

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 № 6 от 31 мая 2023 г.

Рабочая программа дисциплины

ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

бакалавриат

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

18.03.01 «Химическая технология»

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Химическая технология веществ и материалов

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород

2023 год набора

Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Физические методы исследования» относится к обязательной части дисциплин (Б1.О.03.11), осваивается студентами очной формы обучения на третьем году обучения в пятом семестре и очно-заочной формы обучения в шестом семестре.

Для освоения данной дисциплины студентам необходимо обладать базовыми знаниями по следующим разделам химии: строение вещества, неорганическая химия, органическая химия, физическая химия, квантовая химия, а также владеть аппаратом математического анализа и физики в рамках преподаваемых на 1 и 2 курсе дисциплин.

Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее при дальнейшей практической деятельности в рамках выполнения квалификационных работ.

Курс отвечает основным требованиям в плане решения задачи по совершенствованию обучения в высшей школе. Этот курс дает широкие знания фундаментальных положений науки, которые необходимы как для непосредственной работы по специальности, так и для понимания главных направлений химической науки и ее развития.

Целью дисциплины является знакомство с концептуальной базой и экспериментальными методами исследования современной химии, повышение эффективности химических исследований на пути их математизации и автоматизации.

Задачами дисциплины являются изучение теоретических и экспериментальных основ физических методов исследования, решение основных задач химии по идентификации и установлению строения веществ, динамики их превращений и изучению связи физических и химических свойств веществ со структурой, хорошо ориентироваться в методах исследования, знать их возможности, сильные и слабые стороны, уметь применять их к конкретным объектам; уметь предсказывать реальные физические и химические свойства веществ на основе экспериментальных данных о взаимосвязях между составом, структурой вещества с одной стороны, и физическими и химическими свойствами, с другой, а также их теоретическом осмыслении и обобщении. В методическом плане курс «Физические методы исследования» имеет задачу активизировать знания студентов по физике и математике, а также закрепить знания по пройденным разделам химии.

1. 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* (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине**	

<p>ОПК-3</p> <p>Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием с использованием современной вычислительной техники</p>	<p>ОПК-3.1.</p> <p>Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности</p>	<p><i>Владеть навыками построения теоретических и эмпирических моделей при решении задач химической направленности</i></p> <p><i>Уметь применять математические модели для обработки результатов изучения свойств процессов</i></p> <p><i>Знать современные подходы к обработке результатов эксперимента</i></p>	<p>Устный опрос, контрольная работа, экзамен</p>
	<p>ОПК-3.2</p> <p>Использует стандартное программное обеспечение при решении задач химической направленности</p>	<p><i>Владеть навыками работы с программным обеспечением современных аналитических приборов ведущих мировых производителей</i></p> <p><i>Уметь получать и обрабатывать результаты научных экспериментов с помощью современного программного обеспечения</i></p> <p><i>Знать современные подходы к статистической обработке результатов эксперимента и их стандартизированному представлению</i></p>	
<p>ОПК-4</p> <p>Способен планировать работы химической направленности, обрабатывать и интерпретировать полученные результаты с использованием теоретических знаний и практических навыков решения математических и физических задач</p>	<p>ОПК-4.1.</p> <p>Использует базовые знания в области математики и физики при планировании работ химической направленности</p>	<p><i>Владеть методиками анализа веществ с использованием современного аналитического оборудования в рамках методов ядерного магнитного резонанса, электронного парамагнитного резонанса, колебательной, микроволновой и электронной спектроскопий, рентгеновской дифракции и масс-спектрометрии</i></p> <p><i>Уметь выбирать метод исследования для получения необходимой информации при характеристике веществ</i></p> <p><i>Знать основные законы физики и химии, необходимые для корректной постановки и проведения эксперимента по изучению свойств химических соединений с помощью инструментальных методов</i></p>	<p>Устный опрос, контрольная работа, экзамен</p>
	<p>ОПК-4.2.</p> <p>Обрабатывает данные с использованием стандартных способов аппроксимации численных характеристик</p>	<p><i>Владеть навыками обработки данных с последующей интерпретацией полученных результатов</i></p> <p><i>Уметь исследовать числовые характеристики и качественные свойства объекта при помощи аппроксимации</i></p> <p><i>Знать фундаментальные основы математики и физики для решения задач</i></p>	

	ОПК-4.3. Интерпретирует результаты химических наблюдений с использованием физических законов и представлений	<i>Владеть физическими основами методов исследования для интерпретации полученных в результате химического эксперимента данных</i> <i>Уметь применять знания в области физики, математики и химии для описания наблюдаемых явлений</i> <i>Знать рамки применимости теоретических знаний и практических навыков для решения тех или иных исследовательских задач</i>	
ОПК-5 Способен использовать существующие программные продукты и информационные базы данных для решения задач профессиональной деятельности с учетом основных требований информационной безопасности	ОПК-5.1 Использует современные IT- технологии при сборе, анализе, обработке и представлении информации химического профиля	<i>Владеть навыками работы с базами данных при изучении химических веществ</i> <i>Уметь осуществлять корректный поиск требуемой информации при интерпретации полученных результатов экспериментов</i> <i>Знать основные требования информационной безопасности при сборе, анализе, обработке и представлении информации</i>	Устный опрос, контрольная работа, экзамен

