

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Химический институт им. А.М. Бутлерова



*подписано электронно-цифровой подписью*

## Программа дисциплины

Катализ в нанотехнологиях

Направление подготовки: 04.04.01 - Химия

Профиль подготовки: Инновационные материалы и методы их исследования

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

## Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
  - 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)
  - 4.2. Содержание дисциплины (модуля)
5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
12. Средства адаптации преподавания дисциплины (модуля) к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья
13. Приложение №1. Фонд оценочных средств
14. Приложение №2. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
15. Приложение №3. Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Программу дисциплины разработал(а)(и): профессор, д.н. (профессор) Верещагина Я.А. (Кафедра физической химии, Химический институт им. А.М. Бутлерова), Jana.Vereschagina@kpfu.ru

### 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1	Способен использовать полученные знания теоретических основ современной химии и смежных наук при решении профессиональных задач
ПК-3	Способен анализировать новую научную проблематику, применять методы и средства планирования, организации и проведения научных исследований в выбранной области химии и смежных наук

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль):

Должен знать:

основные принципы создания и применения наноструктурированных гетерогенных и гомогенных катализаторов; инновационные и традиционные методы и средства планирования нанокаталитических процессов.

Должен уметь:

анализировать особенности процессов катализа с участием наноструктурированных частиц и объектов; применять инновационные и традиционные методы создания нанокаталитических систем в различных областях химии и технологии.

Должен владеть:

системным подходом для анализа нанокаталитических процессов; методами анализа эффективности проведения нанокаталитических процессов.

Должен демонстрировать способность и готовность:

понимать принципы действия наноразмерных катализаторов, представлять возможности и перспективы применения нанокатализа и связанных с ними явлений

### 2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (модуль) включена в раздел "Б1.В.ДВ.01.05 Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 04.04.01 "Химия (Инновационные материалы и методы их исследования)" и относится к дисциплинам по выбору части ОПОП ВО, формируемой участниками образовательных отношений.

Осваивается на 1 курсе в 1 семестре.

### 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных(ые) единиц(ы) на 108 часа(ов).

Контактная работа - 28 часа(ов), в том числе лекции - 18 часа(ов), практические занятия - 10 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 44 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 36 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: экзамен в 1 семестре.

### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

#### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине (модулю)

