

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
материаловедения и индустрии наносистем



В.М. Иевлев  
21.04.2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.14 Нанокластеры и наноструктуры: синтез и свойства**

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:**  
04.03.02 Химия, физика и механика материалов
- 2. Профиль подготовки/специализация:**  
\_\_\_Материаловедение и индустрия наносистем\_\_\_
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** Материаловедения и индустрии наносистем
- 6. Составители программы:** Томина Елена Викторовна, доктор химических наук, доцент
- 7. Рекомендована:** Научно-методическим советом химического факультета, протокол №3 от 19.04.2022
- 8. Учебный год:** 2025-2026 **Семестр(ы):** 7

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Формирование целостного представления о структуре и физико-химических свойствах веществ в ультрадисперсном состоянии, о природе и проявлениях наноразмерных эффектов в нанодисперсных системах, умений использовать знания для интерпретации процессов синтеза и свойств широкого круга наноматериалов, овладение навыками проведения самостоятельных экспериментальных исследований в области синтеза наноматериалов.

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Б1, часть, формируемая участниками образовательных отношений

Студенты должны иметь теоретическую и практическую подготовку по дисциплинам «Общая и неорганическая химия», «Реальная структура материалов», «Структурная химия и кристаллохимия».

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-2	Способен использовать знания о методах синтеза и свойствах материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, для решения профессиональных задач	ПК-2.1	Способен выбирать методы синтеза материалов различного назначения (в том числе наноматериалов) в соответствии с поставленной задачей	Знать: основные технологии синтеза современных наноматериалов с различными функциональными свойствами, основные параметры синтеза и их влияние на характеристики материалов. Уметь: использовать знания для реализации основных технологий получения наноматериалов, оптимизации режимов синтеза и улучшения свойств наноматериалов Владеть: технологией синтеза нанопорошков золь-гель методом, синтеза нанопорошков с использованием микроволнового и ультразвукового излучений
		ПК-2.2	Способен использовать знания о свойствах материалов для решения конкретных профессиональных задач	Знать: классификацию, структуру, свойства нанокластеров, наночастиц и наноструктур, методы их синтеза; основные модели кластеров (фрактальная, оболочечная, структурная); кластерные реакции; обладать знаниями о зависимости химической активности и свойств частиц от размера, иметь целостное представление о проявлении и природе размерных эффектов в физико-химии нанокластеров и наночастиц. Уметь: использовать знания для интерпретации процессов синтеза и свойств широкого круга наноматериалов, включая объекты, полученные самостоятельно в рамках научно-исследовательской деятельности Владеть: навыками проведения самостоятельных экспериментальных исследований в области синтеза наночастиц и наноматериалов, изучения их свойств

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 5/180.**

**Форма промежуточной аттестации – экзамен.**

### 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость		
		Всего	По семестрам	
			7 семестр	8 семестр
Контактная работа		72	72	
в том числе:	лекции	36	36	
	практические	36	36	
	лабораторные	-	-	
	курсовая работа	36	36	
Самостоятельная работа		36	36	
Промежуточная аттестация (для экзамена)		36	36	
Итого:		180	180	

#### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Классификация и методы получения нанокластеров	Газовые безлигандные кластеры. Коллоидные кластеры. Твердотельные нанокластеры и наноструктуры. Матричные нанокластеры и супрамолекулярные структуры. Кластерные кристаллы.	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=998">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=998</a> 5
1.2	Молекулярные лигандные кластеры.	Молекулярные кластеры металлов и их свойства. Кластеры на основе оксидов металлов и их свойства.	
1.3	Безлигандные металлические кластеры.	Кластеры щелочных металлов и серебра. Кластеры алюминия, их реакционная способность. Кластеры переходных металлов, их стабильность и диссоциация.	
1.4	Кластеры инертных газов и малых молекул.	Кластеры инертных газов и малых молекул. Нейтральные и заряженные кластеры инертных газов. Кластеры воды.	
1.5	Углеродные кластеры.	Малые углеродные кластеры. Фуллерены.	
1.6	Кластерные модели.	Термодинамическая модель кластера. Квантово-статистическая модель. Компьютерные модели кластеров. Фрактальные модели кластеров. Оболочные модели кластеров. Структурные модели кластеров.	
1.7	Кластерные реакции.	Реакции рекомбинации. Реакции обмена. Реакции присоединения.	