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная форма обучения	очно-заочная форма обучения
Общая трудоемкость	5	5
Часов по учебному плану	180	180
в том числе		
аудиторные занятия (контактная работа):		
- занятия лекционного типа	64	32
- занятия семинарского типа	64	16
- контроль самостоятельной и иной формы работы студентов	3	2
самостоятельная работа	13	94
Промежуточная аттестация – экзамен, зачет (контроль)	36	36

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	Всего	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	Очная	Очно-заочная	
Очная										Очно-заочная
Общая характеристика и классификация методов исследования	11	12	5	2	5	2	10	4	1	8
Метод ядерного магнитного резонанса	15	14	6	3	7	2	13	5	2	9
Метод Электронного Парамагнитного резонанса	14	14	6	3	7	2	13	5	1	9
Методы квадрупольного и гамма - резонанса ядер	13	13	6	3	6	1	12	4	1	9
Микроволновая спектроскопия	13	13	6	3	6	1	12	4	1	9
Колебательная спектроскопия	13	13	6	3	6	2	12	5	1	8
Методы электронной УФ-спектроскопии	12	12	6	3	5	1	11	4	1	8
Дифракционные методы	13	14	6	3	6	2	12	5	1	9
Методы масс-спектрометрии	12	12	6	3	5	1	11	4	1	8
Методы рентгеновской и фотоэлектронной (ФЭС) спектроскопии	13	12	6	3	5	1	11	4	2	8
Методы исследования оптически активных веществ	15	15	5	3	6	1	14*	6*	1	9
Всего	144	144	64	32	64	16	131	50	13	94
Контроль	36	36								
Итого	180	180								

*-с учетом КСРИФ 3 часа у очной формы и 2 часа у очно-заочной формы обучения

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа.

Промежуточная аттестация проходит в виде комплексного экзамена в устной форме в виде ответа обучающегося на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой), решении практических задач и последующим собеседованием в рамках тематики курса. Собеседование проводится в форме вопросов, на которые студент должен дать краткий ответ

3.2.1. Содержание разделов дисциплины

Общая характеристика и классификация методов исследования

Физические свойства атомов и молекул. Методы определения физических свойств. Прямая и обратная задачи. Понятие корректно и некорректно поставленных задач.

Спектр электромагнитного излучения. Взаимодействие излучения с веществом: поглощение, испускание, рассеяние. Спектроскопические и дифракционные методы. Соотношение амплитуд рассеяния в дифракционных методах. Области применения рентгенографии, электронографии и нейтронографии в химии. Энергетические характеристики различных методов спектроскопии. Способы выражения спектра электромагнитного излучения.

Чувствительность и разрешающая способность методов. Характеристическое время методов. Возможности методов и области их применения. Зависимость результатов одних методов от наличия данных других методов. Интеграция физических и химических методов исследования.

Метод ядерного магнитного резонанса

Физические основы явлений ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Снятие вырождения спиновых состояний в постоянном магнитном поле. Спин ядра. Ядерный g-фактор. Ядерный магнетон. Относительная чувствительность ядер к протонам. Условие ЯМР. Заселённость уровней энергии, насыщение, релаксационные процессы и ширина сигнала.

Химический сдвиг и спин-спиновое расщепление в спектрах ЯМР. Константа экранирования ядра. Спектр низкого разрешения. Абсолютный, истинный и относительный химические сдвиги, их определение и использование в химии. Шкалы химических сдвигов в протонном магнитном резонансе. Правила отбора. Основные параметры линии спектра (ширина, форма, амплитудная и интегральная интенсивности, резонансная частота). Спин-спиновое взаимодействие ядер и его природа. Мультиплетная структура спектров ЯМР, распределение интенсивности, правило сумм. Константы спин-спинового взаимодействия.

Анализ спектров ЯМР первого и не первого порядков. Приложение спектров ЯМР в химии. Протонный магнитный резонанс. ЯМР на углероде - ^{13}C и других ядрах. Метод двойного резонанса. Изучение быстропротекающих процессов (химического обмена ядер, внутреннего вращения). Химическая поляризация ядер. Структурный анализ.

Техника и методика эксперимента ЯМР. Блок-схема спектрометра ЯМР. Типы спектрометров. Фурье-спектроскопия и двумерная спектроскопия ЯМР. Зависимость спектров ЯМР от условий съемки (растворителей, однородности поля, скорости развертки и т.д.). Характер образцов. Достоинства и ограничения метода ЯМР и сравнение его с другими методами.

Метод электронного парамагнитного резонанса

Физические основы явления электронного парамагнитного (спинового) резонанса (ЭПР). Поведение электрона в магнитном поле. Спин электрона. Условие ЭПР. Же-фактор и его значение. Магнетон Бора. Нормальный и аномальный эффекты Зеемана. Спин-решеточная (продольная) и спин-спиновая (поперечная) релаксации. Тонкая структура спектров ЭПР. Крамерсовское расщепление в отсутствие внешнего магнитного поля, в нулевом поле, для анизотропных систем. Правила отбора. Эффективное квантовое число, g - фактор ионов переходных металлов. Примеры.