N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабораторные работы, всего	Лабораторные в эл. форме	
N	Разделы дисциплины / модуля	Се- местр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)						Само- стоя- тель- ная ра- бота
			Лекции, всего	Лекции в эл. форме	Практи- ческие занятия, всего	Практи- ческие в эл. форме	Лабораторные работы, всего	Лабораторные в эл. форме	
1.	Тема 1. Введение. Нанонаука и нанотехнология	1	1	0	0	0	0	0	3
2.	Тема 2. Классификация нанообъектов	1	1	0	0	0	0	0	2
3.	Тема 3. Поверхность твердых тел	1	2	0	0	0	0	0	6
4.	Тема 4. Роль катализа в нанохимии и нанотехнологии	1	2	0	0	0	0	0	6
5.	Тема 5. Методы исследования нанокаталитических систем	1	2	0	2	0	0	0	6
6.	Тема 6. Гомогенный нанокатализ	1	2	0	2	0	0	0	6
7.	Тема 7. Гетерогенный нанокатализ	1	2	0	4	0	0	0	4
8.	Тема 8. Обзор нанокаталитических процессов	1	2	0	0	0	0	0	6
9.	Тема 9. Биокатализ и нанотехнологии	1	2	0	2	0	0	0	4
4.2	<b>Содержание дисциплины (модуля)</b>								
	Тема 10. Возможности и перспективы развития и применения нанокатализа	1	2	0	0	0	0	0	1
	<b>Введение. Нанонаука и нанотехнология. Основные понятия и термины нанонауки, нанохимии и нанотехнологии. Нанотехнология</b>								
	<b>Нанотехнология</b> означает одну миллиардную (10 <sup>-9</sup> ) часть чего-либо. Нанотехнология – относительно новое слово, однако структуры и устройства нанометровых размеров не новы и существуют на Земле столько же, сколько существует сама жизнь. Впервые термин «нанотехнология» употребил Норио Танигути в 1974 г., назвав так производство изделий размером порядка нанометров. Базисом индустрии наносистем являются новые, ранее не известные свойства и функциональные возможности материальных систем при переходе к наномасштабам, определяемых особенностями процессов переноса и распределения зарядов, энергии, массы и информации при наноструктурировании, то есть при переходе к объектам, представляющим собой интеграцию искусственно или естественно упорядоченных наносистем. Наносистема – материальный объект в виде упорядоченных или самоупорядоченных, связанных между собой элементов с нанометрическими характеристическими размерами, кооперация которых обеспечивает возникновение у объекта новых свойств, проявляющихся в виде квантово-размерных, синергетически-кооперативных, «гигантских» эффектов и других явлений и процессов, связанных с проявлением наномасштабных факторов. Наноматериалы – вещества и композиции веществ, представляющие собой искусственно или естественно упорядоченную или неупорядоченную систему базовых элементов с нанометрическими характеристическими размерами и особым проявлением физического и (или) химического взаимодействий при кооперации наноразмерных элементов. Нанотехнология – совокупность методов и способов синтеза, сборки, структуро- и формообразования, нанесения, удаления и модифицирования материалов, включая систему знаний, навыков, умений, аппаратурное, материаловедческое, метрологическое, информационное обеспечение процессов и технологических операций, направленных на создание материалов и систем с новыми свойствами, обусловленными проявлением наномасштабных факторов. Нанодиагностика – совокупность специализированных методов исследований, направленных на изучение структурных, морфолого-топологических, механических, электрофизических, оптических, биологических характеристик наноматериалов и наносистем, анализ нанокolicеств вещества, измерение метрических параметров с наноточностью. Нанонаука – система знаний, основанная на описании, объяснении и предсказании свойств материальных объектов с нанометрическими характеристическими размерами или систем более высокого метрического уровня, упорядоченных или самоупорядоченных на основе наноразмерных элементов. Нанотехника – машины, механизмы, приборы, устройства, материалы, созданные с использованием новых свойств и функциональных возможностей систем при переходе к наномасштабам и обладающие ранее недостижимыми массогабаритными и энергетическими показателями, технико-экономическими параметрами и функциональными возможностями.								44

**Тема 2. Классификация нанообъектов**

Классификация нанобъектов: нанокластеры, наночастицы, наноструктуры. Свойства веществ в наноразмерном состоянии. Размерные эффекты.

Наночастица ? агрегат атомов с размерами от 5 до 100 нм (10<sup>3</sup>-10<sup>8</sup> атомов), рассматриваемый как часть объемного материала. Кластер ? сложное объединение нескольких атомов или молекул, размером 1-5 нм (до 10<sup>4</sup> атомов). Атомные кластеры можно условно классифицировать на основании их размеров и связи между размерами частицы и количеством составляющих ее атомов. Наноструктуры ? наночастицы, имеющие сложную форму и строение. Нанобъекты классифицируют по линейным размерам: 0D: свободные и стабилизированные нанокластеры, фуллерены, квантовые точки; 1D: наностержни, нанонити, нанотрубки, наноленты, вискеры; 2D: тонкие пленки, гетероструктуры, пленки Лэнгмюра-Блоджетт, нанопластины, адсорбционные и самособирающиеся монослои, а также двухмерные массивы объектов в нанометровом диапазоне; 3D: наночастицы и наночастицы в оболочке, нанокомпозиты и самоорганизующиеся массивы нанобъектов. Нанокластеры можно разделить на молекулярные, газовые безлигандные, коллоидные, матричные и твердотельные.

Методы синтеза кластеров включают прежде всего конденсацию из газовой фазы: создание пересыщенного пара с последующим осаждением. Образование пара: термическое испарение; ионное, плазменное или магнетронное распыление; лазерная абляция; испарение взрывом и т.д. Устойчивость кластеров характеризуется набором магических чисел. Структура и размер нанобъектов определяют их свойства ? электронные, магнитные, оптические, реакцию способность и другие.

### **Тема 3. Поверхность твердых тел**

Поверхность твердых тел. Поверхностные явления. Поверхность монокристаллов, нанокластеров и пористых сорбентов. Примесные атомы. Поверхность металлов и оксидов металлов, электронные и магнитные свойства.

