

Белорусский государственный университет

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по учебной работе  
и образовательным инновациям

О.Т. Прохоренко

«21» декабря 2023 г.

Регистрационный № УД - 12595 / уч.

## **НАНОХИМИЯ**

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальностей:**

- 1-31 05 01-01 Химия (научно-производственная деятельность)**
- 1-31 05 01-02 Химия (научно-педагогическая деятельность)**

2023 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 05 01-2021, утвержден 25.04.2022; и учебных планов специальностей № G 31-01-005, № G 31-01-006, утвержденных 25.05.2021, № G31-1-231/уч., № G31-1-232/уч., утвержденных 22.03.2022

**СОСТАВИТЕЛИ:**

С.В. Ващенко, доцент кафедры неорганической химии Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент;  
Т.Н. Воробьева, профессор кафедры неорганической химии Белорусского государственного университета, доктор химических наук, профессор;  
Л.С. Ивашкевич, доцент кафедры неорганической химии Белорусского государственного университета, кандидат химических наук, доцент.

**РЕЦЕНЗЕНТ:**

Г.П. Шевченко, ведущий научный сотрудник лаборатории нанохимии НИИ физико-химических проблем БГУ, кандидат химических наук.

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой неорганической химии  
(протокол № 5 от 04.12.2023 г.)

Научно-методическим Советом БГУ  
(протокол № 4 от 21.12.2023 г.)

Зав.кафедрой \_\_\_\_\_



Свиридов Д.В.

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Учебная дисциплина «Нанохимия» относится к дисциплинам компонента учреждения высшего образования и предполагает углубленное рассмотрение свойств вещества в наноразмерном диапазоне.

**Цель данной учебной дисциплины** – ознакомить студентов с основными достижениями нанотехнологии, нанообъектами (кластерами, наночастицами, квантовыми точками и др.), особыми свойствами вещества в наноразмерном состоянии, способами получения индивидуальных частиц, принципами объединения их в ансамбли и создания на этой основе наноструктур с определенными функциональными свойствами.

Изучение раздела «Электронная микроскопия и электронография» призвано обеспечить подготовку студентов к исследованию микроструктуры и морфологии ультрадисперсных и наноструктурных объектов разной структурной организации и химического состава. К исследуемым объектам относятся порошки, думы, аэрозоли, суспензии и коллоидные растворы, а также массивные объекты - пленки и покрытия, монокристаллы, поли- и нанокристаллические твердые тела различной химической природы.

Изучение раздела «Рентгенография» (\*для специальности 1-31 05 01-02 Химия (научно-педагогическая деятельность) знакомит студентов с основами качественного и количественного рентгеноструктурного анализа, методами расчета параметров элементарной ячейки.

Эти разделы дисциплины носят научно-прикладной характер. Студенты изучают теоретические основы взаимодействия рентгеновского излучения и быстрых электронов с веществом, знакомятся с экспериментальными методами подготовки разнообразных объектов к исследованию методами электронографии (ЭГ), просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ), \*рентгенофазового анализа (РФА), а также с принципами обработки информации, полученной этими методами на примере объектов, изучавшихся в научных исследованиях сотрудников химического факультета БГУ и НИИ физико-химических проблем БГУ.

### **Задачи данной учебной дисциплины:**

– получение студентами фундаментальных физико-химических знаний и представлений о зависимости физических и химических свойств вещества от количества атомов в его частице, об особенностях наноразмерного состояния, химических способах получения наночастиц и наноструктурированных материалов, объединения наночастиц в функциональные ансамбли;

– получение студентами фундаментальных физико-химических знаний и представлений о природе взаимодействия быстрых электронов с веществом и использование этих знаний для изучения формы, размеров и взаимного расположения частиц в материалах разной структурной организации, включая наноструктурные твердофазные объекты, золи и суспензии, а также для исследования морфологии поверхности и структурных дефектов в твердых телах;

– получение студентами фундаментальных физико-химических знаний и представлений о природе взаимодействия рентгеновского излучения с

веществом и использование этих знаний для изучения фазового состава кристаллических веществ;

– формирование у студентов синтетического научного мировоззрения, основанного на объединении знаний из различных областей науки;

– формирование навыков и умений для проведения научных исследований с применением современных инструментальных методов, включая такие этапы, как грамотная постановка задачи, подготовка объектов для проведения исследований методами \*РФА, ПЭМ и ЭГ и интерпретация полученных результатов, что важно для подготовки студентов к научной деятельности и к современным способам оценки качества продукции;

– подготовка студентов к последующему выполнению курсовых и дипломных работ, магистерских и кандидатских диссертаций.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Учебная дисциплина относится к модулю «Современные направления химии» компонента учреждения высшего образования.

Содержание данной учебной дисциплины служит основой для последующего более детального рассмотрения вопросов, освещаемых в специализированных курсах на кафедрах неорганической химии, физической химии, электрохимии.

Полученные знания, умения и навыки студенты могут использовать при выполнении курсовых, дипломных, научно-исследовательских работ, а также в будущей профессиональной деятельности. Успешное изучение данной дисциплины возможно при наличии знаний по дисциплинам «Химия твердого тела», «Физическая химия», «Неорганическая химия», «Кристаллохимия», а также таких тем как электричество и оптика.

#### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины «Нанохимия» должно обеспечить формирование следующей специализированной компетенции:

Характеризовать фундаментальные принципы организации наноструктур, основные способы получения наноматериалов, рентгенографические и электронномикроскопические методы, применяемые для установления фазового состава, морфологии, формы, размеров наночастиц.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

#### **знать:**

– фундаментальное отличие свойств вещества в наноразмерном состоянии от свойств массивного вещества, основные способы получения наночастиц металлов и полупроводников, основные принципы объединения их в ансамбли и наноструктуры, обладающие заданными свойствами и выполняющими определенные функции;

– эффекты, возникающие при уменьшении размера частиц вещества до наноразмеров, в оптических, электрических, магнитных и химических свойствах металлов и полупроводников;

– эффекты, возникающие при взаимодействии быстрых электронов с веществом, и способы их использования для получения информации о

морфологии поверхности, форме, размерах и взаимном расположении частиц вещества, об особенностях дефектной структуры веществ в твердом состоянии;

– \*эффекты, возникающие при взаимодействии рентгеновского излучения с веществом, и способы их использования для получения информации о фазовом составе и микроструктуре твердотельных объектов;

– \*принципы получения рентгенограмм, способ подготовки объектов к проведению исследований методами рентгенографии;

– принципы получения электронограмм и электронномикроскопических изображений и влияние разных факторов на их качество;

– способы подготовки объектов к проведению исследований методами электронографии и просвечивающей электронной микроскопии;

– методы интерпретации и описания полученных при исследовании результатов;

**уметь:**

– творчески применять знания из различных областей химии, физики, информатики, биологии, материаловедения для объяснения и предсказания свойств нанообъектов и наноструктур;

– выбирать подходящий метод исследования в зависимости от изучаемого объекта;

– препарировать образцы разными способами в зависимости от их природы, морфологии и задачи исследования;

– анализировать и систематизировать литературные данные, обрабатывать полученную теоретическую и экспериментальную информацию, описывать результаты проведенного исследования;

**владеть:**

– терминологией проблемного поля нанохимии;

– навыками постановки задачи и выбора метода исследования, подготовки объектов к исследованию изучаемыми методами, обработки полученной информации и представления результатов исследования.

**Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается в 6 семестре. Всего на изучение учебной дисциплины «Нанохимия» отведено 102 часа, в том числе 54 аудиторных часа.

Распределение по видам занятий следующее:

лекции – 22 часа, лабораторные занятия – 24 часа, семинарские занятия – 4 часа, управляемая самостоятельная работа – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

## **СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

### **Раздел 1. Нанотехнология как основное стратегическое направление развития человеческой деятельности в XXI веке**

Особенности нанопроблематики, ее связь с другими областями науки. Перспективы применения достижений нанотехнологии в материаловедении и производстве материалов, электронике и вычислительной технике, биологии и медицине, аэронавтике и космических исследованиях, энергетике и химической промышленности, охране окружающей среды и др.

Возможные экологические и социальные последствия применения нанотехнологий.

Проблемное поле нанохимии. Объекты изучения: кластеры, наночастицы, наноструктуры, структуры с квантово-размерным эффектом (квантовые ямы, квантовые нити, квантовые точки).

Основные методы исследования, применяемые в нанохимии.

### **Раздел 2. Особые свойства вещества в наносостоянии**

Условия и причины возникновения размерных эффектов. Отличительные особенности электронной структуры наночастиц.

Физические явления, связанные с проявлением размерных эффектов (понижение температуры плавления, электрические и магнитные свойства наночастиц, особенности оптических спектров наночастиц полупроводников и металлов).

Размерные эффекты в химии. Термодинамические и кинетические особенности поведения наночастиц. Зависимость химической активности и реакционной способности вещества от размера и формы образующих его частиц. Влияние размера частиц, формирующихся на начальной стадии химической реакции, на характер ее протекания. Фазовый размерный эффект. Роль состояния поверхности и поверхностных реакций в нанохимии.

Наноразмерный катализ. Зависимость каталитических свойств кластеров от их строения и размеров. Возможности молекулярного дизайна активных центров. Каталитические свойства наночастиц металлов и полупроводников.

### **Раздел 3. Методы получения вещества в ультрадисперсном состоянии**

Общее представление о термодинамике и кинетике процессов зародышеобразования и роста зародышей твердой фазы. Возможности управления структурой твердых тел при выращивании монокристаллов, пленок, порошков путем регулирования пересыщения (переохлаждения) в системе. Общие принципы выращивания монокристаллов, поликристаллических и эпитаксиальных пленок. Классификация методов синтеза наночастиц. Принципы снизу-вверх и сверху-вниз.

Физические методы (механические способы диспергирования, физические методы, основанные на испарении и конденсации, метод электрического взрыва проводников, метод сушки вымораживанием и др.).

Обзор наиболее распространенных химических методов синтеза твердофазных материалов. Возможности модификации этих методов для

получения наночастиц. Криохимический синтез. Твердофазное восстановление, термическое разложение, химическое восстановление в жидкой фазе. Синтез в гетерофазных системах (в микроэмульсиях, обратных мицеллах, межфазный синтез). Синтез в полимерах и дендримерах. Радиационно-химические методы (радиолиз, импульсный радиолиз, фотолиз). Использование других видов излучения (СВЧ, ультразвук) в синтезе наночастиц. Золь-гель-метод и его модификации.

Принципы получения монодисперсных частиц. Возможности управление размерами и формой наночастиц при использовании различных методов синтеза. Получение частиц типа ядро-оболочка и полых частиц.

#### **Раздел 4. Основные принципы создания ансамблей наночастиц**

Особенности формирования наноструктур различной размерности (одно-, дву-, трехмерных). Понятие о самоорганизации. Самоорганизованные монослои. Молекулярная самоорганизация и самосборка материалов. Понятие об иерархических структурах.

Простейшие способы создания ансамблей наночастиц (испарение капли и медленная дестабилизация коллоидных дисперсий). Коллоидные кристаллы. Молекулярное и ионное наслаивание. Полиэлектrolитные самоорганизованные монослои.

Самоорганизация в трехмерные структуры. Темплатный синтез. Искусственные опалы.

Использование биомолекул в синтезе наноструктур. Биомиметика.

Литографические методы создания наноструктур. Мягкая литография. Перьевая нанолитография. Молекулярно-лучевая эпитаксия.

#### **Раздел 5. Нанохимия углерода**

Фуллерены, история открытия, способы получения, физические и химические свойства, проблема стабильности малых фуллеренов. Экзо- и эндоэдральные фуллерены. Получение и основные перспективы использования производных фуллеренов.

Углеродные нанотрубки, особенности строения, однослойные и многослойные нанотрубки. Основные способы получения и очистки углеродных нанотрубок. Химические свойства. Модифицирование углеродных нанотрубок (заполнение внутренних полостей, внедрение атомов и молекул в многослойные трубки, прививка функциональных групп к поверхности трубок). Углеродные нанотрубки как матрицы. Создание ансамблей из нанотрубок.

Графен. Ультрадисперсные алмазы. Перспективы применения наноструктур на основе углерода.

#### **Раздел 6. Нанохимия металлов**

Особенности электронной структуры кластеров металлов, модели роста. Роль низкотемпературных реакций в стабилизации атомов и малых кластеров металлов. Свойства кластеров и наночастиц металлов различных групп Периодической системы.

Основные способы получения и особые свойства наноразмерных частиц металлов. Получение анизотропных частиц, частиц ядро-оболочка. Методы направленного синтеза и стабилизации наночастиц золота: синтез Туркевича-Френса, синтез Бруста-Шиффрина, полиоль - процесс. «Зеленые» методы синтеза металлических наночастиц. Ансамбли металлических наночастиц.