Структурные исследования в методе ЭПР. Сверхтонкое расщепление сигнала ЭПР при взаимодействии с одним или несколькими ядрами. Константы сверхтонкого взаимодействия (СТВ). Мультиплетность и распределение интенсивности спектра ЭПР. Треугольник Паскаля. Основные параметры линии спектра ЭПР (резонансное значение напряженности магнитного поля и g - фактор, интенсивность, ширина и форма линии). Механизмы СТВ. Вид спектра ЭПР для изотропных и анизотропных систем.

Применение метода ЭПР в химии. Изучение механизмов химических реакций. Химическая поляризация электронов. Стабилизация и определение свободных радикалов и других парамагнитных центров. Органические и неорганические радикалы, ион-радикалы, молекулы в триплетном состоянии, комплексы переходных металлов, F- и V- центры. Методы спиновых меток и спиновых ловушек. Блок - схема ЭПР - спектрометра. Особенности эксперимента, достоинства и недостатки метода.

Методы квадрупольного и гамма - резонанса ядер

Метод ядерного квадрупольного резонанса.

Принципы метода ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР). Ядерный квадруполь, его размерность и симметрия. Градиент электрического поля и его взаимодействие с ядром. Константы квадрупольного взаимодействия. Квадрупольные уровни энергии при аксиальной симметрии поля. Параметр асимметрии поля и уровни энергии.

Приложение метода ЯКР в химии и его возможности, интенсивность, ширина, частота и мультиплетность переходов в ЯКР. Химическая и кристаллографическая неэквивалентности ядерных квадрупольей. Зеемановское расщепление в ЯКР. Незаконченность теории, особенность эксперимента. Примеры.

Метод ядерного гамма - резонанса.

Эффект Мессбауэра и условия его наблюдения. Ядерная изомерия. Энергия отдачи и доплеровское уширение. Энергия испускаемых и поглощаемых гамма-квантов. Получение мессбауэровских спектров и их интерпретация в химии. Влияние химического окружения ядер на эффект Мессбауэра. Химический (изомерный) сдвиг. Квадрупольные и магнитные взаимодействия. Возможности применения эффекта Мессбауэра в химии и его ограничения. Квадрупольное расщепление и изомерные сдвиги для высоко - и низкоспиновых комплексов железа. Техника и особенности эксперимента.

Микроволновая спектроскопия.

Полная энергия молекулы как сумма электронной, колебательной и вращательной составляющих. Приближение Борна-Оппенгеймера. Вращательные состояния двухатомной молекулы согласно квантовой механике в приближении жесткого и нежесткого (колеблющегося) ротатора. Постоянные колебательно-вращательного взаимодействия и центробежного растяжения. Системы вращательных уровней энергии и их заселенность. Функция распределения. Энергетические переходы.

Взаимодействие полярной молекулы с электростатическим полем. Поляризация диэлектрика. Ориентационная поляризация и ее связь с диэлектрической проницаемостью и дипольным моментом молекул. Эффект Штарка. Средний дипольный момент по всем уровням вращательной энергии. Определение дипольного момента в газах (первый метод Дебая) и растворах (второй метод Дебая). Условия измерений дипольных моментов молекул. Применение данных по дипольным моментам молекул для определения их симметрии и конформации.

Методы наблюдения вращательных спектров. Спектры поглощения, испускания и рассеивания. Основные характеристики и способы выражения спектра электромагнитного излучения. Условия получения микроволнового спектра полярными молекулами. Область частот. Матричный элемент дипольного момента перехода. Правила отбора. Интенсивность линий в спектрах. Барьер вращения метильной группы, определяемый из микроволновых спектров. Приближение большого барьера вращения. Определение геометрических параметров молекул из микроволновых спектров. Метод изотопического замещения. Физический смысл параметров: r_e , r_0 , r_s , r_z , r_g . Примеры. Вращательные спектры многоатомных молекул. Линейные молекулы. Молекулы типа симметричного, сферического и асимметричного волчков. Система вращательных уровней энергии многоатомных молекул. Определение дипольных моментов молекул из микроволновых спектров.

Вращательные спектры комбинационного рассеяния (КР) двухатомных и многоатомных молекул. Схема эксперимента. Использование лазера. Условия получения и вид спектра. Правила отбора. Определение геометрических параметров неполярных молекул. Ограничение метода. Схемы радиоспектрометров. Использование Фурье-спектрометров для исследования ван-дер-ваальсовых молекул и малостабильных молекул.

Колебательная спектроскопия.

Колебательные состояния молекул согласно классической теории. Колебательные степени свободы. Колебания двухатомной молекулы. Функция гармонического осциллятора. Ангармонический осциллятор. Потенциал Морзе. Силовая постоянная молекулы. Частота колебаний. Уравнения движения ядер в двух- и многоатомных молекулах. Нормальные координаты и колебания. Формы и частоты нормальных колебаний. Валентные, деформационные плоскостные и внеплоскостные, маятниковые, крутильные, веерные, пульсационные, зонтичные, ножничные и другие виды нормальных колебаний. Симметрия нормальных колебаний, координаты симметрии.