Науку о поверхностных явлениях можно определить как область, изучающую природу поверхности, т.е. ее физическую и электронную структуру, а также взаимодействия между молекулами в газовой фазе и поверхностью.

Этапы развития и ключевые фигуры: 1937 г. Дэвиссон, Томсон (дифракция электронов на кристалле), Нобелевская премия по физике; работа в условиях сверхвысокого вакуума. 1930-1950 гг. Мюллер (изобретение эмиссионного и ионного микроскопов).

С середины 1960-х активно изучаются поверхности с известной морфологией. В 1970-1980 гг. на основе изучения каталитических процессов в различных системах формируются следующие важные идеи: связь структуры поверхности катализатора и реакционной способности; роль прекурсоров; роль перестройки (реорганизации) поверхности катализатора (Эртль, Соморджай, Кинг). 2007 г. Герхард Эртль (Германия) Нобелевская премия по химии за изучение гетерогенно-каталитических процессов.

Исследования в области поверхностных явлений стали основой для нанонауки благодаря развитию техники, возникновению новых идей, и выяснению ключевой роли, которую играют наноразмерные явления в важных поверхностных процессах. Следует помнить, что чем глубже мы погружаемся в наномир, тем больше увеличивается поверхность материала, и тем значительнее становятся свойства поверхностного слоя.

### **Тема 4. Роль катализа в нанохимии и нанотехнологии**

Роль катализа в нанохимии и нанотехнологии. Катализ в процессах получения нанобъектов. Наноструктурированные катализаторы. Типы нанокаталитических систем, их характерные особенности.

Основные роли катализа в нанонауке: получение наноструктур; наноструктуры как катализаторы. Революция, происходящая в настоящее время в нанонауке, обусловлена сопутствующими достижениями в технологии. Во-первых, появилась возможность получения все меньших и меньших структур; во-вторых, происходит постоянное увеличение точности приготовления таких структур.

Основные характеристики наноразмерных катализаторов: большая площадь поверхности, высокая каталитическая активность, адсорбирующая способность, склонность к агломерации, химическое разнообразие, разнообразное происхождение и применение. Основные типы: углеродные (углерод, уголь, графит, углеродные нанотрубки, графен, фуллерены, неорганические нанотрубки), металлы и оксиды (алюминий, серебро, золото, платина, палладий, кобальт, диоксиды титана и кремния, оксиды цинка, алюминия, железа, церия), глины, квантовые точки и другие. Зависимость свойств нанокатализаторов от их размеров в большой степени определяют преимущества их использования в катализе.

### **Тема 5. Методы исследования нанокаталитических систем**

Методы исследования нанокаталитических систем.

Ключевым фактором развития нанонауки явилось усовершенствование старых и создание новых инструментальных средств для определения параметров наноструктур. Для понимания свойств наноматериалов надо, прежде всего, знать их атомарную структуру. Кристаллографические методы исследования (рентгеноструктурный анализ, порошковая дифрактография). Определение размеров частиц ? масс-спектрометрические методы.

Методы микроскопии: просвечивающая электронная микроскопия, ионно-полевая микроскопия, сканирующая микроскопия. Сканирующая микроскопия. Просвечивающая электронная микроскопия. Устройство сканирующего туннельного микроскопа, принцип действия которого основан на туннельном эффекте. Атомно-силовой микроскоп, режимы работы. Все виды сканирующей микроскопии предоставляют исследователю информацию о топографии и дефектах структуры поверхности с разрешением, близким к атомному. Анализ морфологии структур и манипуляция атомами.

Спектроскопические методы в анализе наноразмерных катализаторов: инфракрасная и рамановская спектроскопия, фотоэмиссионная и рентгеновская спектроскопия, магнитный резонанс.

### **Тема 6. Гомогенный нанокатализ**

Гомогенный нанокатализ. Коллоидные кластеры и наноструктуры. Коллоидные наночастицы переходных металлов как квазигомогенные нанокаталитические системы.

Проблемы использования металлических наночастиц в катализе связаны с нерастворимостью, склонностью к слипанию и агломерации. Наночастицы металлов обычно нерастворимы в неорганических и органических растворителях, но в коллоидной форме они могут проявлять большую каталитическую активность. Металлические частицы стабилизируют в виде коллоидов при помощи поверхностно-активных веществ.

