

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ

Ректор Белорусского
государственного университета

А.Д.Король

27 июня 2025 г.

Регистрационный № 2894/6.



НАНОХИМИЯ

Учебная программа учреждения образования по учебной дисциплине для
специальностей:

6-05-0531-01 Химия

Профилизации:

Зеленые химические технологии функциональных материалов и систем

Химико-аналитическая и экспертная деятельность

Фармацевтическая деятельность

6-05-0531-04 Химия (научно-педагогическая деятельность)

2025 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 6-05-0531-01-2023, учебных планов № 6-5.5-41/01, № 6-5.5-41/02, № 6-5.5-41/03 от 15.05.2023; ОСВО 6-05-0531-04-2023, учебного плана № 6-5.5-43/01 от 15.05.2023.

СОСТАВИТЕЛЬ:

Д.И.Муравский, старший преподаватель кафедры неорганической химии химического факультета Белорусского государственного университета.

РЕЦЕНЗЕНТ:

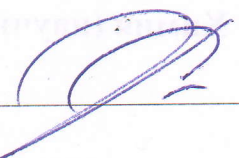
В.Б.Оджаев, заведующий кафедрой физики полупроводников и наноэлектроники физического факультета Белорусского государственного университета, доктор физико-математических наук, профессор.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

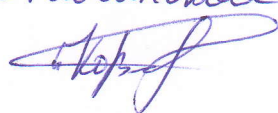
Кафедрой неорганической химии БГУ
(протокол № 10 от 06.06.2025)

Научно-методическим советом БГУ
(протокол № 11 от 26.06.2025)

Заведующий кафедрой



Д.В.Свиридов

Т.В. Ковальчук-Рабинская


ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Нанохимия» относится к дисциплинам компонента учреждения образования. Уникальность свойств веществ в наноразмерном масштабе обеспечивает большой интерес специалистов из различных областей химии, физики и биологии к наноматериалам и их применениям. Внедрение наноматериалов в инновационные технологии (оптоэлектроника, фотовольтаика, биомедицина и др.) требует от современных специалистов-химиков владения знаниями о зависимости свойств наноматериалов от их структурных и размерных характеристик, методах получения наноматериалов и исследования их свойств, а также использовании наноматериалов в разнообразных применениях.

Цели и задачи учебной дисциплины

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

Задачи учебной дисциплины:

1. Получение студентами фундаментальных 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;
2. Формирование у студентов синтетического научного мировоззрения, основанного на объединении знаний из различных областей науки;
3. Формирование основных представлений о методах изучения наноструктур и проведении научных исследований с применением современных инструментальных методов, что важно для подготовки студентов к научной деятельности и к современным способам оценки качества продукции;
4. 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» для специальности Химия (научно-педагогическая деятельность) и профилизации Зеленые химические технологии функциональных материалов и систем, к модулю «Молекулярная инженерия» для профилизации Фармацевтическая деятельность, является модулем для профилизации Химико-аналитическая и экспертная деятельность компонента учреждения образования.

Связи с другими учебными дисциплинами, включая учебные дисциплины компонента учреждения высшего образования, дисциплины специализации и др. Успешное изучение данной дисциплины возможно при наличии знаний по дисциплинам «Химия твердого тела», «Физическая химия», «Неорганическая

химия», «Кристаллохимия», а также таких тем курса физики, как электромагнетизм и оптика.

Требования к компетенциям

Освоение учебной дисциплины «Нанохимия» должно обеспечить формирование следующих *специализированных* компетенций:

Характеризовать фундаментальные принципы организации наноструктур, основные способы получения наноматериалов.

Предлагать методики направленного синтеза и дизайна материалов с заданными свойствами на основании принципов структурно-ориентированного и/или молекулярно-ориентированного дизайна.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- фундаментальное отличие свойств вещества в наноразмерном состоянии от свойств массивного вещества;

- основные способы получения наночастиц углерода, металлов и полупроводников, основные принципы объединения их в ансамбли и наноструктуры, обладающие заданными свойствами и выполняющими определенные функции;

- эффекты, возникающие при уменьшении частиц вещества до наноразмера, в оптических, электрических, магнитных и химических свойствах углерода, металлов и полупроводников;

- свойства наночастиц углерода (фуллеренов, нанотрубок, наноточек, наноалмазов, графена), металлов, полупроводников и направления их возможного практического применения;