1.8	Фуллериты и углеродные нанотрубки.	Структура и свойства фуллеритов и углеродных нанотрубок.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=998 5
1.9	Размерные эффекты в физико-химии нанокластеров и наночастиц	Зависимость химической активности и свойств частиц от размера. Структурные и фазовые превращения, параметр решетки. Фононный спектр и теплоемкость. Оптические и магнитные свойства.	
1.10	Химия наночастиц sp-металлов	Химические реакции наночастиц щелочных, щелочно-земельных металлов и подгруппы бора.	
1.11	Химия наночастиц переходных металлов.	Реакции наночастиц переходных металлов I-IIВ групп и VIII группы Периодической системы. Взрывные реакции. Реакции частиц серебра разного размера и формы	
1.12	Химия углеродных кластеров и нанотрубок	Реакции с участием наночастиц углерода (фуллерена и углеродных нанотрубок)	
<b>2. Практические занятия</b>			
2.1	Синтез и классификация нанокластеров, наночастиц и наноматериалов.	Подходы к классификации нанодисперсных систем. Физические и химические методы получения нанокластеров и наносистем.	https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=998 5
2.2	Зондовая микроскопия как инструментарий исследований на наноуровне.	Санирующая туннельная микроскопия. Атомно-силовая микроскопия.	
2.3	Нанодисперсные системы на основе элементов I группы Периодической системы	Нанокластеры, наночастицы и наноструктуры на основе элементов I группы Периодической системы: синтез, свойства, применение. Реферат. Обсуждение	
2.4	Нанодисперсные системы на основе элементов II группы Периодической системы	Нанокластеры, наночастицы и наноструктуры на основе элементов II группы Периодической системы: синтез, свойства, применение. Реферат. Обсуждение	
2.5	Нанодисперсные системы на основе элементов III группы Периодической системы	Нанокластеры, наночастицы и наноструктуры на основе элементов III группы Периодической системы: синтез, свойства, применение. Реферат. Обсуждение	
2.6	Нанодисперсные системы на основе элементов IV группы Периодической системы	Нанокластеры, наночастицы и наноструктуры на основе элементов IV группы Периодической системы: синтез, свойства, применение. Реферат. Обсуждение	
2.7	Нанодисперсные системы на основе элементов V группы Периодической системы	Нанокластеры, наночастицы и наноструктуры на основе элементов V группы Периодической системы: синтез, свойства, применение. Реферат. Обсуждение	
2.8	Нанодисперсные системы на основе элементов VI группы Периодической системы	Нанокластеры, наночастицы и наноструктуры на основе элементов VI группы Периодической системы: синтез, свойства, применение. Реферат. Обсуждение	
2.9	Нанодисперсные системы на основе элементов VII группы Периодической системы	Нанокластеры, наночастицы и наноструктуры на основе элементов VII группы Периодической системы: синтез, свойства, применение.	

		Реферат. Обсуждение	
2.10	Нанодисперсные системы на основе элементов VIII группы Периодической системы	Нанокластеры, наночастицы и наноструктуры на основе элементов VIII группы Периодической системы: синтез, свойства, применение. Реферат. Обсуждение	<a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9985">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9985</a>
2.11	Синтез нанопорошка золь-гель методом	Освоение методики синтеза нанопорошков золь-гель методом, синтез нанопорошка, диспергирование нанопорошка с использованием ультразвука.	
2.12	Определение состава и размера наночастиц нанопорошка с использованием данных рентгенофазового анализа	Установление фазового состава нанопорошка методом рентгенофазового анализа и определение размера наночастиц на основе данных рентгеновских дифрактограмм.	

### 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Классификация и методы получения нанокластеров и наночастиц	6	6		6	18
2	Молекулярные лигандные кластеры.	2	2		4	8
3	Безлигандные металлические кластеры.	2	2		4	8
4	Кластеры инертных газов и малых молекул.	2	2		6	10
5	Углеродные кластеры.	2	2		6	10
6	Кластерные модели.	2	2		6	10
7	Кластерные реакции.	2	2		6	10
8	Фуллерены и углеродные нанотрубки.	4	4		6	14
9	Размерные эффекты в физико-химии нанокластеров и наночастиц	4	4		8	16
10	Химия наночастиц sp-металлов	4	4		8	16
11	Химия наночастиц переходных металлов.	4	4		6	14
12	Реакции с участием наночастиц углерода (фуллерена и углеродных нанотрубок)	2	2		6	14
	Курсовая работа				36	36
	Итого:	36	36		108	180

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

(рекомендации обучающимся по освоению дисциплины: работа с конспектами лекций, презентационным материалом, выполнение практических заданий, тестов, заданий текущей аттестации и т.д.)