Методы синтеза включают химические методы (потенциально крупномасштабные), золь-гель метод, преципитацию, химическое осаждение и другие. Для предотвращения слипания наночастиц вводят так называемые защитные лиганды или поверхностно-активные вещества. Стабилизированные коллоидные наночастицы разнообразных металлов могут рассматриваться как квазигомогенные каталитические системы в различных процессах. Катализ на основе супрамолекулярных и макромолекулярных систем (краун-эфиры, криптанды, каликсарены, поданды, порфирины, дендримеры и комплексы на их основе).

### **Тема 7. Гетерогенный нанокатализ**

Гетерогенный нанокатализ. Типы гетерогенных нанокаталитических систем, методы получения и свойства. Углеродные наноструктуры (графен, углеродные нанотрубки, фуллерены). Неорганические нанотрубки. Наночастицы и нанокластеры металлов и оксидов металлов. Полупроводниковые наночастицы.

Углеродные наноструктуры благодаря своим уникальным свойствам могут широко использоваться в каталитических процессах. На основе аллотропов углерода разработано множество современных материалов ? конструкционных, инструментальных, теплозащитных, полимерных и др. Графен ? 2D плоская наноструктура. Фуллерены (бакиболы) -0D наноструктуры, аналоги полиароматических систем, могут образовывать эндо-, экзо-структуры и соединения замещения; наличие полости позволяет использовать их в качестве капсул и переносчиков различных частиц, полярных и неполярных фрагментов.

Углеродные нанотрубки (УНТ) ? наиболее интересный представитель с точки зрения использования в катализе. Они представляют собой 1D проволоки молекулярного размера с хорошо развитой и однородной атомной поверхностью и обладают удивительными механическими и электронными свойствами. УНТ могут обладать свойствами металлов или полупроводников в зависимости от их структуры. Широко используются как катализаторы и в качестве носителей и подложек для нанокатализаторов. Модификация поверхности УНТ увеличивает их каталитическую активность. Известны процессы, протекающие в цилиндрической полости нанотрубок.

Неорганические нановолокна представляют собой другой уникальный класс 1D-размерных наноматериалов, обладающих особыми химическими, физическими и механическими свойствами. Такие нановолокна являются кристаллическими цилиндрическими материалами, служат модельными системами для понимания основных явлений в одномерном пространстве.

Металлические нанокатализаторы. Главенствующая роль размерных эффектов в изменении основных характеристик нанокаталитических частиц ? активности, селективности, стабильности. Выявление роли размеров нанокластеров на примере процесса десульфуризации сырой нефти с участием сульфида молибдена, нанесенного на золотую подложку. Разработка модельных наночастиц и выявление основных закономерностей протекания нанокаталитических процессов позволяют создавать новое поколение катализаторов.

В нанометровом диапазоне можно подготовить объемные материалы с мелкими пустотами, например, цеолиты, силикаты, глиноземы. Важной особенностью столбчатых глин является наличие кислотных центров Льюиса или Бренстеда, где и происходит реакция. Такие катализаторы изучались в процессах крекинга (например, получение бензина крекингом нефти). Одним из недостатков способа является склонность глин к коксованию.

Важнейшие условия синтеза наночастиц: неравновесность систем, высокая химическая однородность, монодисперсность. Методы получения наночастиц: подходы ?сверху-вниз? и ?снизу-вверх?. Физические и химические методы получения: газофазный синтез, химическое осаждение, золь-гель метод, механическое измельчение и др.

### Тема 8. Обзор нанокаталитических процессов

Обзор нанокаталитических процессов. Дегидрирование бутана до бутена и бутадиена. Окисление оксида углерода. Окисление кобальта. Окисление пропилена. Гидродесульфирование нефтепродуктов.

Примеры:

Переработка биомассы в биотопливо (катализатор: NiO на подложке из  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

Биодизель из отработанного кулинарного масла (катализатор: нанотрубки состава (Al<sub>0.9</sub>Ni<sub>0.3</sub>PW<sub>12</sub>O<sub>40</sub>))

?Зеленое? производство дизельного топлива по Фишеру-Тропшу (катализатор: нанопорошки Fe и Co, промотированные Mn, Cu, щелочными металлами).