### **Раздел 7. Нанохимия полупроводников**

Способы получения и особые свойства полупроводниковых наночастиц. Ключевые направления развития методов синтеза наночастиц полупроводников (синтез с использованием в качестве стабилизаторов тиолов, TOP – ТОРО синтез, получение частиц ядро-оболочка; слоистых сферических частиц - систем “Quantum Dot Quantum Wells”). Особенности применения этих подходов при синтезе наночастиц полупроводников различных классов.

Элементарные полупроводники (кремний и германий).

Оксидные и халькогенидные системы. Структуры с квантово-размерными эффектами на основе халькогенидов металлов. Особенности оптического поведения. Фотонные кристаллы. Перспективы применения наночастиц полупроводников и наноструктур на их основе.

Фотокатализ и фотокаталитические системы на основе оксидов металлов.

### **Раздел 8. Исследования по нанохимической проблематике, проводимые в Республике Беларусь и за рубежом**

Современное состояние исследований по нанопроблематике. Мировые научные группы. Перспективы научных разработок в области нанотехнологий.

Основные направления исследований по нанопроблематике в Республике Беларусь. Научные организации и программы.

Получение наноразмерных частиц металлов. Наноструктурированные оксидные и гидроксидные системы. Катализаторы и газовые сенсоры, пленочные структуры, формируемые различными способами. Структуры с квантово-размерными эффектами на основе халькогенидов металлов.

### **Раздел 9. Методы исследования, применяемые в нанохимии**

#### **9.1. Фазовый анализ вещества методом электронографии**

Задачи, решаемые методом электронографии (ЭГ). Природа взаимодействия электронов с веществом. Дифракция электронов на кристаллической решетке твердофазных веществ.

Общие представления о принципе работы электронографа. Создание пучка быстрых электронов в высоком вакууме. Требования к пучку электронов. Принципы получения электронограмм на «просвет» и на «отражение».

Типы электронограмм и влияние на них структурной организации исследуемого объекта. Уравнение Вульфа-Брегга в электронографии. Определение межплоскостных расстояний.

Точность определения параметров кристаллической решетки методом ЭГ. Разрешающая способность метода. Факторы, определяющие ширину линий и



рефлексов на электронограммах; причины уширения линий. Факторы, влияющие на интенсивность линий и/или рефлексов на электронограммах

Применение ЭГ для исследования фазового состава неорганических веществ разной структурной организации (золи и суспензии, дымы и аэрозоли, порошки, тонкие пленки, монокристаллы, поликристаллические твердые тела). Пленки-подложки для препарирования ультрадисперсных объектов. Подготовка массивных объектов к ЭГ-исследованию: способы механического, химического, электро- и плазмохимического изготовления тонких слоев, получение тонких пленок методом термического испарения в вакууме.

Достоинства и недостатки ЭГ в сравнении с другими дифракционными методами исследования, их причины. Место метода ЭГ среди других методов исследования структуры и фазового состава твердых тел.

## **9.2. Просвечивающая электронная микроскопия**

Задачи, решаемые методом просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Диффузное рассеяние электронов веществом. Принципы получения изображений объектов с использованием пучка быстрых электронов в просвечивающем электронном микроскопе. Использование волновых и корпускулярных свойств электронов для получения увеличенных картин диффузного и дифракционного рассеяния. Представление об электромагнитных линзах и методе регулирования увеличения изображений.

Контраст изображения и определяющие его факторы: природа вещества (порядковый номер элементов, заряд в узлах кристаллической решетки, плотность), толщина анализируемых слоев или величина частиц.

Общие сведения об устройстве электронного микроскопа просвечивающего типа. Методы визуализации информации. Представления о разрешающей способности и влиянии на нее различных факторов. Сферическая и хроматическая абберрация электромагнитных линз. Функции диафрагм.

Препарирование образцов для исследования. Подготовка к исследованию дисперсных объектов (золи и суспензии, дымы и аэрозоли, порошки, наноструктурные объекты) методами прямого препарирования. Изготовление реплик поверхности дисперсных и массивных объектов: одно- и двухступенчатые реплики, приемы растворения исследуемого объекта и механического отслаивания реплик. Сочетание прямых и косвенных методов препарирования для исследования гетерогенных систем. Выбор методики препарирования в зависимости от природы и микроструктуры исследуемых объектов. Влияние методики препарирования на контраст изображения, разрешающую способность реплик, характер получаемой информации.

Количественная обработка результатов ПЭМ (гистограммы и кривые распределения частиц по размерам).

Место ПЭМ среди других методов исследования морфологии поверхности массивных и дисперсных объектов, дефектной структуры твердотельных материалов, формы и размеров частиц неорганических веществ в дисперсном состоянии.

### **\*9.3. Рентгеновская дифрактометрия**

Генерация рентгеновского излучения (РИ). Принцип устройства рентгеновских трубок. Тормозное и характеристическое РИ. Закон поглощения РИ. Коэффициент поглощения РИ. Монохроматизация РИ. Принцип генерации РИ в циклических ускорителях (синхротрон).

Идентификация поликристаллических фаз и качественный рентгенофазовый анализ. База данных PDF. Факторы, осложняющие проведение качественного анализа.

Методики количественного фазового анализа. Метод соотношения интенсивностей. Метод внутреннего стандарта. Метод корундовых чисел. Метод Ритвельда. Систематические ошибки количественного рентгенофазового анализа.

Микроструктура поликристаллических объектов. Размер и морфология кристаллов. Область когерентного рассеяния. Микронапряжение в кристаллах. Влияние дисперсности и микронапряжений на уширение рефлексов. Инструментальное уширение. Определение микронапряжений из анализа физического уширения рефлексов. Метод Виллиамсона-Холла.

Определение параметров элементарной ячейки (ПЭЯ). Двухединичная задача индицирования и определения ПЭЯ. Закон Вегарда. Понятие о программах для определения и уточнения ПЭЯ (UNITCELL, TREOR, DICVOL, ITO). Критерии достоверности результатов. Прецизионное определение ПЭЯ. Метод Ритвельда.