Организация изучения дисциплины предполагает:

- работу с конспектами лекций, изучение основных и дополнительных литературных источников, систематическую работу с тематическими Интернет-ресурсами;
- выполнение практических заданий по синтезу нанопорошков;

При выполнении практических заданий студенты опираются на методические пособия:

1. Методы получения и исследования нанопорошков : учебно-методическое пособие для вузов / Воронеж. гос. ун-т; [сост.: Е.В. Томина и др.] .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2009 .— 37 с.;

2. Практикум синтез и исследование нанодисперсных систем [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. 4 к. днев. отд-ния хим. фак., для направления 020300 - Химия, физика и механика материалов] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: Е.В. Томина и др.] .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015

- текущий контроль успеваемости в форме устного опроса и защиты рефератов по основным разделам дисциплины.
- выполнение и защиту курсовой работы.
- 

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины** (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Рамбиди Н. Г.. Структура и свойства наноразмерных образований. Реалии современной нанотехнологии : учебное пособие / Н.Г. Рамбиди .— Долгопрудный : Интеллект, 2011 .— 375 с.
2	Суздаев И. П. Электрические и магнитные переходы в нанокластерах и наноструктурах / И.П. Суздаев .— Москва : КРАСАНД, 2012 .— 474 с..
3	Фахльман Б. Химия новых материалов и нанотехнологии / Б. Фахльман ; пер. с англ. Д.О. Чаркина и В.В. Уточниковой ; под ред. Ю.Д. Третьякова и Е.А. Гудилина. — Долгопрудный : Интеллект, 2011. — 463 с.
4	Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев .— Изд. 2-е., испр. — М. : Физматлит, 2009. — 414 с. // «Университетская библиотека online» : электронно-библиотечная система. – URL : <a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a>
5	Илюшин, В. А. Наноматериалы : учебное пособие / Илюшин В. А. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - 114 с. - ISBN 978-5-7782-3858-9. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778238589.html">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778238589.html</a> (дата обращения: 12.05.2022). - Режим доступа : по подписке.
6	Илюшин, В. А. Физикохимия наноструктурированных материалов : учеб. пособие / Илюшин В. А. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2013. - 107 с. - ISBN 978-5-7782-2215-1. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778222151.html">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778222151.html</a> (дата обращения: 12.05.2022). - Режим доступа : по подписке.
7	Барыбин, А. А. Физико-химия наночастиц, наноматериалов и наноструктур : учеб. пособие / А. А. Барыбин, В. А. Бахтина, В. И. Томилин, Н. П. Томилина - Красноярск : СФУ, 2011. - ISBN 978-5-7638-2396-7. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <a href="https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785763823967.html">https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785763823967.html</a> (дата обращения: 12.05.2022). - Режим доступа : по подписке.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
8	Суздаев И.П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И.П. Суздаев. – М. : КомКнига, 2006. – 592 с.
9	Наноматериалы: синтез нанокристаллических порошков и получение компактных нанокристаллических материалов : учебное пособие для вузов / И.Я. Миттова, Е.В. Томина, С.С. Лаврушина ; Воронеж. гос. ун-т. — Воронеж : ЛОП ВГУ, 2007. — 35 с.
10	Пул Ч.П. Нанотехнологии : учеб. пособие для студ., обуч. по направлению подгот. "Нанотехнологии" / Ч. Пул, Ф. Оуэнс ; пер. с англ. под ред. Ю. И. Головина; доп. В. В. Лучинина .— 2-е изд., доп. — М. : Техносфера, 2006. — 334 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Ресурс
11	ЭБС IPR BOOKS — Режим доступа: <a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
12	<a href="https://www.lib.vsu.ru/">https://www.lib.vsu.ru/</a> - сайт Зональной Научной Библиотеки Воронежского государственного университета
13	<a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> – Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - крупнейший

	российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 12 млн. научных статей и публикаций. На платформе eLIBRARY.RU доступны электронные версии более 1400 российских научно-технических журналов, в том числе более 500 журналов в открытом доступе.
14	<a href="http://www.nanometer.ru/">http://www.nanometer.ru/</a> - Нанотехнологическое сообщество «Нанометр»
15	<a href="http://www.rusnanonet.ru/">http://www.rusnanonet.ru/</a> - информационно-аналитический портал российской национальной нанотехнологической сети
16	Chemnet - официальное электронное издание Химического факультета МГУ в Internet, <a href="http://www.chem.msu.ru/rus/">http://www.chem.msu.ru/rus/</a>
17	Образовательный ресурс по материаловедению – <a href="http://www.materialscience.ru/lectures.htm">http://www.materialscience.ru/lectures.htm</a>

\* Вначале указываются ЭБС, с которыми имеются договора у ВГУ, затем открытые электронно-образовательные ресурсы

### 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Методы получения и исследования нанопорошков : учебно-методическое пособие для вузов / Воронеж. гос. ун-т; [сост.: Е.В. Томина и др.] .— Воронеж : ИПЦ ВГУ, 2009 .— 37 с.
2	Практикум синтез и исследование нанодисперсных систем [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. 4 к. днев. отд-ния хим. фак., для направления 020300 - Химия, физика и механика материалов] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: Е.В. Томина и др.] .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015 .