Квантово-механический подход к описанию колебательных состояний молекул. Колебательная волновая функция. Уровни колебательной энергии двух- и многоатомных молекул в приближении гармонического и ангармонического осцилляторов. Коэффициент ан-

гармоничности. Энергия диссоциации двухатомной молекулы. Фундаментальные, обертоновые, составные и разностные частоты. Резонанс Ферми. Формы нормальных колебаний и система колебательных уровней энергии молекул H_2O и CO_2 .

Методы наблюдения колебательных спектров. Спектры испускания, поглощения (ИК-спектры) и комбинационного рассеяния (КР-спектры). Правила отбора для колебательных и колебательно-вращательных спектров. Интенсивность линий в спектрах. Вращательная структура в колебательных спектрах ИК поглощения (Р- и R- ветви) и в спектрах КР (О-, Q- и S- ветви). Вид спектров. Интенсивность линий в спектрах.

Анализ нормальных колебаний по экспериментальным данным. Сопоставление ИК- и КР-спектров и выводы о симметрии молекулы. Правило исключения. Использование контуров вращательной структуры ИК-полос поглощения газов для интерпретации спектра. Характеристичность нормальных колебаний. Концепция групповых частот и её недостатки.

Применение методов колебательной спектроскопии для количественного и качественного анализа веществ и другие применения в химии. Органические и неорганические вещества. Полимеры. Проблема окружающей среды.

Техника и методики ИК и КР спектроскопии. Выбор оптимальных условий получения ИК спектров. Методы подготовки образцов. Прозрачные материалы. Аппаратура ИК спектроскопии. Метод нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) для «неудобных» объектов (смолы, пищевые продукты, сырая резина и т.п.). Аппаратура спектроскопии КР. Лазерные источники возбуждения. Сравнение методов ИК и КР спектроскопии, их достоинства и недостатки.

Методы электронной УФ-спектроскопии

Теория молекулярных орбиталей (МО) как основа интерпретации электронных спектров. МО двухатомных молекул. Молекулярные термы и принципы их классификации. Характеристики электронных состояний многоатомных молекул: энергия, волновые функции, мультиплетность, время жизни. Симметрия и номенклатура электронных состояний молекул. Энергетические переходы и возникновение спектров поглощения органических молекул. Квантово-механическая вероятность перехода и сила осциллятора. Дипольный момент перехода и коэффициент Эйнштейна B_{12} . Классификация переходов по Малликену и Каша. Переходы классов $N \rightarrow V$, $N \rightarrow Q$ и $N \rightarrow R$.

Абсорбционная спектроскопия в видимой и ультрафиолетовой (УФ) областях, как метод исследования электронного строения молекул. Правила отбора и нарушения запрета. Принцип Франка-Кондона. Законы поглощения света Бугера-Ламберта-Бера. Коэффициент экстинкции. Прозрачные растворители. Способы изображения, условия получения и основные характеристики электронного спектра.

Эмиссионная ультрафиолетовая (УФ) спектроскопия. Дезактивация электронной энергии. Спектры флуоресценции и фосфоресценции. Определение молекулярных постоянных. Действие лазера.

Применение электронных спектров в качественном, структурном и количественном анализе. Концепция хромофоров и ауксохромов. О специфике электронных спектров по-

глощения различных классов соединений. Отнесение электронных переходов. Критерии отнесения полос к различным переходам. Спектры сопряженных систем. Классификация полос поглощения по Бураве и Брауде: К-, R-, В- и Е- полосы. Интенсивность полос различных переходов. Использование изобестической точки в количественном анализе.

Техника и методики эмиссионной и абсорбционной спектроскопии в видимой и УФ областях, аппаратура, исследуемые образцы, чувствительность методов.

Дифракционные методы.

Рентгеновская кристаллография.

Кристаллы и их основные свойства. Симметрия кристаллов. Группы трансляций. Кристаллические классы, системы, сингонии, категории. Символы Шенфлиса и Германа-Могена. Элементарная ячейка. Типы решеток Бравэ. Симметрия решеток. Индексы узла, ряда, плоскости. Обратная решетка. Зависимость межплоскостных расстояний от симметрии и параметров решетки кристалла. Пространственная решетка и структура кристаллов. Трансляционные операции симметрии. Элементы симметричности и их комбинации с трансляциями. Пространственные группы симметрии и их символика. Описание и систематика кристаллических структур. Важнейшие структурные типы простых веществ, бинарных и тернарных соединений. Кристаллохимия синдикатов. Органическая кристаллохимия. Структуры полимеров и биополимеров. Описание структур в терминах шаровых упаковок и кладок. Полиэдрический метод изображения структур. Координационные, цепочечные, островные, слоистые и каркасные структуры. Структуры с неоднородными фрагментами. Структурные классы. Структуры со статистической и неполной упорядоченностью. Морфотропия, изоморфизм, полиморфизм, структурная гомология и политипия.

Рентгеноструктурный анализ - основной экспериментальный метод исследования кристаллов. Получение и взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Характеристическое и "белое" излучение. Селективные фильтры. Методы регистрации рентгеновских лучей. Основы теории рассеяния рентгеновских лучей. Атомная и структурная амплитуда рассеяния. Условия Лауэ. Уравнение Брэгга-Вульфа. Три метода рентгенографии: метод Лауэ, метод вращения, метод порошка. Рентгенофазовый анализ.