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 1-31 05 01-01 ХИМИЯ (НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ)**

Очная форма получения образования

номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<b>Раздел 1. Нанотехнология как основное стратегическое направление развития человеческой деятельности в XXI веке</b>							
1.1	Проблемное поле нанохимии. Объекты изучения. Особенности нанопроблематики	2						собеседование
2	<b>Раздел 2. Особые свойства вещества в наносостоянии</b>							
2.1	Условия и причины возникновения размерных эффектов. Физические явления, связанные с проявлением размерных эффектов	2						Анализ кейсов
2.2	Размерные эффекты в химии. Термодинамические и кинетические особенности поведения наночастиц. Изменения оптических свойств	2						Контрольная работа
3	<b>Раздел 3. Методы получения вещества в ультрадисперсном состоянии</b>							
3.1	Физические методы синтеза наночастиц	2						устные ответы
3.2	Химические методы синтеза наночастиц	2		2				устные ответы, контрольная работа
4	<b>Раздел 4. Основные принципы создания ансамблей наночастиц</b>							
4.1	Понятие о самоорганизации. Особенности	2		2				Устные ответы

	формирования наноструктур различной размерности							
4.2	Молекулярное и ионное наслаивание. Литографические методы создания наноструктур	2						собеседование
5	<b>Раздел 5. Нанохимия углерода</b>							
5.1	Фуллерены	2						устные ответы, контрольная работа
5.2	Углеродные нанотрубки, графен, наноалмазы.	2						Диалог вопрос-ответ
6	<b>Раздел 6. Нанохимия металлов</b>							
6.1	Основные способы получения и особые свойства наноразмерных частиц металлов. Кластеры металлов	2					1	Самостоятельное задание, контрольная работа
7	<b>Раздел 7. Нанохимия полупроводников</b>							
7.1	Структуры с квантоворазмерными эффектами на основе халькогенидов металлов (квантовые точки)	2						самоконтроль и взаимоконтроль выполненных заданий
7.2	Фотокаталитические системы на основе оксидов металлов						1	Самостоятельное задание
8	<b>Раздел 8. Исследования по нанохимической проблематике, проводимые в Республике Беларусь и за рубежом</b>							
8.1	Исследования по нанохимической проблематике, мировые научные группы						2	презентация, диалог
9	<b>Раздел 9. Электронная микроскопия и электронография</b>							
9.1	<b>Фазовый анализ вещества методом электронографии</b>							
9.1.1	Препарирование объектов для исследования (ультра- и нанодисперсные объекты, массивные твердые тела)				4			Письменный отчет о выполнении лабораторной работы, устные ответы
9.1.2	Определение фазового состава вещества по его электронограмме				2			Письменный отчет о выполнении лабораторной работы, устные ответы
9.2	<b>Просвечивающая электронная микроскопия</b>							
9.2.1	Препарирование серии модельных образцов для исследования прямыми методами и методами реплик				6			Письменный отчет о выполнении лабораторной работы, устные ответы
9.2.2	Качественное и количественное описание результатов исследования методом ПЭМ. Принцип действия				6			Письменный отчет о выполнении лабораторной работы, собеседование,

	электронного микроскопа							контрольная работа
9.2.3	Исследование серии образцов методом электронной микроскопии				6			Письменный отчет о выполнении лабораторной работы, презентация результатов исследования
	<b>Всего часов</b>	<b>22</b>		<b>4</b>	<b>24</b>		<b>4</b>	

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОСТИ 1-31 05 01-02 ХИМИЯ (НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ)**

Дневная форма получения образования

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	<b>Раздел 1. Нанотехнология как основное стратегическое направление развития человеческой деятельности в XXI веке</b>							
1.1	Проблемное поле нанохимии. Объекты изучения. Особенности нанопроблематики	2						собеседование
2	<b>Раздел 2. Особые свойства вещества в наносостоянии</b>							
2.1	Условия и причины возникновения размерных эффектов. Физические явления, связанные с проявлением размерных эффектов	2						Анализ кейсов
2.2	Размерные эффекты в химии. Термодинамические и кинетические особенности поведения наночастиц. Изменения оптических свойств	2						Контрольная работа
3	<b>Раздел 3. Методы получения вещества в ультрадисперсном состоянии</b>							
3.1	Физические методы синтеза наночастиц	2						устные ответы
3.2	Химические методы синтеза наночастиц	2		2				устные ответы, контрольная работа
4	<b>Раздел 4. Основные принципы создания ансамблей наночастиц</b>							

4.1	Понятие о самоорганизации. Особенности формирования наноструктур различной размерности	2		2			Устные ответы
4.2	Молекулярное и ионное наслаивание. Литографические методы создания наноструктур	2					собеседование
5	<b>Раздел 5. Нанохимия углерода</b>						
5.1	Фуллерены	2					устные ответы, контрольная работа
5.2	Углеродные нанотрубки, графен, нанодиамазы.	2					Диалог вопрос-ответ
6	<b>Раздел 6. Нанохимия металлов</b>						
6.1	Основные способы получения и особые свойства наноразмерных частиц металлов. Кластеры металлов	2				1	Самостоятельное задание, Контрольная работа
7	<b>Раздел 7. Нанохимия полупроводников</b>						
7.1	Структуры с квантоворазмерными эффектами на основе халькогенидов металлов (квантовые точки)	2					самоконтроль и взаимоконтроль выполненных заданий
7.2	Фотокаталитические системы на основе оксидов металлов					1	Самостоятельное задание
8	<b>Раздел 8. Исследования по нанохимической проблематике, проводимые в Республике Беларусь и за рубежом</b>						
8.1	Исследования по нанохимической проблематике, мировые научные группы					2	презентация, диалог
9	<b>Раздел 9. Методы исследования, применяемые в нанохимии</b>						
9.1	<b>Фазовый анализ вещества методом электронографии</b>						
9.1.1	Препарирование объектов для исследования (ультра- и нанодисперсные объекты, массивные твердые тела)			2			Письменный отчет о выполнении лабораторной работы, устные ответы
9.1.2	Определение фазового состава вещества по его электронограмме			2			Письменный отчет о выполнении лабораторной работы, устные ответы
9.2	<b>Просвечивающая электронная микроскопия</b>						
9.2.1	Препарирование серии образцов для исследования прямыми методами и методами реплик			4			Письменный отчет о выполнении лабораторной работы, устные ответы
9.2.2	Качественное и количественное описание результатов			4			Письменный отчет о выполнении

	исследования методом ПЭМ. Принцип действия электронного микроскопа							лабораторной работы, собеседование, контрольная работа
9.3	<b>*Рентгеновская дифрактометрия</b>							
9.3.1	Проведение рентгенографического эксперимента				2			Письменный отчет
9.3.2	Качественный рентгенофазовый анализ				2			Письменный отчет
9.3.3	Количественный рентгенофазовый анализ				2			Письменный отчет
9.3.4	Изучение микроструктуры				2			Письменный отчет
9.3.5	Определение параметров элементарных ячеек				2			Письменный отчет
9.3.6	Качественный рентгенофазовый анализ (типичные ошибки)				2			Письменный отчет, коллоквиум
	<b>Всего часов</b>	<b>22</b>		<b>4</b>	<b>24</b>		<b>4</b>	



## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Перечень основной литературы

1. Сергеева, О.В. Введение в нанохимию: пособие для студ. хим. фак. / О.В. Сергеева, С.К. Рахманов. – Минск: БГУ, 2009. – 177 с.
2. Раков, Э.Г. Неорганические наноматериалы: учебное пособие / Э.Г. Раков. – 3-е изд. – Москва: Лаборатория знаний, 2020. – 480 с.
3. Введение в нанохимию: учебное пособие для вузов / Блинов Л.Н., Перфилова И.Л., Полякова В.В., Семенча А.В., Крылов Н.И.; Блинов Л.Н., Перфилова И.Л., Семенча А.В., Крылов Н.И. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 80 с. / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/370214>
4. Поленов Ю.В. Физико-химические основы нанотехнологий: учебник для вузов / Поленов Ю.В., Егорова Е.В., Егорова Е.В. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 180 с. / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/324392>

### Перечень дополнительной литературы

1. Иванец, А.И. Наноструктурные адсорбенты и катализаторы на основе ферритов / А.И. Иванец; НАН Беларуси, Ин-т общей и неорганической химии. – Минск: Беларуская навука, 2021. – 143 с.
2. Лисичкин, Г.В. Химия поверхности неорганических наночастиц / Г.В. Лисичкин, А.Ю. Оленин, И.И. Кулакова. – М.: Техносфера, 2020. – 380 с.
3. Сергеев, Г.Б. Нанохимия / Г.Б. Сергеев. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Изд-во Московского ун-та, 2007. – 336 с.
4. Воробьева, Т.Н. Химия твердого тела: учеб. пособие для студ. хим. спец. учреждений, обеспеч. получение высш. образования / Т.Н. Воробьева, А.И. Кулак. – Минск: БГУ, 2004. – 148с.
5. Старостин, В.В. Материалы и методы нанотехнологий: учеб. пособие / В.В. Старостин; под общ. ред. Л.Н. Патрикеева. – 2-е изд. - Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2017. – 431 с.
6. Дьячков, П.Н. Электронные свойства и применение нанотрубок / П. Н. Дьячков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2020. – 488 с.
7. Наноструктуры в биомедицине / под ред. К. Гонсалес, К. Хальберштадт, К. Лоренсин, Л. Наир; пер. с англ. – 4-е изд., электрон. – М.: Лаборатория знаний, 2020. – 538 с.
8. Хартманн, У. Очарование нанотехнологии / У. Хартманн; пер. с нем. – 5-е изд. – Москва: Лаборатория знаний, 2021. – 176 с.
9. Елисеев, А.А. Функциональные наноматериалы: учеб. пособие / А.А. Елисеев, А.В. Лукашин; под ред. Ю.Д. Третьякова. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 452 с.
10. Витязь, П.А. Основы нанотехнологий и наноматериалов: учеб. пособие для студ. технических ун-тов / П.А. Витязь, Н.А. Свидунович. – Минск: Вышэйшая школа, 2010. – 302 с.

11. Артемьев, М.В. Новые неорганические соединения и материалы на основе микро- и наноразмерных частиц: получение, свойства, применение / М.В. Артемьев, А.И. Лесникович, О.А. Ивашкевич; БГУ. – Минск: БГУ, 2015. – 151 с.
12. Материалы и методы нанотехнологий: учеб. пособие / А.А. Ремпель, А.А. Валеева. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 136 с.
13. Современные методы исследования конденсированных материалов: Курс лекций для студ. физич. и хим. фак. / В.Б. Оджаев, Д.В. Свиридов, И.А. Карпович, В.В. Понарядов; В авт.ред. – Мн.: БГУ, 2003. – 82 с.
14. Шиммель, Г. Методика электронной микроскопии / Г.М. Шиммель. – Москва: Мир, 1972.
15. Эндрюс, К. Электронограммы и их интерпретация / К. Эндрюс, Д. Дайсон, С. Киоун; пер. с англ. М.П. Усикова; под ред. Л.Г. Орлова. – Москва: Мир, 1971. – 256 с.
16. Суздальев, И. П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздальев. – Изд. стер. – Москва: URSS: Либроком, 2019. – 589 с.
17. Кобаяси, Наоя Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси; пер. с яп. А.В. Хачояна; под ред. Л.Н. Патрикеева. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. – 135с.
18. Петров, Ю.И. Кластеры и малые частицы / Ю.И. Петров; отв. ред. М.Я. Ген; АН СССР, Ин-т химической физики. – Москва: Наука, 1986. – 368 с.
19. \*Ковба, Л. М. Рентгенография в неорганической химии: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по спец. "Химия" / Л.М. Ковба. – Москва –: Изд-во Московского ун-та, 1991. – 254 с.
20. \*Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия: учебник для студ. вузов, обуч. по спец. "Физика металлов" и "Металловедение, оборудование и технология терм. обработки металлов" / [Я.С. Уманский и др.]. – Москва: Металлургия, 1982. – 631 с.
21. А.А. Сушков, Д.А. Павлов. Рассеяние ускоренных электронов на атомной структуре: практикум. Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2020. – 56 с.
22. Кузнецова, Е. В. Рентгенография металлов и сплавов: учеб. пособие / Е. В. Кузнецова, О. А. Косинова, И. А. Коваленко, И. А. Цыганов. – Липецк: Липецкий государственный технический университет, 2019. – 187 с.

## Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для текущего оценки достижений и контроля качества усвоения знаний студентами используется следующий диагностический инструментарий:

- устный опрос;
- отчеты по выполнению самостоятельных заданий;
- письменные контрольные работы по отдельным темам;
- защита выполненных на занятиях индивидуальных лабораторных работ;
- подготовка и защита реферата;
- сдача экзамена по учебной дисциплине.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения.

Составляющие рейтинговой оценки и *примерные* весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

Для специальности «Химия (научно-производственная деятельность)»

- плановые контрольные работы и диагностические мероприятия в рамках разделов 1 – 8 – 40%;
- выполнение и защита лабораторных работ, диагностические мероприятия в рамках раздела 9 – 50 %;
- выполнение и защита реферата – 10 %

Для специальности «Химия (научно-педагогическая деятельность)»

- плановые контрольные работы и диагностические мероприятия в рамках разделов 1 – 8 – 30%;
- выполнение и защита лабораторных работ, диагностические мероприятия в рамках раздела 9 – 60 %;
- выполнение и защита реферата – 10 %

Максимальная рейтинговая оценка в баллах выставляется в 10-балльной системе. Итоговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Весовой коэффициент оценки по текущей успеваемости составляет 0,5, экзаменационной оценки – 0,5.