### 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При реализации дисциплины используются различные типы лекций – вводные лекции, информационные лекции с визуализацией (мультимедийные презентации), по отдельным темам – обзорные. На практических занятиях защита рефератов проходит с использованием мультимедийных презентаций. Использование ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9985>

### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

---

мультимедийный проектор BENQ, экран, ноутбук.

---

### 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Классификация и методы получения нанокластеров и наночастиц	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Практическое задание по синтезу нанопорошков
2.	Молекулярные лигандные кластеры.	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос
3.	Безлигандные металлические	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	кластеры.			
4.	Кластеры инертных газов и малых молекул.	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Защита рефератов
5.	Углеродные кластеры.	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Защита рефератов
6.	Кластерные модели.	ПК-2	ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос
	Кластерные реакции.		ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос
	Фуллерены и углеродные нанотрубки.		ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Защита рефератов
	Размерные эффекты в физико-химии нанокластеров и наночастиц		ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос
	Химия наночастиц s-металлов		ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Защита рефератов
	Химия наночастиц переходных металлов.		ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Защита рефератов
	Реакции с участием наночастиц углерода (фуллерена и углеродных нанотрубок)		ПК-2.1 ПК-2.2	Устный опрос Защита рефератов
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен, курсовая работа				<i>Перечень вопросов Перечень тем курсовых работ</i>

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

*Практико-ориентированные задания по синтезу нанопорошков*

Синтез нанопорошков оксида железа, феррита иттрия, феррита висмута, золь-гель методом с использованием микроволнового и ультразвукового излучений. Установление фазового состава нанопорошка методом рентгенофазового анализа и определение размера наночастиц на основе данных рентгеновских дифрактограмм.

Методика выполнения практико-ориентированного задания и его оформления изложена в пособии: Практикум синтез и исследование нанодисперсных систем [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. 4 к. днев. отд-ния хим. фак., для направления 020300 - Химия, физика и механика материалов] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост.: Е.В. Томина и др.] .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2015

*Реферат*

**Темы рефератов**

1. Способы синтеза, свойства и применение нанокластеров, наночастиц и наноструктур на основе элементов I группы Периодической системы (обзор современной научной литературы).
2. Способы синтеза, свойства и применение нанокластеров, наночастиц и наноструктур на основе элементов II группы Периодической системы (обзор современной научной литературы).
3. Способы синтеза, свойства и применение нанокластеров, наночастиц и наноструктур на основе элементов III группы Периодической системы (обзор современной научной литературы).
4. Способы синтеза, свойства и применение нанокластеров, наночастиц и наноструктур на основе элементов IV группы Периодической системы (обзор современной научной литературы).
5. Способы синтеза, свойства и применение нанокластеров, наночастиц и наноструктур на основе элементов V группы Периодической системы (обзор современной научной литературы).
6. Способы синтеза, свойства и применение нанокластеров, наночастиц и наноструктур на основе элементов VI группы Периодической системы (обзор современной научной литературы).
7. Способы синтеза, свойства и применение нанокластеров, наночастиц и наноструктур на основе элементов VII группы Периодической системы (обзор современной научной литературы).
8. Способы синтеза, свойства и применение нанокластеров, наночастиц и наноструктур на основе элементов VIII группы Периодической системы (обзор современной научной литературы).

#### Требования к оформлению реферата

Реферат представляется в электронном виде в формате документа MS Word. Шрифт – Times New Roman, размер – 13 pt. Поля: верхнее – 20 мм, правое – 15 мм, левое – 30 мм, нижнее – 25 мм. Абзацный отступ – 1,25 см. Межстрочный интервал – полуторный. Выравнивание – по ширине. Таблицы и рисунки должны быть пронумерованы и иметь названия. После титульного листа должно идти содержание.

Структура реферата: введение, основной текст с подразделами, заключение, список литературы. Список цитируемых источников оформляется в соответствии с ГОСТ, количество источников – не менее 15. Объем реферата – не менее 20 страниц.

Выступление для аудитории должен быть проведено с использованием презентации, которая должна включать в большей мере иллюстративный материал и минимум текста (пояснения, заголовки, ключевые моменты).