- основные методы изучения наноструктур, 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 нанообъекта;

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

иметь навык:

- использования терминологии проблемного поля нанохимии;

- постановки задачи и выбора метода исследования, обработки полученной информации и представления результатов исследования.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 6 семестре. В соответствии с учебным планом всего на изучение учебной дисциплины «Нанохимия» отведено для **очной формы** получения высшего образования – 90 часов, в том числе 36 аудиторных часов: лекции – 24 часа, семинарские занятия – 12 часов. **Из них:**

– лекции – 24 часа, семинарские занятия – 8 часов, управляемая самостоятельная работа (УСР) – 4 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

Форма промежуточной аттестации – зачёт (для специальности Химия (научно-педагогическая деятельность) и профилизации Химико-аналитическая и экспертная деятельность).

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел 1 Нанотехнология как основное стратегическое направление развития человеческой деятельности в XXI веке. Проблемное поле нанохимии

Тема 1.1 Введение. Роль нанотехнологий в современном мире

Особенности нанопроблематики, ее связь с другими областями науки. Перспективы применения достижений нанотехнологии в материаловедении и производстве материалов, электронике и вычислительной технике, биологии и медицине, авиации и космических исследованиях, энергетике и химической промышленности, охране окружающей среды и др. Естественные и искусственные нанотехнологии. Возможные экологические и социальные последствия применения нанотехнологий.

Тема 1.2 Нанохимия как наука

Этапы становления нанохимии как науки. Проблемное поле нанохимии. Объекты изучения нанохимии: кластеры, наночастицы, наноструктуры, структуры с квантово-размерным эффектом. Критерии классификации нанобъектов. Подходы к созданию наноматериалов. Особенности структурной организации нанобъектов. Уникальные свойства наноматериалов и причины их возникновения.

Раздел 2 Особые свойства вещества в наносостоянии

Тема 2.1 Внутренний размерный эффект и свойства наноматериалов

Причины возникновения размерных эффектов. Внутренний и внешний размерный эффект. Проявление внутреннего размерного эффекта в свойствах наноматериалов. Особенности структуры и механические свойства наноматериалов. Зависимость твердости наноматериалов от размера частиц. Закон Холла-Петча. Ротационное разупрочнение и сверхпластичность. Термодинамические особенности поведения наночастиц. Проблемы термодинамического описания наносистем. Термодинамика химических реакций с участием нанофаз. Фазовый размерный эффект. Классическая термодинамика с учетом вклада поверхностной энергии. Нанотермодинамика Хилла. Статистическая термодинамика наносистем. Химическая термодинамика супрамолекул (нанотермодинамика Русанова). Квантово-механические методы описания наносистем. Теоретические модели плавления наночастиц. Влияние формы наночастиц на температуру плавления. Размерные эффекты в кинетике. Зависимость химической активности и реакционной способности вещества от размера и формы образующих его частиц. Размерный эффект и химические свойства кластеров и наночастиц. Роль состояния поверхности и поверхностных реакций в нанохимии. Наноразмерный катализ. Зависимость каталитических свойств кластеров от их строения и размера. Возможности молекулярного дизайна активных центров. Каталитические свойства наночастиц металлов и полупроводников.

Тема 2.2 Внешний размерный эффект и свойства наноматериалов

Условия возникновения внутреннего размерного эффекта. Особенности электронной структуры полупроводниковых нанокристаллов. Квантово-размерный эффект в полупроводниковых нанокристаллах. История открытия квантово-размерного эффекта. Размернозависимые оптические свойства полупроводниковых нанокристаллов. Условия возникновения локализованного поверхностного плазмонного резонанса. Размерный эффект и оптические свойства плазмонных наночастиц (наноплазмоника). Факторы, влияющие на спектральные характеристики плазмонных наночастиц. Размерный эффект и оптические свойства наночастиц с диэлектрическими Ми-резонансами. Оптический магнетизм. Изменение магнитных свойств наночастиц в зависимости от размера. Суперпарамагнетизм. Гигантское магнетосопротивление. Размерный эффект и электрические свойства наночастиц.

Раздел 3 Методы получения вещества в ультрадисперсном состоянии

Тема 3.1 Общие подходы к получению наноматериалов. Физические методы получения наноматериалов

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. Механические способы диспергирования. Физические методы, основанные на испарении и конденсации. Метод электрического взрыва проводников. Метод сушки вымораживанием и др.