Каталитическое сжигание авиатоплива (катализатор: кластеры Pd, защищенные монослоем гексантиола).

Риформинг этанола до водорода (катализатор: мезопористый In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на кремниевом темплате) и др.

### Тема 9. Биокатализ и нанотехнологии

Биокатализ и нанотехнологии. Биологические нанообъекты. Белки, нуклеиновые кислоты, полипептиды: строение, свойства, биологические функции. Биополимеры. Ферментативный катализ. Ферменты: строение и свойства, активный центр ферментов.

Нанобиотехнология - область науки на стыке биологии и нанотехнологии, которая охватывает широкий круг технологических подходов, включая: применение нанотехнологических устройств и наноматериалов в биотехнологии; использование биологических молекул для нанотехнологических целей; создание биотехнологических продуктов, свойства которых определяются размерными характеристиками в диапазоне 1-100 нм; использование биотехнологических подходов, в основе которых лежит принцип контролируемой самоорганизации наноструктур.

Биологические нанообъекты: вирусы ? 10-200 нм, верхний диапазон наночастиц; белки ? 4-50 нм, нижний диапазон наночастиц; аминокислоты ? около 1 нм, можно уподобить нанопроволоке; ДНК ? двойная наноцепь.

Биополимеры являются структурной основой живых организмов и обеспечивают их жизнедеятельность, выполняя разнообразные биологические функции. К биополимерам относятся белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды. Существуют также смешанные биополимеры, например, гликопротеины (и липопротеины). Ввиду своего размера и уникальных свойств биополимеры используются для создания биомиметических наноматериалов. Биомиметика ? создание устройств, приборов, механизмов или технологий, идея и основные элементы которых заимствуются из живой природы.

Ферменты - белковые молекулы, реже молекулы РНК или их комплексы, ускоряющие (катализирующие) химические реакции в живых системах. Ферменты выступают в роли катализаторов практически во всех биохимических реакциях, протекающих в живых организмах: ими катализируется около 4000 реакций. По типу и механизму действия ферменты подразделяются на оксидоредуктазы, трансферазы, гидролазы, лиазы, изомеразы, лигазы. Отличительной особенностью ферментов по сравнению с небелковыми катализаторами является их высокая специфичность. Специфичность и активность ферментов определяются их трехмерной структурой и достигаются частичной комплементарностью распределения зарядов и гидрофобных областей на молекуле субстрата и в центре связывания субстрата на ферменте. При этом эффективность ферментов значительно выше эффективности небелковых катализаторов: ферменты ускоряют реакцию в миллионы и миллиарды раз, небелковые катализаторы ? в сотни и тысячи раз. Ферменты широко используются в пищевой и текстильной промышленности, в фармакологии и биотехнологии. Многие ферменты промышленного назначения производятся биотехнологически.

Нанофармакология. Идея применения наночастиц для повышения эффективности воздействия фармакологических средств диагностики и терапии основана на том факте, что вещества в наноформе имеют свойства, отличные от свойств веществ в макродисперсной форме. В частности, высокая удельная поверхность наноматериалов приводит к тому, что поверхностные явления (адсорбция, десорбция, адгезия) начинают играть преобладающую роль в процессах их взаимодействия с макромолекулами и биологическими объектами. Следствием этого является то, что даже невысокие концентрации наночастиц, не оказывающие значительного токсического эффекта, могут производить значительное воздействие на живые организмы. Систематическое изучение закономерностей действия лекарственных веществ в наноформе позволит определить как их терапевтический потенциал, так и возможные риски для здоровья человека.

### Тема 10. Возможности и перспективы развития и применения нанокатализа

Возможности и перспективы развития и применения нанокатализа обусловлены развитием нанонауки и нанотехнологии в целом.

Прогнозы развития нанотехнологии включают:

Краткосрочная перспектива - Изготовление инструментов и некоторых новых материалов (порошки, композиты) на основе нанотехнологий. Некоторые компании организовали такие производства и уже становятся доходными. Производство одномерных химических и биологических датчиков, портативных медицинских и диагностических устройств. Начало производства микроэлектромеханических устройств.