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

*Собеседование по экзаменационным билетам, курсовая работа*

---

#### **Перечень вопросов к экзамену:**

1. Понятия о наночастицах и наноматериалах
2. Способы классификации наночастиц и наноматериалов.
3. Физические методы получения нанокристаллических порошков – их особенности, достоинства и недостатки
4. Диспергирование (механическое и ультразвуковое) как способ получения НЧ
5. Синтез НЧ в реакциях восстановления в газовой и жидкой средах
6. Получение НРЧ в реакциях термоллиза
7. Плазмохимический синтез нанокристаллических порошков и пленок
8. Крионанохимия

9. Золь-гель технология
10. Синтез НЧ в реакциях, стимулированных излучением
11. Детонационный синтез неорганических нанокластеров и наноструктур
12. Упорядочение нестехиометрических соединений как метод получения НЧ
13. Молекулярные кластеры металлов и их свойства.
14. Оксометаллические лигандные кластеры
15. Кластеры щелочных металлов
16. Кластеры переходных металлов, их стабильность и диссоциация.
17. Магнитные свойства кластеров переходных металлов.
18. Кластеры алюминия, их поляризуемость, диссоциация и реакционная способность.
19. Кластеры ртути.
20. Оптические и электрические свойства наносистем на основе металлических нанокластеров.
21. Оптические и электрические свойства наносистем на основе полупроводниковых нанокластеров.
22. Кластеры инертных газов.
23. Кластеры воды.
24. Малые углеродные кластеры. Фуллерены
25. Кластерные модели.
26. Кластерные реакции
27. Фазовые превращения при образовании НЧ
28. Влияние размера частиц на параметр решетки
29. Оптические свойства НЧ металлов и полупроводников
30. Магнитные свойства наноматериалов
31. Размерный эффект на примере структурных и фазовых превращений
32. Химический размерный эффект
33. Каталитическая активность НЧ
34. Химические реакции НЧ переходных металлов
35. Углеродные нанотрубки

Для оценивания результатов обучения на экзамене используются следующие показатели:

- 1) знание классификации, способов синтеза, основных проявлений и природы размерных эффектов в нанодисперсных системах;
- 2) знание зависимости химической активности и свойств наночастиц и наноматериалов от размера;
- 3) умение раскрыть взаимосвязи между свойствами нанокластеров, наночастиц и наноматериалов и возможностью их практического применения;
- 4) умение использовать знания для интерпретации процессов синтеза и свойств широкого круга нанодисперсных объектов;
- 5) владение способностью иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач.

Для оценивания результатов обучения на экзамене используется 4-балльная шкала: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области физикохимии наноразмерных систем: нанокластеров, наноструктур, наноматериалов.	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен использовать знания для интерпретации процессов синтеза и	Базовый уровень	Хорошо

свойств широкого круга наноматериалов, допускает отдельные ошибки при рассмотрении конкретных способов синтеза нанобъектов, природы и проявления размерных эффектов в физико-химии нанокластеров и наночастиц.		
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен описать конкретные способы синтеза нанобъектов, не умеет устанавливать связь между природой и проявлениями размерных эффектов в наноматериалах.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки.	–	Неудовлетворительно

## Курсовая работа

### Темы курсовых работ

1. Собственное термоокисидирование GaAs в интервале температур 450-550 °С.
2. Оптимизация режимов подготовки поверхности стали 12X18H10T методом электрохимического полирования.
3. Морфология и свойства нанокластеров никеля в упорядоченных порах оксида алюминия.
4. Микроволновый синтез ортоферрита иттрия.
5. Кинетика термоокисидирования InP в присутствии хемостимулятора-модификатора  $Mn_3(PO_4)_2$ , вводимого через газовую фазу.
6. Синтез ортованадата иттрия, активированный микроволновым и ультразвуковым излучением.
7. Влияние дисперсности зерен на морфологию упорядоченного пористого  $Al_2O_3$ , создаваемого анодным окисидированием катаной алюминиевой фольги.
8. РЭМ изучение поверхности пленок, полученных окисидированием палладия при различных температурах.
9. Синтез ортованадата висмута ( $BiVO_4$ ).
10. Синтез и исследование морфологии поверхности гетероструктур V/Ox/GaP.
11. Энергия взаимодействия в ионных молекулах.
12. Эффект пересечения уровней в молекулярных системах.
13. Термоокисидирование InP в присутствии  $BiPO_4$ , вводимого через газовую фазу.
14. Фазовый состав пленок, полученных окисидированием палладия при различных температурах.
15. Титанаты.
16. Исследование структуры и фазового состава фольги твердого раствора Pd-Ru.
17. Исследование механических свойств и водородопроницаемости фольги твердого раствора Pd-Ru и Pd-Cu.
18. Исследование структуры и фазового состава фольги твердого раствора Pd-Cu.