Тема 3.2 Химические методы синтеза наноматериалов

Обзор наиболее распространенных химических методов синтеза твердофазных материалов. Возможности модификации этих методов для получения наночастиц. Механохимический синтез. Детонационный синтез. Криохимический синтез. Гидротермальный и сольвотермический синтез. Твердофазное восстановление, термическое разложение, химическое восстановление в жидкой фазе. Электрохимический синтез. 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. Формирование наночастиц в ходе коллоидно-химического синтеза. Модель Ла-Мера. Принципы получения монодисперсных частиц. Методы обеспечения коллоидной устойчивости наночастиц. Возможности управления размером и формой наночастиц при использовании различных методов синтеза. Получение наногетерочастиц типа ядро-оболочка и полых наночастиц.

Раздел 4 Создание наноструктур и ансамблей наночастиц. Самоорганизация

Тема 4.1 Методы создания одномерных и двумерных ансамблей наночастиц

Понятие о самосборке и самоорганизации. Простейшие способы создания ансамблей наночастиц (испарение капли, медленная дестабилизация коллоидных дисперсий и др.). Особенности формирования наноструктур различной размерности (одно-, дву-, трехмерных). Создание одномерных наноструктур (нанопроволоки, наностержни, нанотрубки). Темплатный синтез. Роль модификаторов роста при создании наноструктур анизотропной формы. Механизм роста наноструктур «пар-жидкость-кристалл». Создание двумерных наноструктур. Молекулярно-лучевая эпитаксия. Особенности формирования эпитаксиальных наноструктур. Метод осаждения наночастиц из коллоидного раствора. Самоорганизованные монослои. Методы Ленгмюра-Блоджетт и Ленгмюра-Шефера. Молекулярная самоорганизация и самосборка материалов. Понятие об иерархических структурах. Молекулярное и ионное наслаивание. Метод осаждения атомарных слоев на подложках и коллоидных наночастицах. Полиэлектrolитные самоорганизованные монослои. Электрофоретическое осаждение наночастиц.

Тема 4.2 Трехмерные наноструктуры. Использование биомолекул и литографических методов для создания наноструктур

Самоорганизация в трехмерные структуры. Коллоидные кристаллы. Искусственные опалы. Использование биомолекул в синтезе наноструктур. Биомиметика. Литографические методы создания наноструктур. Электронно- и ионно-лучевая нанолитография. Применение методов фотолитографии для создания наноструктур. Коллоидная литография наносферами. Нанопечатная литография. Мягкая литография. Перьевая нанолитография. Оптическая нанопечать.

Раздел 5 Нанохимия углерода

Тема 5.1 Кластеры углерода, фуллерены, углеродные нанотрубки и их производные: синтез, свойства и применения

Малые кластеры углерода, кремния и бора. Фуллерены, история открытия, способы получения и разделения. Физические и химические свойства фуллеренов, проблема стабильности малых фуллеренов. Фуллероиды. Фуллериды. Экзо- и эндоэдральные фуллерены. Нековалентная модификация фуллеренов. Получение и основные перспективы использования производных фуллеренов. Углеродные нанотрубки, особенности строения, однослойные и многослойные нанотрубки. Взаимосвязь хиральности углеродных нанотрубок и их физических свойств. Основные способы получения и очистки углеродных нанотрубок. Химические свойства углеродных нанотрубок. Модификация 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 углеродных нанотрубок.

Тема 5.2 Графен, углеродные наноточки и наноалмазы: синтез, свойства и применения

Графен и его связь с другими углеродными наноматериалами. Основные методы получения, свойства и применения графена и его производных. Классификация углеродных наноточек по составу, структуре и природе люминесцентных свойств. Методы получения углеродных наноточек. Квантово-размерный эффект в графеновых наноточках и его проявление в оптических свойствах. Оптические свойства аморфных углеродных наноточек. Влияние поверхностных состояний на оптические свойства углеродных наноточек. Применения углеродных наноточек. Адамантоиды. Ультрадисперсные алмазы. Основные методы получения, свойства и применения наноалмазов.

