение. Механизм возникновения.
9. Закон Мозли. Схема рентгеновских уровней. Правила отбора. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. Ослабление интенсивности рентгеновского излучения.
10. Рассеяние рентгеновского излучения Когерентное и некогерентное рассеяние. Интерференция и дифракция. Уравнение Брэгга-Вульфа.
11. Флуоресценция и Оже-переходы. Выход флуоресценции. Интенсивность линий спектра флуоресценции.
12. Источники рентгеновского излучения. Рентгеновские трубки. Рентгеновская трубка с боковым окном. Рентгеновская трубка с торцевым окном. Радиоактивные изотопы.
13. Рентгенофлуоресцентные спектрометры. Спектрометры с волновой дисперсией. Принцип работы. Приемники излучения. Конфигурация спектрометров с волновой дисперсией.
14. Спектрометры с энергетической дисперсией. Принцип работы. Приемники излучения. Конфигурация приборов с энергетической дисперсией. Рентгенофлуоресцентные спектрометры полного отражения.

#### ***Примерные задания для оценки сформированности компетенции ПК-3-н. и ПК-1-м:***

15. Взаимные влияния элементов. Характеристика взаимных влияний элементов. Способы рентгенофлуоресцентного анализа. Прямой способ внешнего стандарта. Способ стандарта фона. Способ внутреннего стандарта.
16. Физические процессы, лежащие в основе взаимного влияния элементов на определение друг друга. Матричные эффекты. Виды градуировочных графиков. Способы устранения матричных эффектов.

## **6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Нипрук О.В. Рентгенофлуоресцентная спектрометрия: Учебное пособие. – Н.Новгород, 2013. – 91 с.
2. Отто М. Современные методы аналитической химии: учебник для студ. хим. фак. вузов в 2 т. Т. 1. – М.: Техносфера, 2003. – С. 208-224.

### **б) дополнительная литература:**

1. Jenkins R. X-Ray fluorescence spectrometry. – New York: John Wiley & Sons, 1999. – 208 p.
2. X-ray spectrometry / edited by H.K. Herglotz, L.R. Birks. V. 2. – New York: Marcel Dekker, inc, 1978. – 518 p.
3. Введение в рентгенофлуоресцентный анализ. –Bruker AXS, 2007. 50 с.
4. Аналитическая химия. Проблемы и подходы: учебник для студ. хим. фак. вузов в 2 т. Т. 2 / Ред. Р. Кельнер, Ж.-М. Мерме, М. Отто, Г.М. Видмер. – М.: Мир, 2004. С. 57-91.
5. Ревенко А.Г. Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ природных материалов. – Новосибирск: «Наука», 1994. –264 с.
6. Мазалов Л.Н. Рентгеновские спектры и химическая связь. □ Новосибирск: «Наука», 1982. –111 с.
7. Лосев Н.В., Смагунова А.Н. Основы рентгеноспектрально флуоресцентного анализа. М.: «Химия», 1982. – 208 с.

### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)**

1. Черноруков Н.Г., Нипрук О.В. Теория и практика рентгенофлуоресцентного анализа. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет , 2012. 57 с.

[http://www.unn.ru/books/met\\_files/RFA.pdf](http://www.unn.ru/books/met_files/RFA.pdf)

2. Черноруков Н.Г., Нипрук О.В. Основы рентгенофлуоресцентного анализа. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет , 2007. 75 с.

<http://www.unn.ru/e-library/aids.html?posdate=2007&pscience=4>

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии на сайтах издательств «Юрайт» (<http://www.urait.ru/>) и электронных библиотечных системах ННГУ

(<http://www.lib.unn.ru/ebs.html>), доступ к которым предоставлен студентам. Сайты издательств содержат произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонды библиотек сформированы с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов.

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой. Лекционные аудитории (308 корп. 5, 328 корп. 2) оснащены оборудованием и техническими средствами обучения: переносным мультимедийным проектором, ноутбуком и выходом в сеть Интернет, доской и мелом (для разбора частных вопросов и детализации теоретических аспектов дисциплины, а также решения практических задач). Аудитория для проведения семинарских занятий (125 корп. 5) также оснащена необходимым оборудованием: стационарным мультимедийным проектором, ноутбуком с выходом в сеть Интернет, доской и мелом.

Наименование специальных* помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа: пр. Гагарина, 23, корп. 2, ауд. 328	Комплект специализированной мебели, Доска для мела ДК 11 Э 3012 (3 элемента); технические средства: проекционный экран ScreenMedia Goldview настенный, переносной мультимедийный проектор, ноутбук Lenovo G770	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microsoft Windows 7 Home Basic OA CIS and GE, лицензия OEM</li> <li>• Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian Academic Open 1 License No Level, лицензия №60411808, дата выдачи 24.05.2012 г.</li> </ul>
Помещение для самостоятельной работы пр. Гагарина, 23, корп. 1, ауд. 205	Комплект специализированной мебели, персональные компьютеры, имеется выход в интернет	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microsoft Windows Professional 10, Лицензия № 67001233, дата выдачи 09.06.2016 г.</li> <li>• Microsoft Office MS Office Standard 2013; серверная лицензия MS SQL Server Лицензия № 65097676, дата выдачи 23.04.2015 г.</li> </ul>
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа пр. Гагарина, 23, корп. 5, ауд. 308	Комплект специализированной мебели; технические средства: переносной проекционный экран DRAPER DIPLOMAT 60x60 MW BlackCase, мультимедийный проектор BenQ MP-512 DLP, ноутбук Acer Extensa 5620Z T2390	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Microsoft Windows XP Professional Russian Upgrade Academic Open No Level, Лицензия № 15988873, дата выдачи 15.01.2003 г.</li> <li>• Microsoft Office 2007 Russian Academic Open No Level Лицензия № 43178981, дата выдачи 12.12.2007 г.</li> </ul>

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду (205 корп. 1).

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО ННГУ. Приказ ННГУ от 13.05.2020г. № 275-ОД «О введении в действие образовательного стандарта высшего



образования – специалитет по специальности 04.05.01 «Фундаментальная и прикладная химия»

Автор (ы)

д.х.н., проф. \_\_\_\_\_ О.В. Нипрук

Рецензент (ы)

д.х.н., проф. \_\_\_\_\_ В.А. Крылов

Заведующий кафедрой,

д.х.н., проф. \_\_\_\_\_ А.В. Князев

Программа одобрена на заседании методической комиссии химического факультета

от \_\_\_\_ 20\_\_ года