### Описание технологии проведения

На выполнение курсовой работы отводится 36 часов. Обучающиеся получают темы курсовых в начале семестра, осуществляют анализ литературы по теме работы, согласовывают с преподавателем методику эксперимента и используемое оборудование и приступают к выполнению курсовой работы.

### Структура курсовой работы

Курсовая работа включает в себя следующие элементы:

- Титульный лист (образец приведён в Приложении 1)
- Содержание
- Введение (обосновывается выбор темы работы, формулируются цель работы и конкретные задачи)
- Глава 1. Обзор литературы
  - 1.1. ...
  - 1.2. ...

(проводится обзор литературных источников по теме курсовой работы с обязательным указанием ссылок на цитируемые работы, например, «... метод синтеза представлен в работах [4-6]».

Ссылки на источники нумеруются в порядке упоминания в тексте и расшифровываются в разделе «Список литературы». Ссылки на несколько источников делается так: [2, 6, 9], а не [2], [6], [9]. Если эти источники следуют подряд, то они оформляются как [3–6], но не [3, 4, 5, 6]. Возможные варианты оформления ссылок: [2–5, 8, 9], или [1, 2, 5–7], или [1–4, 6–7]).

– Глава 2. Методика эксперимента

2.1. ...

2.2. ...

(детально описывается методика (или методики) выполняемого эксперимента, указываются используемые реактивы, посуда и оборудование, детальное описание всех проводимых операций и условий эксперимента, приводятся необходимые уравнения химических реакций и т.д.).

– Глава 3. Обсуждение результатов

3.1. ...

3.2. ...

(представляются результаты экспериментальной работы, описание свойств и характеристик полученных веществ и т.д.)

– Выводы (формулируются выводы по работе)

– Список литературы (примеры библиографического описания приведены в Приложении 2)

– Приложения (если имеются)

#### **Требования к оформлению:**

Курсовая работа набирается в текстовом редакторе на при следующих параметрах страницы: лист формата А4; ориентация – книжная; поля: слева – 35 мм, справа – 10 мм, сверху и снизу – 20 мм; нумерация страниц – в правом верхнем углу арабскими цифрами, нумерация сквозная, при этом на титульном листе номер не ставится.

Размер шрифта – 14 п., Times New Roman, межстрочный интервал – 1,5, абзацный отступ – 1,25, выравнивание текста по ширине.

Подписи к рисункам, таблицам печатаются шрифтом 12 п. Заголовки «Содержание», «Введение», «Глава 1 ...», «Глава 2 ...», «Глава 3 ...», «Выводы», «Список литературы» печатаются шрифтом 18 п. (выравнивание по центру, полужирный), подзаголовки – 16 п., точка в конце не ставится. Каждый раздел начинается с новой страницы.

Курсовая работа распечатывается на листах А4 с одной стороны и вкладываются в папку (с «файлом»).

#### **Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания**

Критерии оценивания компетенций	Шкала оценок
В курсовой работе полно и аргументировано представлена актуальность исследования, раскрыта степень изученности темы, сформулированы цель, задачи, методы исследования. Материал изложен в строгой логической последовательности. Обработка и анализ полученных результатов проведен с использованием современных теоретических представлений, с использованием современных компьютерных технологий обработки и представления научных результатов. Презентация и доклад в полной мере отражают содержание курсовой работы, продемонстрировано уверенное владение материалом работы.	Отлично
В курсовой работе отражена актуальность исследования, отчасти раскрыта степень изученности темы, имеются некоторые неточности при формулировке цели и задач работы. Присутствуют отдельные недочеты в математической обработке. Имеются незначительные замечания к научности стиля изложения результатов и/или к корректности ссылок на источники	Хорошо
В курсовой работе слабо отражена актуальность наблюдается несоответствие цели и задач исследования, отсутствует четкое теоретически грамотное обоснование полученных результатов. Имеются серьезные замечания к научности стиля изложения результатов работы и/или к корректности ссылок на источники. В процессе доклада допущены значительные неточности, влияющие на суть понимания основного содержания ВКР, нарушена логичность изложения.	Удовлетворительно
В курсовой работе отсутствует обоснование актуальности исследования, неверно сформулированы цель, задачи, методы исследования. Материал изложен бессистемно. Отсутствует грамотная статистическая обработка результатов. Стиль изложения не соответствует научному. Ссылки на	Неудовлетворительно

источники некорректны или отсутствуют. Не продемонстрировано владение материалом работы. Обучающийся не способен изложить материал самостоятельно. Доклад зачитывается.