Раздел 6 Нанохимия металлов

Тема 6.1 Синтез, свойства и применения кластеров и наночастиц металлов

Особенности криосинтеза кластеров металлов. Свойства и применения кластеров металлов. Роль низкотемпературных реакций в стабилизации атомов и малых кластеров металлов в изучении необычных химических реакций с их участием. Свойства кластеров и наночастиц металлов различных групп Периодической системы. Методы направленного синтеза и стабилизации наночастиц металлов с заданными морфологией и размером. Способы регулирования размера и формы плазмонных наночастиц металлов при использовании различных методов синтеза. Получение наночастиц металлов анизотропной формы, частиц ядро-оболочка. Ансамбли наночастиц металлов. Колориметрические биосенсоры на основе плазмонных наночастиц металлов. Усиление сигнала в спектроскопии гигантского комбинационного рассеяния с помощью плазмонных наноматериалов. Использование плазмонных наночастиц в фотокатализе и фотоэлектрокатализе. Применение плазмонных наночастиц в биомедицине и нанофотонике.

Раздел 7 Нанохимия полупроводников

Тема 7.1 Получение и оптоэлектронные свойства квантово-размерных полупроводниковых нанокристаллов

Способы получения и особые свойства квантово-размерных полупроводниковых наночастиц. Ключевые направления развития методов синтеза квантово-размерных полупроводниковых наночастиц (синтез с использованием в качестве стабилизаторов тиолов, TOP – TOPO синтез, получение наногетерочастиц 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. Управление структурными и оптическими свойствами полупроводниковых нанокристаллов методами коллоидно-химического синтеза. Методы получения и оптоэлектронные свойства квантово-размерных нанокристаллов анизотропной формы. Квантово-размерные полупроводниковые гетеронанокристаллы. Полупроводниковые нанокристаллы ядро-оболочка: синтез и оптоэлектронные свойства.

Тема 7.2 Применения полупроводниковых квантово-размерных нанокристаллов. Свойства и применения субмикронных полупроводниковых наночастиц

Применение полупроводниковых нанокристаллов в дисплейных технологиях и источниках света. Фотовольтаические устройства и солнечные батареи на основе квантовых полупроводниковых нанокристаллов. Квантовые полупроводниковые нанокристаллы в качестве флуоресцентных меток для высокочувствительного иммуноанализа. Фотокатализ и фотокаталитические системы на основе полупроводниковых наночастиц. Методы создания и применения ансамблей квантовых полупроводниковых нанокристаллов и гибридных наноструктур на их основе. Фотонные кристаллы: оптические свойства и применения. Фотонные чернила. Наноструктуры с оптическими диэлектрическими Ми-резонансами. Перспективы применения наночастиц полупроводников и наноструктур на их основе.

Раздел 8 Методы исследования наноматериалов

Тема 8.1 Методы электронной и сканирующей зондовой микроскопии, методы с использованием рентгеновского излучения в нанохимии

Просвечивающая электронная микроскопия. Сканирующая электронная микроскопия. Сканирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия. Метод рентгеновской дифракции.

Тема 8.2 Оптические методы исследования в нанохимии

Спектрофотометрия в ультрафиолетовом-видимом диапазоне. Спектрофлуориметрия в режиме фотолюминесценции и возбуждения фотолюминесценции. Время-разрешенная фотолюминесцентная спектроскопия. Методы оптической микроскопии. Метод динамического рассеяния света. Метод электрофоретического рассеяния света.

Раздел 9 Исследования по нанохимической проблематике, проводимые в Республике Беларусь и за рубежом. Экологический аспект нанотехнологии. Подведение итогов

Тема 9.1 Тенденции развития нанонауки и нанотехнологии в мире и в Республике Беларусь. Влияние наноматериалов на окружающую среду и здоровье человека

Современное состояние исследований по нанопроблематике. Мировые научные группы. Перспективы научных разработок в области нанотехнологий. Актуальные проблемы нанохимии. Основные направления исследований по нанопроблематике в Республике Беларусь. Научные организации и программы. Окислительно-восстановительные процессы в светочувствительных слоях на основе галогенидов серебра. Получение наноразмерных частиц металлов и материалов на их основе для различных применений. Наноструктурированные оксидные и гидроксидные системы. Катализаторы и газовые сенсоры, пленочные структуры, формируемые различными способами. Структуры с квантово-размерными эффектами на основе халькогенидов металлов и др. Постановка проблемы и оценка рисков при использовании наночастиц и наносистем в различных областях человеческой деятельности, охрана труда в отраслях, использующих нанотехнологии. Воздействие наночастиц на окружающую среду и живые организмы. Нанотоксикология.