Основные этапы анализа структуры кристалла. Определение параметров решетки. Индицирование рентгенограмм кристаллов высшей и средней категорий. Индицирование методом подбора изоструктурного соединения. Определение симметрии кристаллической структуры. Формула электронной плотности (ряд Фурье). Проблема начальных фаз. Метод проб и ошибок. Фактор расходимости. Функция Паттерсона и метод тяжелого атома. Статистические прямые методы. Уточнение структуры. Исследование деталей распределения электронной плотности. Деформационная электронная плотность. Систематические и случайные ошибки. Автоматизация рентгеноструктурного анализа. Число формульных единиц и рентгеновская плотность. Параметр Де-Вольфа.

Газовая электронография.

Уравнения потока электронов для плоских и сферических волн. Рассеяние электронов на сферическом потенциале. Атомное рассеяние в борновском приближении. Рассеяние

электронов жесткой молекулой. Введение функции распределения межъядерных расстояний. Кривая радиального распределения. Рассеяние электронов двухатомной молекулой в гармоническом приближении колебания ядер. Схема эксперимента. Условия получения электронограмм. Визуальный метод. Секторный метод. Совместное использование газовой электронографии и микроволновой спектроскопии.

Дифракция нейтронов.

Основные принципы дифракции нейтронов. Источники и детекторы нейтронов. Факторы рассеяния. Различия между дифракцией нейтронов и дифракцией рентгеновских лучей. Магнитное рассеяние. Структура сесквикарбоната натрия.

Методы масс-спектрометрии.

Методы ионизации: электронный удар, фотоионизация, электростатическое неоднородное поле, химическая ионизация. Комбинированные методы. Ионный ток и сечение ионизации. Зависимость сечения ионизации от энергии ионизирующих электронов. Потенциалы появления ионов. Вертикальные и адиабатические электронные переходы. Диссоциативная ионизация. Типы ионов в масс-спектрометрах: молекулярные, осколочные, метастабильные, перегруппировочные, многозарядные и отрицательные.

Принципиальная схема масс-спектрометра Демпстера. Фокусирующее действие однородного поперечного магнитного поля. Электростатическая фокусировка. Двойная фокусировка. Разрешающая сила масс-спектрометра. Ионный источник. Система напуска. Молекулярное течение газа. Времяпролетный масс-спектрометр. Квадрупольный масс-спектрометр. Спектрометр ион-циклотронного резонанса.

Применение масс-спектрометрии в химии. Идентификация веществ. Роль разрешения, потенциалов появления, методов ионизации, метастабильных ионов в идентификации веществ. Таблицы массовых чисел. Соотношение изотопов.

Корреляция между молекулярной структурой и масс-спектрами. Измерение потенциалов появления ионов и определение потенциалов ионизации и энергии разрыва связей. Преимущества фотоионизации.

Термодинамические исследования. Определение парциальных давлений компонентов газовых смесей. Условия испарения вещества. Диффузионная ячейка Кнудсена. Связь ионного тока с парциальным давлением пара в ячейке Кнудсена. Определение теплоты сублимации веществ, теплоты реакции и константы равновесия. Проблема расшифровки масс-спектра. Метод перегрева для чистых веществ. Метод изотермического испарения для двухкомпонентных веществ.

Методы рентгеновской и фотоэлектронной (ФЭС) спектроскопии

Общие принципы. Схема возникновения фотоэлектронной эмиссии, рентгеновского поглощения, флуоресценции и Оже-электронов. Параметры и структура фотоэлектронных спектров (ФЭС). Химический сдвиг в ФЭС и его интерпретация. Интенсивность фотоэлектронных пиков. Глубина выхода фотоэлектронов. Сравнение метода ФЭС и рентгеновской

спектроскопии. Особенности Оже-спектроскопии. Техника и методика эксперимента. Рентгено-флуоресцентные спектрометры.

Применение методов фотоэлектронной спектроскопии в химии. Структурно-аналитическое применение. Количественный анализ. Теоретическое моделирование и объяснение химических сдвигов. Определение химических элементов и энергий связи электронов на внешних и внутренних оболочках атомов. Применение метода для исследования твердых тел.

Методы исследования оптически активных веществ

Дисперсия оптического вращения.

Круговая поляризация луча света. Квантово-механическое рассмотрение оптической активности и спиральная модель молекулы. Вращение плоскости поляризации плоскополяризованного света. Вращательная сила перехода. Условия вращения плоскости поляризации. Дисперсия оптического вращения. Эффект Коттона - аномальная дисперсия. Схема эксперимента. Применение к изучению строения молекул оптически активных веществ. Правило октанов.

Оптический круговой дихроизм.

Эллиптическая поляризация света. Зависимость оптического кругового дихроизма от длины волны. Схема измерений кругового дихроизма. Область применения в стереохимии и электронном строении оптически активных веществ.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов включает работу в читальном зале библиотеки, в учебных кабинетах (лабораториях) и в домашних условиях, с доступом к ресурсам Интернет для подготовки к собеседованию и контрольным работам.