### **20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ**

ПК-2 \_\_ Способен использовать знания о методах синтеза и свойствах материалов различного назначения, в том числе наноматериалов, для решения профессиональных задач

#### **Перечень заданий для оценки сформированности компетенции:**

##### **1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):**

1. В узлах кристаллической решетки фуллеритов находятся:

1. атомы углерода
2. фуллерены
3. наночастицы
4. молекулы органических соединений

Ответ: 2

2. Работа сканирующего туннельного микроскопа основана на:

1. Эффекте туннелирования электронов через тонкий диэлектрический промежуток между проводящей поверхностью образца и сверхострой иглой
2. Просвечивании образца рентгеновскими лучами
3. Просвечивании образца пучком электронов при ускоряющем напряжении 200-400 кВ
4. Просвечивании образца СВЧ—излучением

Ответ: 1

3. Что такое фуллерен?

1. Железосодержащая наноструктура, используемая в медицине
2. Углеродная нанотрубка
3. Семейство шарообразных полых молекул общей формулы  $C_n$
4. Плоский лист графита мономолекулярной толщины

Ответ: 3

4. Какой метод не относится к основным методам получения углеродных нанотрубок и нановолокон?

1. Дуговой
2. Лазерно-термический
3. Пиролитический
4. Биотехнологический

Ответ: 4

5. Соединения фуллеренов, в которых присоединённые атомы, ионы или молекулы находятся снаружи углеродной оболочки, называются:

1. Экзоэдральные соединения
2. Эндоэдральные соединения
3. Супрадральные соединения
4. Парадральные соединения

Ответ:1

6. Что такое нанотрубки?

1. Протяженные структуры, состоящие из свёрнутых гексагональных сеток с атомами углерода в узлах
2. Семейство шарообразных полых молекул общей формулой  $C_n$
3. Протяженные структуры из углеродных переплетённых цепей
4. металлоорганические витые полимеры

Ответ:1

7. К химическим методам синтеза нанопорошков относят:

1. Метод молекулярных пучков
2. Ионно-плазменное распыление (в т.ч. магнетронное)
3. Механосинтез
4. Упорядочение нестехиометрических соединений

Ответ: 3

8. Что такое прекурсор?

1. Аппарат для получения наночастиц
2. Любое исходное вещество в химической реакции получения наночастиц
3. Исходное вещество, которое становится необходимой, существенной частью продукта
4. Вещество-катализатор при получении наночастиц

Ответ: 2

9. Нанотрубки обладают следующими свойствами:

1. высокой пластичностью
2. высокой упругостью
3. высокой электропроводностью
4. высокой теплопроводностью

Ответ: 3

10. К физическим методам синтеза нанопорошков относят:

1. Газофазный синтез
2. Золь-гель синтез
3. Совместное соосаждение
4. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез

Ответ: 1

11. Как изменяется температура плавления вещества при переходе в наноразмерное состояние:

1. Возрастает
2. Уменьшается
3. Не изменяется
4. Меняется не монотонно

Ответ: 2

12. К способам получения компактных нанокристаллических материалов относят:

1. MO CVD
2. Гидротермальный синтез
3. Самораспространяющийся температурный синтез
4. Формование литём из коллоидных гелей с последующим спеканием

Ответ: 4

## 2) Задания открытого типа

1. Для кластеров состояние «слякоти» между температурой замерзания и температурой плавления появляется в рамках \_\_\_\_\_ модели кластеров.

Ответ: квантово-статистической

2. Реакция кластеров молибдена с молекулярным азотом протекает через образование \_\_\_\_\_.

Ответ: прекурсора

3. Принцип «испарение-конденсация» лежит в основе \_\_\_\_\_ синтеза наночастиц.

Ответ: газофазного

### 3) Задания с развернутым ответом (повышенная сложность)

1. Предложите методику золь-гель синтеза оксида железа  $Fe_2O_3$

Ответ:

К 300 мл кипящей воды при перемешивании медленно прибавляют по каплям с помощью пипетки 20 мл 0.5 М раствора  $FeCl_3$  или  $Fe(NO_3)_3$ . После введения соли кипячение продолжается 3 – 5 минут, при этом раствор имеет коричневый цвет и не изменяет его при охлаждении. Полученный золь охлаждают до комнатной температуры, а затем к нему при перемешивании добавляют 0.5 М раствор аммиака в количестве, необходимом для полного осаждения катионов  $Fe^{3+}$ . Осажденный гель перемешивают в течение 10 – 15 минут. После отделения на вакуум-филт্রে гелевидные осадки промывают несколько раз дистиллированной водой до отсутствия ионов  $Cl^-$  (проба по реакции с  $AgNO_3$ ) (в случае, если исходной солью является  $FeCl_3$ ) и высушивают при комнатной температуре до постоянной массы.