Среднесрочная перспектива - Начало производства двухмерных нанoeлектронных устройств (запоминающие устройства, дисплеи, солнечные батареи). Появление иерархически структурированных наноматериалов и освоение самосборки биомолекул в нанотехнологических процессах. ■ Эффективное использование нанoeустройств для аккумулялирования и преобразования энергии. Развитие методов пассивной доставки лекарств в организме и диагностики. Производство имплантируемых медицинских нано устройств.

Далекая перспектива - Развитие трехмерной нанoeлектроники. Развитие наномедицины. Разработка искусственных хромосом. Использование квантовых компьютеров для расчета характеристик молекул и других нанообъектов. Начало массового производства нанотоваров.

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)**

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 6 апреля 2021 года №245)

Письмо Министерства образования Российской Федерации №14-55-99бин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Устав федерального государственного автономного образовательного учреждения "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Правила внутреннего распорядка федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет"

Локальные нормативные акты Казанского (Приволжского) федерального университета

## **6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)**

Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) включает оценочные материалы, направленные на проверку освоения компетенций, в том числе знаний, умений и навыков. Фонд оценочных средств включает оценочные средства текущего контроля и оценочные средства промежуточной аттестации.

В фонде оценочных средств содержится следующая информация:

- соответствие компетенций планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю);
- критерии оценивания сформированности компетенций;
- механизм формирования оценки по дисциплине (модулю);
- описание порядка применения и процедуры оценивания для каждого оценочного средства;
- критерии оценивания для каждого оценочного средства;
- содержание оценочных средств, включая требования, предъявляемые к действиям обучающихся, демонстрируемым результатам, задания различных типов.

Фонд оценочных средств по дисциплине находится в Приложении 1 к программе дисциплины (модулю).

## **7. Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**



Освоение дисциплины (модуля) предполагает изучение основной и дополнительной учебной литературы. Литература может быть доступна обучающимся в одном из двух вариантов (либо в обоих из них):

- в электронном виде - через электронные библиотечные системы на основании заключенных КФУ договоров с правообладателями;

- в печатном виде - в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского. Обучающиеся получают учебную литературу на абонементе по читательским билетам в соответствии с правилами пользования Научной библиотекой.

Электронные издания доступны дистанционно из любой точки при введении обучающимся своего логина и пароля от личного кабинета в системе "Электронный университет". При использовании печатных изданий библиотечный фонд должен быть укомплектован ими из расчета не менее 0,5 экземпляра (для обучающихся по ФГОС 3++ - не менее 0,25 экземпляра) каждого из изданий основной литературы и не менее 0,25 экземпляра дополнительной литературы на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих данную дисциплину.

Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля), находится в Приложении 2 к рабочей программе дисциплины. Он подлежит обновлению при изменении условий договоров КФУ с правообладателями электронных изданий и при изменении комплектования фондов Научной библиотеки КФУ.

## 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Кинетика и катализ, периодический журнал - <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=712147>

Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии - <http://e.lanbook.com/view/book/2173/page2/>

основы катализа - <http://e.lanbook.com/view/book/4312/page431/>

основы нанотехнологии - <http://e.lanbook.com/view/book/5793/page1/>

Словарь нанотехнологических и связанных с нанотехнологиями терминов -

[http://thesaurus.rusnano.com/search/?q=%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD](http://thesaurus.rusnano.com/search/?q=%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD%D0%BA%D0%B0%D1%82%D0%B0%D0%BB%D0%B8%D0%B7+%D0%B2+%D0%BD)

## 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Вид работ	Методические рекомендации
лекции	<p>В ходе лекционных занятий следует вести конспектирование учебного материала. Необходимо обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций. Результаты конспектирования могут быть представлены в различных формах.</p> <p>План - это схема прочитанного материала, краткий (или подробный) перечень вопросов, отражающих структуру и последовательность материала. Подробно составленный план вполне заменяет конспект.</p> <p>Конспект - это систематизированное, логичное изложение материала источника. Различаются четыре типа конспектов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- План-конспект - это развернутый детализированный план, в котором достаточно подробные записи приводятся по тем пунктам плана, которые нуждаются в пояснении.</li> <li>- Текстуальный конспект - это воспроизведение наиболее важных положений и фактов источника.</li> <li>- Свободный конспект - это четко и кратко сформулированные (изложенные) основные положения в результате глубокого осмысливания материала. В нем могут присутствовать выписки, цитаты, тезисы; часть материала может быть представлена планом.</li> <li>- Тематический конспект - составляется на основе изучения ряда источников и дает более или менее исчерпывающий ответ по какой-то схеме (вопросу).</li> </ul>