К формам текущего контроля успеваемости дисциплины относится следующее:

- Собеседование
- Контрольная работа
- Проверка отчетов по темам практических занятий

Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины проходит в форме **экзамена**.

К экзамену в 5-ом семестре очной формы обучения и 6-ом семестре очно-заочной формы обучения допускаются обучающиеся, выполнившие все отчеты по темам практических занятий.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 6.2.

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

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень	Шкала оценивания сформированности компетенций
---------	---

сформированности компетенций (индикатора достижения 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

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 5 семестре для очной формы обучения и в 6-ом семестре для очно-заочной формы проводится в устной форме в виде ответа обучающегося на теоретические вопросы курса (с предварительной подготовкой), решении практических задач 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

Оценка		Уровень подготовки
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»

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

6.2.1 Контрольные вопросы

<i>вопросы</i>	<i>Код формируемой компетенции</i>
<p>Тема 1. Общая характеристика методов Классификация методов по областям электромагнитного излучения. Виды взаимодействия излучения с веществом и изображение спектров. Области применения рентгенографии, электронографии и нейтронографии в химии. Чувствительность, разрешающая способность и характеристическое время метода.</p>	ОПК-4
<p>Тема 2. Метод ядерного магнитного резонанса Физические основы явлений ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Основные параметры линии спектра ЯМР (ширина, форма, амплитудная и интегральная интенсивности, резонансная частота). Химический сдвиг и спин-спиновое расщепление в спектрах ЯМР. Мультиплетная структура спектров ЯМР, распределение интенсивности, правила отбора. Анализ спектров ЯМР первого порядка. Применение спектров ЯМР в химии. Типы спектрометров. Фурье-спектроскопия.</p>	ОПК-3
<p>Тема 3. Метод электронного парамагнитного резонанса Физические основы явления электронного парамагнитного (спинового) резонанса (ЭПР). Релаксационные процессы в спектрах ЭПР и ЯМР. Основные параметры линии спектра ЭПР. Тонкая структура спектров ЭПР анизотропных систем. Сверхтонкое расщепление сигнала ЭПР при взаимодействии с одним или несколькими ядрами. Мультиплетность и распределение интенсивности спектра ЭПР. Структурные исследования в методе ЭПР. Приложение метода ЭПР в химии. Изучение механизмов химических реакций. Блок-схема ЭПР - спектрометра. Особенности эксперимента, достоинства и недостатки метода.</p>	ОПК-3
<p>Тема 4. Методы квадрупольного и гамма - резонанса ядер Принципы метода ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР). Квадрупольные уровни энергии при аксиальной симметрии поля. Параметр асимметрии поля и уровни энергии. Интенсивность, ширина, частота и мультиплетность переходов в ЯКР. Зеемановское расщепление в ЯКР. Приложение метода ЯКР в химии и его возможности. Незаконченность теории, особенность эксперимента. Примеры. Эффект Мессбауэра и условия его наблюдения. Влияние химического окружения ядер на эффект Мессбауэра. Квадрупольное расщепление для высоко- и низкоспиновых комплексов железа. Магнитные взаимодействия в гамма-резонансной ядерной флуоресценции. Возможности применения эффекта Мессбауэра в химии и его ограничения.</p>	ОПК-3
<p>Тема 5. Микроволновая спектроскопия Взаимодействие полярной молекулы с электростатическим полем. Определение дипольного момента в газах (первый метод Дебая) и растворах (второй метод Дебая). Применение данных по дипольным моментам молекул для</p>	ОПК-3

<p>определения их симметрии и конформации. Вращательные состояния двухатомной молекулы согласно квантовой механике в приближении жесткого и нежесткого (колеблющегося) ротатора. Системы вращательных уровней энергии и их заселенность. Функция распределения. Методы наблюдения вращательных спектров. Основные характеристики и способы выражения спектра электромагнитного излучения. Матричный элемент дипольного момента перехода. Правила отбора. Интенсивность линий в спектрах. Определение геометрических параметров молекул из вращательных спектров. Вращательные спектры многоатомных молекул. Схемы радиоспектрометров.</p>	
<p>Тема 6. Колебательная спектроскопия Классический и квантовые подходы к описанию колебательных состояний молекул. Колебания двухатомной молекулы. Энергия диссоциации двухатомной молекулы. Уравнения движения ядер в двух- и многоатомных молекулах. Нормальные координаты и колебания. Формы и частоты нормальных колебаний. Уровни колебательной энергии двух- и многоатомных молекул в приближении гармонического и ангармонического осцилляторов. Формы, частоты и система колебательных уровней энергии молекул H_2O и CO_2. Методы наблюдения колебательных спектров. Правила отбора. Вид спектров. Вращательная структура в колебательных спектрах. Концепция групповых частот и её недостатки. Применение методов колебательной спектроскопии для количественного анализа веществ. Техника и методики ИК и КР спектроскопии. Выбор оптимальных условий получения ИК спектров. Сравнение методов ИК и КР спектроскопии, их достоинства и недостатки.</p>	ОПК-3
<p>Тема 7. Методы электронной УФ-спектроскопии Теория молекулярных орбиталей (МО) как основа интерпретации электронных спектров. Характеристики электронных состояний многоатомных молекул: энергия, волновые функции, мультиплетность, время жизни. Квантово-механическая вероятность перехода и сила осциллятора. Абсорбционная спектроскопия. Правила отбора и нарушения запрета. Эмиссионная (УФ) спектроскопия. Спектры флуоресценции и фосфоресценции. Законы поглощения света Бугера-Ламберта-Бера. Способы изображения, условия получения и основные характеристики электронного спектра. Применение электронных спектров в качественном, структурном и количественном анализе. Концепция хромофоров и ауксохромов. Техника и методики эмиссионной и абсорбционной спектроскопии видимой и УФ областях, аппаратура, исследуемые образцы, чувствительность методов.</p>	ОПК-3
<p>Тема 8. Дифракционные методы Рентгеновская кристаллография. Кристаллы, их основные свойства, кристаллические классы, системы,</p>	ОПК-4