Тема 9.2 Подведение итогов

Основные термины, понятия и концепции нанохимии как науки. Размерные эффекты в нанохимии. Методы получения наноматериалов. Создание наноструктур и ансамблей наночастиц. Нанохимия углерода. Нанохимия металлов. Нанохимия полупроводников. Методы исследования наноматериалов.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Очная (дневная) форма получения высшего образования с применением дистанционных образовательных технологий
(ДОТ)

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Нанотехнология как основное стратегическое направление развития человеческой деятельности в XXI веке. Проблемное поле нанохимии							
1.1	Введение. Роль нанотехнологий в современном мире	2						обсуждение
1.2	Нанохимия как наука							
2	Особые свойства вещества в наносостоянии							
2.1	Внутренний размерный эффект и свойства наноматериалов	4						обсуждение, устный опрос
2.2	Внешний размерный эффект и свойства наноматериалов							
3	Методы получения вещества в ультрадисперсном состоянии							

3.1	Общие подходы к получению наноматериалов. Физические методы получения наноматериалов	2					2	обсуждение, творческое задание
3.2	Химические методы синтеза наноматериалов							
4	Создание наноструктур и ансамблей наночастиц. Самоорганизация							
4.1	Методы создания одномерных и двумерных ансамблей наночастиц	4						обсуждение, устный опрос
4.2	Трехмерные наноструктуры. Использование биомолекул и литографических методов для создания наноструктур							
5	Нанохимия углерода							
5.1	Кластеры углерода, фуллерены, углеродные нанотрубки и их производные: синтез, свойства и применения	4					2	обсуждение, эссе
5.2	Графен, углеродные наноточки и наноалмазы: синтез, свойства и применения							
6	Нанохимия металлов							
6.1	Синтез, свойства и применения кластеров и наночастиц металлов	2		2				устное выступление с презентацией, обсуждение, контрольная работа
7	Нанохимия полупроводников							

7.1	Получение и оптоэлектронные свойства квантово-размерных полупроводниковых нанокристаллов	4		2				обсуждение, устный опрос, контрольная работа
7.2	Применения полупроводниковых квантово-размерных нанокристаллов. Свойства и применения субмикронных полупроводниковых наночастиц							
8	Методы исследования наноматериалов							
8.1	Методы электронной и сканирующей зондовой микроскопии, методы с использованием рентгеновского излучения в нанохимии	2		2				обсуждение, устный опрос, эссе
8.2	Оптические методы исследования в нанохимии							
9	Исследования по нанохимической проблематике, проводимые в Республике Беларусь и за рубежом. Экологический аспект нанотехнологии. Подведение итогов							
9.1	Тенденции развития нанонауки и нанотехнологии в мире и в Республике Беларусь. Влияние наноматериалов на окружающую среду и здоровье человека			1				устное выступление с презентацией, обсуждение
9.2	Подведение итогов			1				обсуждение, контрольная работа
	Всего часов	24		8			4	

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Основная литература

1. Введение в нанохимию: учебное пособие для вузов / Л.Н. Блинов, И.Л. Перфилова, В.В. Полякова, А.В. Семенча, Н.И. Крылов – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 80 с.
2. Поленов Ю.В. Физико-химические основы нанотехнологий: учебник для вузов / Ю.В. Поленов, Е.В. Егорова – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2023. – 180 с.

Дополнительная литература

1. Тарасевич, Ю.Г. Термодинамика наноразмерных систем: пособие / Ю. Г. Тарасевич. – Гродно : ГрГУ, 2022. – 49 с.
2. Сергеева, О.В. Введение в нанохимию: пособие для студ. хим. фак. / О.В. Сергеева, С.К. Рахманов. – Минск: БГУ, 2009. – 177 с.
3. Раков, Э.Г. Неорганические наноматериалы: учебное пособие / Э.Г. Раков. – 3-е изд. – Москва: Лаборатория знаний, 2020. – 480 с.
4. Лисичкин, Г.В. Химия поверхности неорганических наночастиц / Г.В. Лисичкин, А.Ю. Оленин, И.И. Кулакова. – М.: Техносфера, 2020. – 380 с.
5. Сергеев, Г.Б. Нанохимия / Г.Б. Сергеев. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва: Изд-во Московского ун-та, 2007. – 336 с.
6. 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. – 148 с.
7. 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.
8. Дьячков, П.Н. Электронные свойства и применение нанотрубок / П. Н. Дьячков. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2020. – 488 с.
9. 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.
10. Хартманн, У. Очарование нанотехнологии / У. Хартманн; пер. с нем. – 5-е изд. – Москва: Лаборатория знаний, 2021. – 176 с.
11. Елисеев, А.А. Функциональные наноматериалы: учеб. пособие / А.А. Елисеев, А.В. Лукашин; под ред. Ю.Д. Третьякова. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 452 с.
12. 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.
15. 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.