### Примерная тематика лабораторных занятий

**Лабораторная работа 1.** Проведение рентгенографического эксперимента.

**Лабораторная работа 2.** Качественный рентгенофазовый анализ.

**Лабораторная работа 3.** Количественный рентгенофазовый анализ.

**Лабораторная работа 4.** Изучение микроструктуры.

**Лабораторная работа 5.** Определение параметров элементарных ячеек.

**Лабораторная работа 6.** Качественный рентгенофазовый анализ (типичные ошибки).

**Лабораторная работа 7.** Фазовый анализ вещества методом электронографии.

**Лабораторная работа 8.** Препарирование наноструктурных образцов для ЭГ исследования.

**Лабораторная работа 9.** Препарирование образцов для ПЭМ исследования.

**Лабораторная работа 10.** Получение изображений объектов с использованием пучка быстрых электронов.

### **Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов**

**Тема 6.1** Основные способы получения и особые свойства наноразмерных частиц металлов. Кластеры металлов (1 час)

Изучить термодинамические и кинетические особенности поведения металлических наночастиц. Изучить основные подходы к регулируемому синтезу металлических наночастиц, включая монодисперсные частицы, частицы ядро – оболочка, анизотропные частицы.

Выполнить расчет количества атомов в кластере. Проанализировать причины появления особых свойств в наночастице предложенного состава и морфологии. Проанализировать изменение физических и химических свойств наноструктурированного материала, включающего заданные металлические наночастицы.

(Форма контроля – контрольная работа)

**Тема 7.2** Фотокаталитические системы на основе оксидов металлов (1 час)

Изучить механизм фотокаталитических реакций. Изучить основные наноразмерные фотокаталитические системы, методы их синтеза, способы повышения эффективности фотокатализаторов.

Предложить метод синтеза наночастиц фотокатализатора заданной природы и морфологии. Проанализировать факторы, влияющие на дисперсность продукта. Предложить способы получения монодисперсного продукта и аргументировать свой подход. Объяснить механизм предложенной фотокаталитической реакции и образующиеся продукты.

(Форма контроля – самостоятельное задание).

**Тема 8.1.** Исследования по нанохимической проблематике, мировые научные группы (2 часа).

Изучить ключевые современные направления исследований в области нанохимической проблематики, включая исследования ученых Республики Беларусь.

Выполнить индивидуальное задание: найти оригинальные публикации ученого-исследователя в области нанохимии и составить краткий обзор цикла его работ.

(Форма контроля – эссе, презентация).

При изучении учебной дисциплины самостоятельная работа на аудиторных занятиях предусматривает выполнение типовых заданий с консультациями преподавателя. Внеаудиторная работа предполагает самостоятельную работу с учебниками, учебными и учебно-методическими пособиями, материалами научных публикаций по изучаемым темам учебной дисциплины, а также подготовку к семинарским и лабораторным занятиям по предложенным преподавателем вопросам, выполнение домашних заданий, решение расчетных задач. Учебно-программные материалы, примеры выполнения типовых расчетов, материалы для самостоятельного освоения учебного материала, список рекомендуемой литературы размещены в сетевом доступе на образовательном портале [educhem.bsu.by](http://educhem.bsu.by).

### **Пример вопросов для самостоятельной подготовки**

**Тема 7.1** Структуры с квантоворазмерными эффектами на основе халькогенидов металлов (квантовые точки).

1. Что такое экситон? От чего зависит боровский радиус экситона?
2. В чем заключается суть квантово-размерного эффекта для полупроводниковых наночастиц?
3. Чем определяется положение максимума экситонной полосы на спектрах поглощения коллоидных растворов квантовых точек?
4. Дайте определение понятий «квантовая точка», «квантовый наностержень», «квантовая яма»?
5. Почему квантовый выход люминесценции при комнатной температуре для квантовых точек значительно выше, чем для объемных полупроводников?
6. Как можно определить размер квантовых точек без использования электронно-микроскопических методов?
7. При облучении ультрафиолетовым светом двух растворов, содержащих коллоидные квантовые точки селенида кадмия, в одном растворе наблюдалась фотолюминесценция зеленого цвета, во втором красного. В каком растворе размер наночастиц больше и почему?
8. Перечислите преимущества и недостатки коллоидно-химического метода наночастиц полупроводников.
9. Какие основные компоненты можно выделить в металлоорганическом методе синтеза полупроводниковых квантовых точек?
10. С какой целью полупроводниковые наночастицы покрывают оболочкой? Какими критериями руководствуются при выборе материалов оболочки и их прекурсоров?

## Примерные темы рефератов

1. Синтез частиц в нанореакторах
2. Методы получения одномерных (1D) наноструктур
3. Методы получения двумерных (2D) наноструктур
4. Темплатно-направляемая сборка наночастиц
5. Самоорганизация магнитных наночастиц в упорядоченные 2D и 3D структуры
6. Суперпарамагнетизм в наносистемах
7. Нанопористые системы и материалы
8. Перьевая нанолитография.
9. Графен: методы получения, устойчивость, электронные свойства
10. Эндоэдральные фуллерены: основные представители, примеры синтеза и перспективы применения
11. Получение квантовых точек  $A^{III}B^V$  физическими и химическими методами
12. Полупроводниковые гетероструктуры на квантовых точках и квантовых ямах.
13. Современные подходы к получению наночастиц сложной морфологии (нанопластин, тетраподов, нанодисков и др).
14. Методы нанесения диэлектрических оболочек на наночастицы металла
15. LED-устройства на основе нанокристаллов со структурой перовскита
16. Формирование квантовых точек посредством самоорганизации при эпитаксии
17. BN – аналоги фуллеренов и углеродных нанотрубок
18. Биомолекулы (белки, вирусы, ДНК) как темплаты для сборки наночастиц
19. Нанокатализ в современной химии и химической технологии
20. Биметаллические наночастицы – перспективные материалы для физико-химических приложений
21. Криохимический синтез и стабилизация металлических кластеров
22. Гигантское комбинационное рассеяние света на металлических наночастицах
23. «Зеленые» методы синтеза серебряных наночастиц
24. Модификация поверхности фуллеренов и углеродных нанотрубок
25. Контролируемый синтез наночастиц в микрогетерогенных системах
26. Наностержни, нанотрубки и полиэдрические кремниевые структуры
27. Наносистемы (дендримеры, углеродные нанотрубки, неорганические наночастицы) для адресной доставки лекарств
28. Медицинские наномашинки (молекулярные наномашинки, био- и нанороботы)