<p>сингонии, категории. Типы решеток Бравэ. Пространственная решетка и структура кристаллов. Важнейшие структурные типы простых веществ, бинарных и тернарных соединений. Полиэдрический метод изображения структур. Координационные, цепочечные, островные, слоистые и каркасные структуры. Структурные классы. Структуры со статистической и неполной упорядоченностью. Морфотропия, изоморфизм, полиморфизм, структурная гомология и политипия. Получение и взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Основы теории рассеяния рентгеновских лучей. Условия Лауэ. Уравнение Брэгга-Вульфа. Рентгенофазовый анализ. Основные этапы анализа структуры кристалла. Индексирование рентгенограмм кристаллов высшей и средней категорий. Индексирование рентгенограмм методом подбора изоструктурного соединения.</p> <p>Газовая электронография. Рассеяние электронов на сферическом потенциале и жесткой молекулой. Рассеяние электронов двухатомной молекулой в гармоническом приближении колебания ядер. Схема эксперимента. Условия получения электронограмм. Совместное использование газовой электронографии и микроволновой спектроскопии.</p> <p>Дифракция нейтронов. Основные принципы дифракции нейтронов. Источники и детекторы нейтронов. Факторы рассеяния. Структура сесквикарбоната натрия.</p>	
<p>Тема 9. Методы масс-спектрометрии Методы ионизации: электронный удар, фотоионизация, электростатическое неоднородное поле, химическая ионизация. Ионный ток и сечение ионизации. Потенциалы появления ионов. Типы ионов в масс-спектрометрах: молекулярные, осколочные, метастабильные, перегруппировочные, многозарядные и отрицательные. Принципиальная схема масс-спектрометра Демпстера. Времяпролетный масс-спектрометр. Квадрупольный масс-спектрометр. Спектрометр ион-циклотронного резонанса. Применение масс-спектрометрии для идентификации веществ. Термодинамические исследования в масс-спектрометрии. Определение теплоты сублимации веществ, теплоты реакции и константы равновесия. Проблема расшифровки масс-спектра.</p>	ОПК-3
<p>Тема 10. Методы рентгеновской и фотоэлектронной (ФЭС) спектроскопии Схема возникновения фотоэлектронной эмиссии, рентгеновского поглощения, флуоресценции и Оже-электронов. Химический сдвиг в фотоэлектронной спектроскопии и его интерпретация. Параметры и структура фотоэлектронных спектров (ФЭС). Сравнение метода ФЭС и рентгеновской спектроскопии. Структурно-аналитическое применение методов фотоэлектронной спектроскопии в химии. Определение химических элементов и энергий связи электронов на внешних и внутренних оболочках атомов.</p>	ОПК-3

Техника и методика эксперимента. Рентгено-флуоресцентные спектрометры.	
<p>Тема 11. Методы исследования оптически активных веществ Дисперсия оптического вращения. Круговая поляризация луча света. Квантово-механическое рассмотрение оптической активности и спиральная модель молекулы. Эффект Коттона. Применение к изучению строения молекул оптически активных веществ. Правило октанов. Оптический круговой дихроизм. Эллиптическая поляризация света. Зависимость оптического кругового дихроизма от длины волны. Схема измерений кругового дихроизма. Область применения в стереохимии и электронном строении оптически активных веществ.</p>	ОПК-3

6.2.2. Типовые задания/задачи для оценки сформированности компетенции

Примерные вопросы (контрольная работа по теме «Графическое индицирование порошковой рентгенограммы») для оценки сформированности знаний компетенции ОПК-4, ОПК-5:

1. Рентгенограмма Мо (кубическая сингония), полученная на $\text{MoK}\alpha$ -излучении ($\lambda = 0.7107 \text{ \AA}$), содержит рефлексы на следующих углах 2θ : 18.39; 26.12; 32.13; 37.27; 41.87; 46.08°. Проиндицируйте эти рефлексы и рассчитайте параметр (a) и объем (V) элементарной ячейки (**ОПК-4**)
2. Рентгенограмма Mn_3Si (кубическая сингония), полученная на $\text{CuK}\alpha$ -излучении ($\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$), содержит рефлексы на следующих углах 2θ : 26.98; 31.25; 44.78; 53.06; 65.18; 82.56°. Проиндицируйте эти рефлексы и рассчитайте параметр (a) и объем (V) элементарной ячейки (**ОПК-5**)

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Конюхов Ю.В. и др. Методы исследования материалов и процессов [Электронный ресурс]: издание второе, исправленное и дополненное. Учебное пособие. — М.: Издательство Юрайт, 2019. 227 с.