Вид работ	Методические рекомендации
<p>практические занятия</p>	<p>Важной составной частью учебного процесса в университете являются практические занятия. Практические (семинарские) занятия проводятся главным образом по дисциплинам, требующим научно-теоретического обобщения литературных источников, и помогают студентам глубже усвоить учебный материал, приобрести навыки творческой работы над документами и первоисточниками. Планы семинарских занятий, их тематика, рекомендуемая литература, цель и задачи ее изучения сообщаются преподавателем на вводных занятиях или в методических указаниях по данной дисциплине. Начиная подготовку к занятию, преподаватель указывает студентам страницы в конспекте лекций, разделы учебников и учебных пособий, чтобы они получили общее представление о месте и значении темы в изучаемом курсе. Затем следуют рекомендации по работе с дополнительной литературой. Подготовка к практическому занятию включает 2 этапа:                      1й - организационный;                      2й - закрепление и углубление теоретических знаний.                      На первом этапе студент планирует свою самостоятельную работу, которая включает:                      -уяснение задания на самостоятельную работу;                      -подбор рекомендованной литературы;                      -составление плана работы, в котором определяются основные пункты предстоящей подготовки.                      Составление плана дисциплинирует и повышает организованность в работе.                      Второй этап включает непосредственную подготовку студента к занятию. Начинать надо с изучения рекомендованной литературы. Необходимо помнить, что на лекции обычно рассматривается не весь материал, а только его часть. Остальная его часть восполняется в процессе самостоятельной работы. В связи с этим работа с рекомендованной литературой обязательна. Особое внимание при этом необходимо обратить на содержание основных положений и выводов, объяснение явлений и фактов, уяснение практического приложения рассматриваемых теоретических вопросов. В процессе этой работы студент должен стремиться понять и запомнить основные положения рассматриваемого материала, примеры, поясняющие его, а также разобраться в иллюстративном материале.                      Заканчивать подготовку следует составлением плана (конспекта) по изучаемому материалу (вопросу). Это позволяет составить концентрированное, сжатое представление по изучаемым вопросам.</p>
<p>самостоятельная работа</p>	<p>В процессе подготовки к занятиям при необходимости следует обращаться за консультацией к преподавателю. Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения.                      Записи имеют первостепенное значение для самостоятельной работы студентов. Они помогают понять построение изучаемого материала, выделить основные положения, проследить их логику и тем самым проникнуть в творческую лабораторию автора. Ведение записей способствует превращению чтения в активный процесс, мобилизует, наряду со зрительной, и моторную память. Следует помнить: у студента, систематически ведущего записи, создается свой индивидуальный фонд подсобных материалов для быстрого повторения прочитанного, для мобилизации накопленных знаний. Особенно важны и полезны записи тогда, когда в них находят отражение мысли, возникшие при самостоятельной работе.                      Важно развивать у студентов умение сопоставлять источники, продумывать изучаемый материал. Большое значение имеет совершенствование навыков конспектирования у студентов.                      Изучение дисциплины следует начинать с проработки настоящей рабочей программы, особое внимание, уделяя целям и задачам, структуре и содержанию курса.                      В ходе подготовки к занятиям необходимо изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, новыми публикациями в периодических изданиях: журналах, газетах и т.д. При этом требуется учесть рекомендации преподавателя и требования учебной программы. Студент может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании курсовых и дипломных работ.                      Студентам рекомендуется получить в Библиотечно-информационном центре университета учебную литературу по дисциплине, необходимую для эффективной работы на всех видах аудиторных занятий, а также для самостоятельной работы по изучению дисциплины.                      Успешное освоение курса предполагает активное, творческое участие студента путем планомерной, повседневной работы.</p>