29. Наномедицина фуллерена C<sub>60</sub>
30. Квантовые точки A<sup>II</sup>B<sup>VI</sup> как флуоресцентные метки
31. Мультиплексное оптическое кодирование с использованием квантовых точек
32. Нанопористые системы и материалы
33. Применение наночастиц серебра в биологии и медицине
34. Биомедицинское применение углеродных нанотрубок
35. Наноструктуры в тканевой инженерии и регенеративной медицине
36. Наночастицы золота как оптические метки в Тест-системах
37. Медицинские применения магнитных наночастиц
38. Бионанодизайн – следуем за природой
39. Нанокерамические материалы в регенеративной хирургии кости
40. Биомедицинские применения наночастиц кремния

**\*Дополнительно для специальности Химия (научно-педагогическая деятельность):**

41. История открытия рентгеновских лучей.
42. История открытия дифракции рентгеновских лучей.
43. Нобелевские лауреаты, связанные с рентгеновскими лучами и их использованием.
44. Источники рентгеновского излучения, используемого в научных исследованиях.
45. Современные 1D- и D-детекторы рентгеновского излучения.
46. Рентгенографические методы в химических исследованиях. Возможности и перспективы.
47. Современное состояние качественного рентгенофазового анализа.
48. Базы Данных при проведении качественного рентгенофазового анализа и их развитие.
49. Методы проведения количественного рентгенофазового анализа.
50. Изучение микроструктуры поликристаллических веществ рентгенографическим методом.
51. Определение морфологии кристаллов рентгенографическим методом.
52. Дефекты кристаллической структуры, их рентгенографическое исследование.
53. Инструментальное уширение рефлексов в рентгенографических исследованиях. Учет с использованием сертифицированных стандартов.
54. Определение степени кристалличности полимеров рентгенографическим методом.
55. Рентгенографические методы прецизионного определения параметров элементарных ячеек.
56. Рентгенографическое исследование твердых растворов.
57. Исследование текстуры поликристаллических материалов рентгенографическим методом.

58. Рентгенографическое исследование пленочных объектов.
59. Рентгенографическое исследование тонких пленок.
60. Метод Ритвельда в структурном анализе поликристаллических веществ.

### **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины (эвристический, проективный, практико-ориентированный)**

Преподавание учебной дисциплины «Нанохимия» предусматривает проведение лекций, семинарских, лабораторных занятий. Организация учебного процесса по дисциплине «Нанохимия» предусматривает использованием ряда **инновационных подходов и методов: обучающе-исследовательского, эвристического, практико-ориентированного, развития критического мышления, метода анализа конкретных ситуаций (кейс-метод).**

Учебный процесс, организованный на основе **обучающе-исследовательского принципа**, призван формировать у студентов исследовательские умения, аналитический характер мышления, творческий подход к решению разнообразных задач, умение работать в коллективе в процессе изучения программного материала. При проведении семинарских занятий преподаватель формулирует открытые задания, которые становятся предметом обсуждения, применяя **эвристический и практико-ориентированный** подходы. Одновременно развиваются навыки **критического мышления**, связанные с пониманием научной информации и способами ее трансформации.

Выполнение индивидуальных лабораторных работ является субъективно новым. Более того, каждый студент выполняет индивидуальное задание исследовательского характера (моделируется научная деятельность). Ответы на вопросы, поставленные в ходе выполнения лабораторной работы, требуют творческого осмысления всего эксперимента, анализа необходимой теоретической информации. При организации лабораторных занятий также используется **кейс-метод**, который предполагает анализ конкретных ситуаций из лабораторной практики на основе информации преподавателя и литературных источников, собственного опыта.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

При организации самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине «Нанохимия» наряду с традиционными источниками информации (учебники и учебные пособия, в том числе и подготовленные преподавателями БГУ) используются и современные информационные ресурсы. На образовательном портале [educhem.bsu](http://educhem.bsu) размещены учебно-программные



материалы, презентации лекций, учебные материалы для подготовки к лабораторным занятиям, задания для самостоятельной подготовки к практическим занятиям, задания УСР, вопросы для подготовки к экзаменам, список рекомендуемой литературы. При выполнении ряда заданий требуется также осуществлять поиск и критический анализ учебной информации на химических сайтах в сети Интернет.

Задания УСР по учебной дисциплине составляются с учетом индивидуальной подготовки студентов и могут быть представлены на разном уровне: от заданий, формирующих достаточные знания по изученному учебному материалу на уровне узнавания, к заданиям, формирующим компетенции на уровне воспроизведения, и далее к заданиям, формирующим компетенции на уровне применения полученных знаний. При этом сохраняется требование к освоению необходимого и достаточного объема учебного материала при освоении курса.

## Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Проблемное поле нанохимии. Объекты изучения и методы исследования.
2. Методы получения наночастиц «ядро-оболочка» и полых наночастиц.
3. Особые свойства вещества в высокодисперсном состоянии. Условия и причины возникновения размерных эффектов.
4. Молекулярно-лучевая эпитаксия как способ создания наноструктур.
5. Металлические кластеры – определение, модели роста, стабилизация. Магические кластеры.
6. Перьевая нанолитография.
7. Электронное строение полупроводниковых нанокристаллов. Квантово-размерный эффект.
8. Золь-гель метод синтеза наночастиц и его модификации.
9. Размерные эффекты и механические свойства наносистем.
10. Химическое восстановление в водном растворе как способ получения наночастиц металлов.
11. Магнитные свойства наночастиц.
12. Синтез наночастиц в цеолитах, мицеллах, дендримерах
13. Особенности оптических спектров наночастиц золота и серебра. Плазмонный резонанс.
14. Химические свойства фуллеренов.
15. Размерные эффекты в кинетике и катализе.
16. Ионно-лучевой метод синтеза наноструктур.
17. Термодинамические особенности поведения наночастиц.
18. Мягкая литография.
19. Высокотемпературный синтез полупроводниковых квантовых точек.
20. Понятие о самоорганизации. Самоорганизованные монослои.
21. Использование биомолекул в синтезе наноструктур. Биомиметика.
22. Литографические способы создания наноструктур.
23. Получение наноструктур методами PVD и CVD.
24. Фуллерены – основные представители, строение, методы получения.
25. Методы получения углеродных нанотрубок.
26. Темплатный синтез. Получение наноструктур с упорядоченным расположением пустот.
27. Радиационно-химические методы синтеза наночастиц.
28. Цитратный метод синтеза золотых наночастиц.
29. Получение наностержней по механизму пар-жидкость – кристалл.
30. Сонохимический и сольвотермический методы синтеза наночастиц.
31. Гидрофилизация поверхности квантовых точек полупроводников АІІВVI.
32. Получение тонких пленок по методу Ленгмюра-Блоджетт.
33. Модифицирование углеродных нанотрубок.
34. Послойная самосборка противоположно заряженных полиэлектролитов.