16. Материалы и методы нанотехнологий: учеб. пособие / А.А. Ремпель, А.А. Валеева. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. – 136 с.
17. 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.
18. Суздалев, И. П. Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздалев. – Изд. стер. – Москва: URSS: Либроком, 2019. – 589 с.
19. Власов, А.И. Электронная микроскопия : учеб. пособие / А.И. Власов, К.А. Елсуков, И.А. Косолапов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 168 с.
20. Андреева, В.Д. Электронная микроскопия материалов: учеб. пособие / В.Д. Андреева, И.И. Горшков. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 139 с.
21. Морозова К. Н. Основы электронной микроскопии: учебное пособие для вузов. – 2-е изд. – М.: Юрайт, 2022. – 84 с.
22. Галлямов М.О. Методы оптической и электронной микроскопии: классический университетский учебник. – М.: МГУ, 2024. – 224 с.
23. Ozin, G.A. Nanochemistry. A chemical approach to nanomaterials / G.A. Ozin, A.C. Arsenault, L. Cademartiri. – RCS Publishing, 2023. – 874 p.
24. Prospects of colloidal nanocrystals for electronic and optoelectronic applications // D. Talapin [et al.] / Chem. Rev. – 2010. – Vol. 110. – P. 389–458.
25. Present and future of surface-enhanced Raman scattering / J. Langer [et al.] // ACS Nano. 2020 – Vol. 14, № 1. – P. 28–117.
26. Amirjani, A. Plasmon-enhanced photocatalysis based on plasmonic nanoparticles for energy and environmental solutions: a review / A. Amirjani, N. B. Amlashi, Z. S. Ahmadiani // ACS Appl. Nano Mater. – 2023. – Vol. 6, № 11. – P. 9085–9123.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой отметки

Объектом диагностики компетенций студентов являются знания, умения, полученные ими в результате изучения учебной дисциплины. Выявление учебных достижений студентов осуществляется с помощью мероприятий текущей и промежуточной аттестации.

Для диагностики компетенций могут использоваться следующие средства текущей аттестации: устный опрос; контрольная работа; творческое задание; эссе; обсуждение; устное выступление с презентацией.

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Нанохимия» учебным планом предусмотрен экзамен, зачёт.

Для формирования итоговой отметки по учебной дисциплине используется модульно-рейтинговая система оценки знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая система предусматривает использование весовых

коэффициентов для текущей и промежуточной аттестации студентов по учебной дисциплине.

Формирование итоговой отметки в ходе проведения контрольных мероприятий текущей аттестации (примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущей аттестации в отметку при прохождении промежуточной аттестации):

- творческое задание – 15 %;
- эссе – 20 %;
- устные выступления с презентацией – 25 %;
- письменные контрольные работы по отдельным темам – 40%.

Итоговая отметка по дисциплине рассчитывается на основе итоговой отметки текущей аттестации (модульно-рейтинговой системы оценки знаний) – 40 % и экзаменационной отметки – 60 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы

Тема 3.1, 3.2 Общие подходы к получению наноматериалов. Физические методы получения наноматериалов. Химические методы синтеза наноматериалов (2 ч)

Пример творческого задания.

Изучите обзор «Методы синтеза магнитных наночастиц» на сайте educhem.bsu.by. Распределите упомянутые в обзоре методы синтеза на диспергационные и конденсационные. Студенческая группа делится на две близкие по численности команды: А и Б, каждая команда разбивается на подгруппы по 1-3 человека. Каждая подгруппа из команды А разрабатывает и обосновывает структуру и принцип действия, а подгруппы из команды Б – методику создания одного из предложенных устройств, причем в качестве одного из структурных элементов этих устройств должны быть магнитные наночастицы:

1. Устройство для записи и хранения больших объемов информации
2. Биосенсор для экспресс-диагностики вирусных инфекций
3. Наноробот для фототермической терапии онкологического заболевания
4. Сенсор для экспресс-определения ионов тяжелых металлов в сточных водах

На занятии подгруппы представляют свои решения в виде устных выступлений с презентацией длительностью до 5 мин. После этого подгруппы из команд А и Б должны охарактеризовать решения друг друга, выявить их сильные и слабые стороны. При подготовке рекомендуется использовать современные литературные данные (соответствующие ссылки представлены в обзоре).