Вид работ	Методические рекомендации
экзамен	<p>Экзамен как форма промежуточного контроля и организации обучения служит приемом проверки степени усвоения учебного материала и лекционных занятий, качества усвоения обучающимися отдельных разделов учебной программы, сформированных умений и навыков. Экзамен проводится в устной форме в объеме учебной программы. Преподаватель вправе задать дополнительные вопросы, помогающие выяснить степень знаний обучающегося в пределах учебного материала, вынесенного на экзамен. В период подготовки к экзамену обучающиеся вновь обращаются к пройденному учебному материалу, используя лекции и рекомендованную литературу. При этом они не только закрепляют полученные знания, но и получают новые.</p> <p>Подготовка обучающегося к экзамену включает в себя три этапа: самостоятельная работа в течение процесса обучения; непосредственная подготовка в дни, предшествующие экзамену по темам курса; подготовка к ответу на вопросы непосредственно на экзамене, на которую обучающемуся дается 30 минут с момента получения им вопросов.</p>

**10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем, представлен в Приложении 3 к рабочей программе дисциплины (модуля).

**11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)**

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине (модулю) включает в себя следующие компоненты:

Помещения для самостоятельной работы обучающихся, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья) и оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду КФУ.

Учебные аудитории для контактной работы с преподавателем, укомплектованные специализированной мебелью (столы и стулья).

Компьютер и принтер для распечатки раздаточных материалов.

Мультимедийная аудитория.

Специализированная лаборатория.

**12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья**

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников - например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения - аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий;
- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи;

- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, - не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, - не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы - не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 04.04.01 "Химия" и магистерской программе "Инновационные материалы и методы их исследования".

### Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Направление подготовки: 04.04.01 - Химия

Профиль подготовки: Инновационные материалы и методы их исследования

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

#### Основная литература:

1. Головин, Ю. И. Основы нанотехнологий / Ю. И. Головин. - Москва : Машиностроение, 2012. - 656 с. - ISBN 978-5-94275-662-8. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/5793> (дата обращения: 28.05.2021). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Рамбиди, Н. Г. Физические и химические основы нанотехнологий : учебное пособие / Н. Г. Рамбиди, А. В. Берёзкин. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2009. - 456 с. - ISBN 978-5-9221-0988-8. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/2291> (дата обращения: 28.05.2021). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### Дополнительная литература:

1. Введение в нанотехнологию : учебник / В. И. Марголин, В. А. Жабрев, Г. Н. Лукьянов, В. А. Тупик. - Санкт-Петербург : Лань, 2021. - 464 с. - ISBN 978-5-8114-1318-8. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/168460> (дата обращения: 28.05.2021). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Основы физической химии. В 2 ч : учебник / В. В. Еремин, С. И. Каргов, И. А. Успенская [и др.]. - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва : Лаборатория знаний, 2019. - 625 с. - ISBN 978-5-00101-633-5. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/116100> (дата обращения: 28.05.2021). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Елисеев, А. А. Функциональные наноматериалы : учебное пособие / А. А. Елисеев, А. В. Лукашин ; под редакцией Б. Д. Третьякова. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. - 456 с. - ISBN 978-5-9221-1120-1. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/59578> (дата обращения: 28.05.2021). - Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Сергеев Г.Б., Нанохимия: монография / Сергеев Г.Б. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Издательство Московского государственного университета, 2007. - 336 с. - ISBN 978-5-211-05372-4 - Текст : электронный // ЭБС 'Консультант студента' : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785211053724.html> (дата обращения: 28.05.2021). - Режим доступа : по подписке.
5. Наноструктуры в биомедицине / под редакцией К. Гонсалвес [и др.] ; перевод с английского С. А. Бусева [и др.]. - 4-е изд. - Москва : Лаборатория знаний, 2020. - 538 с. - ISBN 978-5-00101-729-5. - Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. - URL: <https://e.lanbook.com/book/135509> (дата обращения: 28.05.2021). - Режим доступа: для авториз. пользователей.

**Перечень информационных технологий, используемых для освоения дисциплины (модуля), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем**

Направление подготовки: 04.04.01 - Химия

Профиль подготовки: Инновационные материалы и методы их исследования

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

Год начала обучения по образовательной программе: 2023

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010

Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat Reader DC

Kaspersky Endpoint Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.