35. Химическая сборка: молекулярное наслаивание.
36. Принципы получения монодисперсных наночастиц и способы их реализации.
37. Принципы стабилизации наночастиц. Функции стабилизаторов.
38. Графен. Получение, свойства, применение.
39. Синтез наночастиц в микроэмульсионных системах и межфазный синтез.
40. Препаративные методы синтеза наностержней золота.
41. Наноалмазы: особенности синтеза, строение, применение.
42. Понятие о фотокатализе. Первичные фотохимические процессы.
43. Квантовые точки АПВV – получение, области применения.
44. Детонационный синтез.
45. Простейшие способы создания ансамблей наночастиц.
46. Эпитаксиальный рост nanoостровков германия на кремнии.
47. Применение нанотехнологий в материаловедении, медицине, энергетике, авиации, охране окружающей среды.
48. Физические и химические методы получения 2D- систем.
49. Люминесцентные свойства квантовых точек АПВVI.
50. «Мягкие» и «жесткие» матрицы. Анодный оксид алюминия и пористый кремний как темплаты в нанохимии.
51. Задачи, решаемые с помощью просвечивающей электронной микроскопии. Обоснование выбора пучка быстрых электронов для получения увеличенных изображений nanoобъектов.
52. Факторы, определяющие разрешающую способность и увеличение в просвечивающей электронной микроскопии.
53. Минимальные размеры элементов, которые можно различить в просвечивающем электронном микроскопе при препарировании объектов прямым методом и методом углеродных реплик с растворением частиц объекта. Методы увеличения контраста при препарировании образцов с гладкой поверхностью.
54. Особенности и механизм рассеяния электронов, рентгеновского излучения и нейтронов веществом. Принципы использования этих особенностей в электронной микроскопии для формирования и увеличения изображения объектов.
55. Принципы формирования изображения в просвечивающих электронных микроскопах. Пути повышения контраста, разрешающей способности, увеличения.
56. Количественная обработка результатов электронномикроскопического исследования. Типы гистограмм, выбор величины классов на конкретных примерах.
57. Методы препарирования массивных и мелкодисперсных объектов для электронографического исследования.
58. Основные принципы расшифровки электронограмм. Уравнение Вульфа-Брэгга. Постоянная прибора, способ ее определения.

59. Задачи, решаемые с помощью электронографии. Достоинства и недостатки электронографии в сравнении с рентгенографией с учетом механизма взаимодействия электронов и рентгеновского излучения с веществом?

60. Причины уширения линий колец на электронограммах. Почему трудно получить точечные (а не размытые) рефлексы на электронограмме монокристалла?

61. Какой из методов исследования (электронография или рентгенография) пригоден для определения фазового состава пленки продукта коррозии, образующейся на поверхности медной фольги (толщина пленки 40-60 нм).

**\*Дополнительно для специальности Химия (научно-педагогическая деятельность):**

62. Методы получения рентгеновского излучения. Рентгеновская трубка, ее устройство. Тормозное и характеристическое излучение. Принцип генерации рентгеновского излучения в циклических ускорителях (синхротрон).

63. Факторы, определяющие интенсивность дифракционного рассеяния электронов, связанные с работой прибора, с природой и структурой образца, с формой записи электронограмм.

64. Методы монохроматизации рентгеновского излучения рентгеновской трубки.  $\beta$ -фильтрация, принцип подбора  $\beta$ -фильтра, особенности результата фильтрации.

65. Количественный рентгенофазовый анализ, основные принципы проведения. Метод внутреннего стандарта, его преимущества по сравнению с другими методами.

67. Поглощение рентгеновского излучения веществом. Закон поглощения. К-край поглощения, его природа. Учет К-края поглощения атомов вещества при подборе рентгеновского излучения для его анализа.

68. Идентификация поликристаллических веществ по их рентгенограммам. База данных PDF. Факторы, осложняющие проведение качественного рентгенофазового анализа.

69. Влияние дисперсности поликристаллических веществ на уширение рефлексов рентгенограмм. Учет инструментального уширения при определении размера и формы кристаллов.

70. Рентгенографическое исследование микроструктуры веществ. Факторы, влияющие на уширение рефлексов. Физическое уширение. Инструментальное уширение, его учет при исследовании микроструктуры.

71. Методы получения рентгеновского излучения. Устройство рентгеновской трубки. Белое и характеристическое излучение. Монохроматоры. Принцип генерации рентгеновского излучения в циклических ускорителях (синхротрон).

72. Методы количественного рентгенофазового анализа, их сопоставительный анализ. Систематические ошибки.

73. Определение параметров элементарной ячейки из рентгенограмм поликристаллических веществ. Двухэтапная задача индирования и определения параметров ячейки. Понятие о программном обеспечении метода.

74. Определение параметров элементарных ячеек и состава твердых растворов по порошковым рентгенограммам. Закон Вегарда.

75. Анализ уширения рентгеновских отражений при одновременном влиянии дисперсности и микронапряжений. Метод Виллиамсона-Холла. Учет инструментального уширения.

76. Причины уширения линий колец на электронограммах. Почему трудно получить точечные (а не размытые) рефлексы на электронограмме монокристалла?

77. Какой из методов исследования (электронография или рентгенография) пригоден для определения фазового состава пленки продукта коррозии, образующейся на поверхности медной фольги (толщина пленки 40-60 нм).

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
Физические методы исследования	Кафедра неорганической химии	Отсутствуют	Утвердить согласование без внесения изменений (протокол №5 от 04.12.2023 г.)
Избранные главы химии твердого тела	Кафедра неорганической химии	Отсутствуют	Утвердить согласование без внесения изменений (протокол №5 от 04.12.2023 г.)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО  
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

№ п/ п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_