(Форма контроля – творческое задание).

Тема 5.1, 5.2 Кластеры углерода, фуллерены, углеродные нанотрубки и их производные: синтез, свойства и применения. Графен, углеродные наноточки и наноалмазы: синтез, свойства и применения (2 ч)

Написание эссе по тематике, связанной с синтезом, свойствами и применениями наноматериалов на основе углерода. Примеры тем эссе:

1. Фуллерены: получение, структура и применения
2. Ковалентная модификация фуллеренов. Использование фуллеренов в биомедицине
3. Оптические свойства и применение углеродных наноточек
4. Получение соединений фуллеренов с металлами. Их свойства и применения
5. Методы синтеза тубуленов с заданной хиральностью. Хиральность тубуленов и их оптоэлектронные свойства
6. Методы химической модификации тубуленов
7. Области применения тубуленов
8. Получение, свойства и применения графена и его производных
9. Получение, свойства и применения наноалмазов
10. Методы синтеза, структура и стабильность кластеров C, Si и B
(Форма контроля – эссе).

Примерная тематика семинарских занятий

1. Синтез, свойства и применения кластеров и наночастиц металлов
2. Получение и оптоэлектронные свойства квантово-размерных полупроводниковых нанокристаллов. Применения полупроводниковых квантово-размерных нанокристаллов. Свойства и применения субмикронных полупроводниковых наночастиц
3. Методы электронной и сканирующей зондовой микроскопии, методы с использованием рентгеновского излучения в нанохимии. Оптические методы в нанохимии
4. Тенденции развития нанонауки и нанотехнологии в мире и в Республике Беларусь. Влияние наноматериалов на окружающую среду и здоровье человека. Подведение итогов

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

Преподавание учебной дисциплины «Нанохимия» предусматривает проведение лекций, семинарских, лабораторных занятий. Организация учебного процесса по дисциплине «Нанохимия» предполагает использование 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. При организации лекционных и семинарских занятий применяется **кейс-метод**, предполагающий рассмотрение примеров реальных научно-исследовательских задач и анализ конкретных проблемных ситуаций на основе информации преподавателя и литературных источников, собственного опыта.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы

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 размещены учебно-программные материалы, презентации лекций, учебные материалы для подготовки к лекционным и семинарским занятиям, задания для самостоятельной подготовки к семинарским занятиям, задания УСР, вопросы для подготовки к экзамену, 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/зачету

1. Проблемное поле нанохимии. Объекты изучения и методы исследования. Критерии классификации нанообъектов.
2. Применение нанотехнологий в материаловедении, медицине, энергетике, авионавтике, охране окружающей среды.
3. Особые свойства вещества в высокодисперсном состоянии. Условия и причины возникновения размерных эффектов. Внутренний и внешний размерный эффект.
4. Размерные эффекты и механические свойства наносистем.
5. Термодинамические особенности поведения наночастиц. Подходы к описанию термодинамики наносистем.
6. Размерные эффекты в кинетике и катализе.