Режим доступа: <https://biblio-online.ru/viewer/metody-issledovaniya-materialov-i-processov-439014#page/225>

2. Милантьев В.П. Атомная физика: учебник и практикум для академического бакалавриата, 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2017. 415 с. Серия: Бакалавр. Академический курс.

Режим доступа: <https://biblio-online.ru/viewer/B8A5CD56-861F-4E07-8688-3E1530FF86E3#page/2>

б) дополнительная литература:

1. Луков В.В., Щербаков И.Н. Физические методы исследования в химии. Учеб. пособие. Ростов на Дону.: Изд-во Южного федерального университета. 2016. 216 с.

Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=991794>

2. Ярышев Н.Г., Медведев Ю.Н., Токарев М.И., Бурихина А.В., Камкин Н.Н. Физические методы исследования и их практическое применение в химическом анализе. Изд-во: Прометей. 2015. 195 с.
Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>
3. Лебедев А.Т., Масс-спектрометрия в органической химии Издание второе, переработанное и дополненное [Электронный ресурс]: учебное пособие / Лебедев А.Т. - М.: Техносфера, 2015. 704 с.
Режим доступа:
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785948364094.html?SSr=230134153f1459e18b0056f>
4. Ковба Л.М. Рентгенография в неорганической химии. М.: Изд-во МГУ. 1991. 256 с.
5. Вюртц Дж., Болтон Дж. Теория и практика приложения метода ЭПР. М.: Мир. 1975. 374 с.
6. Пахомов Л.Г., Кирьянов К.В., Князев А.В. Физические методы в химических исследованиях. Учеб. пособие. Нижний Новгород.: Изд-во ННГУ. 2007. 286 с.
7. Пентин Ю.А., Вилков Л.В. Физические методы исследования в химии. М.: Мир. 2006. 683 с.
8. Пентин Ю.А., Вилков Л.В. Физические методы исследования в химии. Структурные методы и оптическая спектроскопия. М.: Высш. шк. 2002. 366 с.
9. Накамото К. ИК- спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М.: Мир. 1991. 536 с.
10. Пахомов Л.Г., Кирьянов К.В., Князев А.В. Физические методы в химических исследованиях. Учеб. пособие. Нижний Новгород.: Изд-во ННГУ. 2007. 286 с.

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

<http://www.cryst.ehu.es/>

<http://www.crystallography.net/cod/>

https://www.dmoz.org/Science/Chemistry/Nuclear_Magnetic_Resonance/

<http://webbook.nist.gov/chemistry/>

<http://nmrshiftdb.nmr.uni-koeln.de/>

http://sdbs.db.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/direct_frame_top.cgi

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.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории (лекционные с вместимостью 200 человек и семинарские с вместимостью 40 человек) 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 (140 корп. 2) 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"> • Microsoft Windows 7 Home Basic OA CIS and GE, лицензия OEM • Microsoft Office Professional Plus 2010 Russian Academic Open 1 License No Level, лицензия №60411808, дата выдачи 24.05.2012 г.
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"> • Microsoft Windows Professional 10, Лицензия № 67001233, дата выдачи 09.06.2016 г. • Microsoft Office MS Office Standard 2013; серверная лицензия MS SQL Server Лицензия № 65097676, дата выдачи 23.04.2015 г.
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"> • Microsoft Windows XP Professional Russian Upgrade Academic Open No Level, Лицензия № 15988873, дата выдачи 15.01.2003 г. • Microsoft Office 2007 Russian Academic Open No Level Лицензия № 43178981, дата выдачи 12.12.2007 г.
Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа пр. Гагарина, 23, корп. 2, ауд. 140	Комплект специализированной мебели; технические средства: мультимедийный проектор Benq MP610, ноутбук Acer Aspire 5315-301G08 , переносной проекционный экран DRAPER DIPLOMAT 60x60 MW BlackCase имеется выход в интернет	<ul style="list-style-type: none"> • Microsoft Windows XP Professional Russian Upgrade Academic Open No Level, Лицензия № 15988873, дата выдачи 15.01.2003 г. • Microsoft Office 2007 Russian Academic Open No Level Лицензия № 43178981, дата выдачи 12.12.2007 г.

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 ФГОС ВПО по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология».

Авторы

д.х.н., проф. _____ А.В. Князев

д.х.н., проф. _____ Е.В. Сулейманов

к.х.н. _____ Е.Н. Буланов

Рецензенты

к.х.н. с.н.с. ФГУП "ФНПЦ

НИИИС им. Ю.Е. Седатова" _____ А.А. Сазонов

Заведующий кафедрой,

д.х.н., проф. _____ Е.В. Сулейманов

Программа одобрена на заседании методической комиссии химического факультета
от 7 мая 2023 года, протокол № 7.