Наночастицы  $Fe_2O_3$  получают отжигом осадка на воздухе при 350 – 400°C в течение 2 ч/

2. Раскройте сущность золь-гель метода синтеза наночастиц.

Ответ:

Золь-гель метод (растворение – образование геля) – это универсальный, основанный на растворении процесс, применяемый для создания керамических материалов и стекол. В общем виде золь-гель метод включает формирование золя (коллоидного раствора с размером твердых частиц  $\geq 200$  нм) и последующее межмолекулярное связывание для формирования вязкого геля. Золь-гель синтеза обычно проводятся в присутствии полярных растворителей, таких как спирт или водные среды, поскольку они ускоряют две главные реакции – гидролиз и конденсацию. Варьируя способ постобработки золя, можно синтезировать различные мелкозернистые материалы: мелкозернистые порошки, тонкие пленочные покрытия, волокна, керамику, стекла или материалы с большим количеством пор

3. Перечислите физические методы синтеза наночастиц (не менее 4)

Ответ:

1. Газофазный синтез
2. Метод молекулярных пучков
3. Катодное распыление
4. Ионно-плазменное распыление (в т.ч. магнетронное)
5. Механическое диспергирование
6. Упорядочение нестехиометрических соединений

4. Перечислите химические методы синтеза наночастиц (не менее 4)

Ответ:

1. Синтез в реакциях восстановления
2. Реакции термического распада
3. Реакции, стимулированные излучением
4. Плазмохимический синтез
5. Осаждение из коллоидных растворов
6. Механосинтез
7. Детонационный синтез
8. Электровзрыв проводника

5. Перечислите характерные для кластеров реакции.

Ответ: реакции диссоциации, рекомбинации, присоединения

6. Какие стадии можно выделить в процессе образования и роста кластеров переходных металлов

Ответ: механизм образования нанокластеров переходных металлов (на примере платины)

включает: 1 – зародышеобразование; 2 – автокаталитический рост на поверхности кластера; 3 – диффузионная агломерация двух нанокластеров; 4 – автокаталитическая агломерация с образованием частиц объёмного металла

7. Назовите известные методы получения газовых безлигандных кластеров.

Ответ: конденсация за счет сверхзвукового расширения газа, газовая агрегация, лазерная абляция.

8. Приведите примеры матричных кластеров:

Ответ: кластеры переходных металлов или их оксидов в порах цеолитов.

9. Укажите основные причины размерных эффектов в наноматериалах по сравнению с объёмными материалами.

Ответ:

- 1) непосредственное изменение размера частиц менее 100 нм,
- 2) вклад границ раздела в свойства системы,
- 3) соизмеримости размера частиц с физическими параметрами, имеющими размерность длины.

10. В чем причина голубого (синего) смещение полосы поглощения у полупроводников при переходе в наноразмерное состояние?

Ответ: размер наночастиц становится сравним со значением боровского радиуса экситонов в полупроводниковом кристалле

### **Критерии и шкалы оценивания заданий ФОС:**

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

3) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

- 5 баллов – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));
- 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода его выполнения (если оно было необходимым), или задание выполнено не полностью, но получены промежуточные (частичные) результаты,

отражающие правильность хода выполнения задания, или, в случае если задание состоит из нескольких подзаданий, верно выполнено 50% таких подзаданий;

- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (получен неправильный ответ, ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки).

**Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).**

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление/специальность 04.03.02 Химия, физика и механика материалов

Дисциплина Б1.В.13 Физикохимия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов

Профиль подготовки \_\_\_\_\_

в соответствии с Учебным планом

Форма обучения: очная

Учебный год 2023-2024

Ответственный исполнитель

Доцент КМИНС

должность, подразделение

Исполнители

\_\_\_\_\_

подпись

Томина Е.В.

расшифровка подписи

\_\_\_\_.\_\_\_\_.20\_\_

\_\_\_\_\_

должность, подразделение

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

расшифровка подписи

\_\_\_\_.\_\_\_\_.20\_\_

\_\_\_\_\_

должность, подразделение

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

расшифровка подписи

\_\_\_\_.\_\_\_\_.20\_\_

СОГЛАСОВАНО

Куратор ООП

по направлению/специальности \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

расшифровка подписи

\_\_\_\_.\_\_\_\_.20\_\_

Начальник отдела обслуживания ЗНБ \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

расшифровка подписи

\_\_\_\_.\_\_\_\_.20\_\_

Программа рекомендована НМС химического факультета

(наименование факультета, структурного подразделения)

протокол № 3 от 19.03.2020 г.