7. Электронное строение полупроводниковых нанокристаллов. Квантово-размерный эффект. Оптические свойства полупроводниковых нанокристаллов.
8. Особенности оптических спектров наночастиц золота и серебра. Локализованный поверхностный плазмонный резонанс.
9. Оптические свойства наночастиц с диэлектрическими Ми-резонансами. Оптический магнетизм.
10. Размерные эффекты и магнитные свойства наноматериалов. Суперпарамагнетизм. Гигантское магнетосопротивление.
11. Классификация методов синтеза наночастиц. Принципы снизу-вверх и сверху-вниз.
12. Механическое и механохимическое диспергирование. Метод взрыва проводника.
13. Получение наноструктур методами PVD и CVD.
14. Ионно-лучевой метод синтеза наноструктур.
15. Сонохимический и сольвотермический методы синтеза наночастиц.
16. Золь-гель метод синтеза наночастиц и его модификации.
17. Радиационно-химические методы синтеза наночастиц.
18. Химическое восстановление в водном растворе как способ получения наночастиц металлов.
19. Термодинамика и кинетика коллоидно-химического синтеза наночастиц. Модель Ла-Мера.
20. Основные методы и особенности синтеза магнитных наночастиц металлов и оксидов металлов.
21. Методы получения наночастиц «ядро-оболочка» и полых наночастиц.
22. Принципы получения монодисперсных наночастиц и способы их реализации. Стабилизация наночастиц. Функции стабилизаторов.
23. Синтез наночастиц в микроэмульсионных системах и межфазный синтез.
24. Понятие о самосборке и самоорганизации. Самоорганизованные монослои.
25. Простейшие способы создания ансамблей наночастиц. Методы создания 1D наноструктур.
26. Темплатный синтез. Получение наноструктур с упорядоченным расположением пустот.
27. «Мягкие» и «жесткие» матрицы. Анодный оксид алюминия и пористый кремний как темплаты в нанохимии.
28. Синтез наночастиц в цеолитах, мицеллах, дендримерах.
29. Получение наностержней по механизму пар – жидкость – кристалл.
30. Физические и химические методы получения 2D- систем.
31. Молекулярно-лучевая эпитаксия как способ создания наноструктур.
32. Методы осаждения из коллоидного раствора и электрофоретического осаждения для создания 2D наноструктур.

33. Получение тонких пленок по методу Ленгмюра-Блоджетт и Ленгмюра-Шефера.
34. Химическая сборка: молекулярное и ионное наслаивание, осаждения атомарных слоев.
35. Послойная самосборка противоположно заряженных полиэлектролитов.
36. Методы создания 3D-наноструктур. Получение фотонных кристаллов.
37. Использование биомолекул в синтезе наноструктур. Биомиметика.
38. Литографические способы создания наноструктур.
39. Нанопечатная литография. Мягкая литография.
40. Перьевая нанолитография. Коллоидная литография наносферами.
41. Малые кластеры углерода. Фуллерены – основные представители, строение, методы получения.
42. Химические свойства и применения фуллеренов.
43. Методы получения и выделения углеродных нанотрубок.
44. Модифицирование углеродных нанотрубок.
45. Хиральность и свойства углеродных нанотрубок. Применения углеродных нанотрубок.
46. Графен. Получение, свойства, применение.
47. Методы получения, структура, оптоэлектронные свойства и применения углеродных наноточек.
48. Наноалмазы: методы получения, строение, применение. Детонационный синтез наноалмазов.
49. Кластеры металлов – определение, методы получения, стабилизация. Магические и структурные кластеры.
50. Цитратный метод и метод Браста-Шиффрина для синтеза плазмонных наносфер металлов.
51. Особенности коллоидно-химического синтеза плазмонных наночастиц металлов анизотропной формы. Полиольный синтез нанокубов. Фотохимический синтез треугольных нанопластин.
52. Препаративные методы синтеза наностержней золота и серебра.
53. Применение плазмонных наночастиц металлов в оптоэлектронике, биомедицине и фотокатализе.
54. Высокотемпературный синтез полупроводниковых нанокристаллов.
55. Полупроводниковые нанокристаллы типа «ядро-оболочка»: синтез, свойства и применения.
56. Гидрофилизация поверхности полупроводниковых нанокристаллов $A^{II}B^{VI}$.
57. Люминесцентные свойства квантовых точек $A^{II}B^{VI}$.
58. Квантовые точки $A^{III}B^V$ – получение, области применения.
59. Применения полупроводниковых нанокристаллов: дисплейные технологии и источники света, фотовольтаика, биомедицина и фотокатализ.
60. Оптические свойства и применения фотонных кристаллов.

61. Метод динамического рассеяния света. Метод электрофоретического рассеяния света.
62. Методы оптической спектроскопии в нанохимии: спектрофотометрия и спектрофлуориметрия.
63. Методы электронной микроскопии в нанохимии

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УО

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	Предложения отсутствуют	Рекомендовать к утверждению учебную программу (протокол № 10 от 06.06.2025)

Заведующий кафедрой
неорганической химии
член-корреспондент НАН Беларуси,
доктор химических наук, профессор



Д.В.Свиридов

06.06.2025

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УО

на ____ / ____ учебный год

№ п/п	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
_____ (протокол № ____ от _____ 202_ г.)

Заведующий кафедрой

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета
