

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №13 от 02 июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«ХИМИЯ НАНОМАТЕРИАЛОВ И НАНОСИСТЕМ»

Направление: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Компоненты микро- и наносистемной техники

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой
электронной подписью
Составитель программы:
Ниндакова Лидия Очировна
Дата подписания: 03.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Утвердил: Ченский Александр
Геннадьевич
Дата подписания: 21.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Согласовал: Ниндакова Лидия
Очировна
Дата подписания: 03.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Химия наноматериалов и наносистем» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПКР-2 Способность выбирать и применять на практике методы и средства планирования и организации исследований и разработок, методы проведения экспериментов и наблюдений, обобщения и обработки информации	ПКР-2.2

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКР-2.2	Способен планировать и проводить исследования по синтезу наноматериалов и наносистем, обобщать и обрабатывать информацию. Демонстрирует знания о химических и физико-химических аспектах образования наносистем и наноматериалов, умеет применять их в экспериментальных исследованиях	Знать Знать: химические и физико-химические аспекты образования наносистем и наноматериалов Уметь Уметь: применять их в экспериментальных исследованиях. Владеть Владеть: навыками планирования и проведения исследований по синтезу наноматериалов и наносистем, обобщения и обработки информации.

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Химия наноматериалов и наносистем» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Математика», «Физика», «Химические и фазовые равновесия», «Химия»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Материаловедение наноструктурированных материалов», «Физико-химические основы процессов микро- и нанотехнологии», «Производственная практика: практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности», «Производственная практика: преддипломная практика»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 5 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 6
Общая трудоемкость дисциплины	180	180
Аудиторные занятия, в том числе:	80	80

лекции	32	32
лабораторные работы	32	32
практические/семинарские занятия	16	16
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	64	64
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Экзамен, Курсовой проект	Экзамен, Курсовой проект

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 6

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	История развития наук о наноматериалах; основные понятия, термины и определения.	1	2	6	4			3, 5	20	Устный опрос
2	Термодинамика искривленной поверхности. Поверхность малой частицы.	2, 3	4			1, 2	4			Устный опрос
3	Классификация нанобъектов и наноматериалов. Нуль-, одно-двух- и трехмерные и структуры.	4, 5	4	4	8					Устный опрос
4	Кластерообразование. Классификация и структура кластеров.	6, 7	4	5	4	3	2			Устный опрос
5	Физикохимия металлочастиц нанометрового размера. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование	8, 9	4	1	6	4	2	2	16	Устный опрос
6	Свойства наночастиц. Квантовые точки и перспективы применения.	10, 11	4	2, 3	10	5	2	4	12	Устный опрос

	Размерные эффекты.									
7	Одномерные структуры. Общие способы получения.	12, 13	4			7	2			Устный опрос
8	Химические методы получения наносистем и наноматериалов.	14, 15	4			6	2			Устный опрос
9	Наноматериалы. Функциональные свойства	16	2			8	2	1	16	Устный опрос
	Промежуточная аттестация								36	Экзамен, Курсовой проект
	Всего		32		32		16		100	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 6

№	Тема	Краткое содержание
1	История развития наук о наноматериалах; основные понятия, термины и определения.	Нанообъекты. Пути получения наноструктур, их характеристика. Верхние и нижние пределы нанокристаллического состояния. Основные разновидности наноматериалов. Терминологические подходы к понятию наноматериалов. Концепции наноматериалов. Метод Глейтера
2	Термодинамика искривленной поверхности. Поверхность малой частицы.	Физическая химия наноструктурированных материалов. Малые ансамбли молекул, межмолекулярные взаимодействия. Размерные и функциональные свойства наночастиц. Молекулярная динамика, конформации. Симметричное описание наносистем.
3	Классификация нанообъектов и наноматериалов. Нуль-, одно- двух- и трехмерные и структуры.	Классификация наноматериалов. Физическая химия наноструктурированных материалов. Размеры структурных элементов. Типы структур. Доля поверхностей раздела в общем объеме материала. Термодинамика и кинетика межфазных границ. Кинетические процессы на поверхности: адсорбция, десорбция, смачивание.
4	Кластерообразование. Классификация и структура кластеров.	Малые ансамбли молекул, межмолекулярные взаимодействия. Кластерообразование. Классификация и структура кластеров. Магические числа. Размерные и функциональные свойства наночастиц. Характеристическая длина. Молекулярная динамика, конформации.
5	Физикохимия металлочастиц нанометрового размера. Гомогенное и	Физикохимия металлочастиц нанометрового размера. Метастабильные состояния. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование как критическое термодинамическое явление. Роль

	гетерогенное зародышеобразование	химического потенциала, размер и состав зародыша. Модели зародышеобразования в твердых телах, на поверхности твердых тел, в порах и на дефектах. Кинетика зародышеобразования. Лимитирующая стадия и ее механизмы. Функция распределения частиц по размерам.
6	Свойства наночастиц. Квантовые точки и перспективы применения. Размерные эффекты.	Свойства наночастиц: электронные, оптические (плазмонный резонанс, изменение ширины запрещенной зоны). Получение квантовых точек и перспективы применения. Размерные эффекты физических свойств. Модели электропроводности, теплопроводности и механических свойств наносистем
7	Одномерные структуры. Общие способы получения.	Углеродные нанотрубки, строение (модели, хиральность), специфическая электронная структура, свойства проводимости и механические свойства. Перспективы применения. Фуллерены, строение, их неорганические и органические производные. Реакции присоединения.
8	Химические методы получения наносистем и наноматериалов.	Химические методы получения наносистем и наноматериалов. Мицеллообразование. Матричный синтез. Самоорганизация. Восстановление. Стабилизация наносистем и наночастиц.
9	Наноматериалы. Функциональные свойства	Наноматериалы: золи, гели, суспензии, коллоидные растворы, матрично-изолированные кластерные сверхструктуры, фуллерены и фуллереноподобные материалы, углеродные нанотрубки, полимеры, сверхрешетки, биомембраны. Нанохимические компоненты: катализаторы, сорбенты, реакторы Связь между физико-химической природой и специальными свойствами наноматериалов: биосовместимость, селективность, энергоемкость, память

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 6

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Кинетика зарождения и роста наночастиц серебра, стабилизированных полимерами	6
2	Формирование, оптические свойства и морфология наночастиц серебра	4
3	Определение размеров полупроводниковых наночастиц сульфида кадмия методом УФ – видимой спектроскопии	6
4	Изучение кинетики поглощения воды в системе «хлорид кальция, диспергированный в	8

	нанопорах сорбентов» («Синхронный термический анализ»)	
5	Распределение наночастиц по размерам в системе Pd(acac) ₂ – H ₂	4
6	Седиментационный анализ суспензий	4

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 6

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Основные термины нанотехнологий..Процессы на поверхности и в приповерхностных слоях. Удельная поверхность монодисперсной системы. Кривизна поверхности. Решение расчетных задач.	2
2	Термодинамика искривленной поверхности. Эффекты при искривлении поверхности. Уравнение Лапласа. Давление пара над искривленной поверхностью. Уравнение Кельвина (Томсона). Величины σ и γ . Влияние поверхностных явлений на состояние наночастиц. Решение расчетных задач.	2
3	Свойства изолированных наночастиц. Кластеры. Магические числа: структурные и электронные. Простейшие конфигурации кластеров. Решение расчетных задач.	2
4	Зародышеобразование. Формирование зародышей металла из одиночных атомов. Гомогенное и гетерогенное зародышеобразование. Условия возникновения зародышей новой фазы, оценка их критического размера и факторы управления ими. Решение расчетных задач	2
5	Характерные особенности нанообъектов. Размерные эффекты. Условия равновесия мно-гофазных и многокомпонент-ных систем. Размерный эффект температуры плавления нанокристаллических частиц. Решение расчетных задач.	2
6	Некоторые методы получения НЧ и НМ. Химический синтез наночастиц и наноматериалов.	2
7	Структура углеродных материалов. Фуллерены, и нанотрубки (ОСНТ и МСНТ). Химические свойства углеродных наноструктур. Решение расчетных задач.	2
8	Химические свойства наносистем и наноструктур.	2

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 6

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Написание курсового проекта (работы)	16
2	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	16
3	Подготовка к практическим занятиям	10
4	Подготовка к сдаче и защите отчетов	12
5	Проработка разделов теоретического материала	10

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Дискуссия

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по курсовому проектированию/работе:

Методические указания для обучающихся по курсовому проектированию/работе:

Курсовой проект предназначен для усвоения содержания дисциплины путем сбора дополнительных литературных данных по той или иной теме и, в отдельных случаях, выполнения эксперимента. Курсовая работа выполняется по темам, самостоятельно выбранным студентами из числа тем, предложенным преподавателем, а также по темам научной работы кафедры и научных отделов ФТИ.

В качестве задания на курсовой проект каждому студенту предлагаются темы из перечня:

- №пп Темы курсовых работ по дисциплине «Химия наноматериалов и наносистем»
Форма отчета по работе
- 1 Магнитные свойства наноразмерных коллоидных частиц переходных металлов
Реферат
 - 2 Методы изготовления штампов для наноимпринтной литографии Реферат
 - 3 Наноструктурированные полимерные системы – реакторы для синтеза наночастиц
Реферат
 - 4 Фотохимический синтез наночастиц золота с контролем их размера Реферат
 - 5 Размерные эффекты и межкластерные взаимодействия в наносистемах Реферат
 - 6 Оптические и электронные свойства коллоидных кластеров Реферат
 - 7 Защитные поверхности на основе нанопленок Реферат
 - 8 Наноструктуры и поверхностные явления Реферат
 - 9 Электропроводимость наноструктур. Устройства на основе наноструктур Реферат
 - 10 Синтез и физико-химические методы изучения наночастиц типа ядро-оболочка
Реферат
 - 11 Методы синтеза металлических наночастиц меди Реферат
 - 12 Неорганические тубулярные структуры Реферат
 - 13 Влияние природы растворителя на форму и размер наночастиц при химическом синтезе Реферат
 - 14 Самосборка в наносистемах как метод синтеза материалов Реферат
 - 15 Механические свойства наноструктур Реферат
 - 16 Транзисторы на основе одностенных углеродных нанотрубок (SWNT транзисторы)

- Реферат
- 17 Полупроводниковые наноструктуры и наноустройства Реферат
- 18 Магнитные жидкости на основе металлов и их оксидов – нанодисперсные системы. Реферат
- Получение и применение Реферат
- 19 Применение фуллеренов и структур на их основе Реферат
- 20 Автоэмиссионные свойства одномерных Si наноструктур Реферат
- 21 Диссипативные структуры Реферат
- 22 Материалы для бионанотехнологии Реферат

Выполненная курсовая работа состоит из следующих разделов

- Введение
- Теоретическая часть (включает краткий обзор литературы по исследуемому вопросу, если курсовая работа выполняется по научным темам кафедры или научных отделов ФТИ),
- Изложение результатов (отработка методики и выполнение эксперимента, соответствующие расчеты, анализ и обсуждение полученных результатов, если курсовая работа выполняется по научным темам кафедры или научных отделов ФТИ)
- Выводы
- Список использованной литературы

Курсовой проект

- должна быть представлена на кафедру в виде рукописи и оформлена согласно требованиям СТО ИРННТУ;
- должна быть защищена студентом в виде устного доклада (презентация)

5.1.2 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Подготовка к практическим занятиям заключается в самостоятельном решении задач по темам и в работе с учебниками и дополнительной литературой. При работе с литературой следует вести запись основных положений (конспектировать отдельные разделы, выписывать новые термины и раскрывать их содержание)

5.1.3 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Кинетика зарождения и роста наночастиц серебра, стабилизированных полимерами

Цель работы: изучение влияния условий синтеза (природа стабилизатора, его концентрация) на кинетику зарождения и роста нанокластеров серебра

Оборудование: Спектрофотометр UV-VIS Unico 2800, магнитная мешалка с мешальником, мерные колбы на 25 мл - 2 шт, штатив с лапкой, термостатируемый сосуд, весы аналитические, шпатель.

Реактивы: нитрат серебра AgNO_3 , поливиниловый спирт, (PVA, M_w 10000) – 1% раствор, поли-(N-винил-2-пирролидон, PVP)- (M_w 40000), 2-пропанол, тетра-борогидрид натрия, дистиллированная вода

3.2 Порядок выполнения работы

Во время восстановления реакционную смесь перемешивают на магнитной мешалке.

Скорость реакции рассчитывали по увеличению поглощения наночастиц Ag.

При выполнении лабораторной работы выполняйте следующий порядок действий:

1. Приготовьте 0.001 М раствор нитрата серебра в мерной колбе на 10 мл. Для этого взвесьте рассчитанное количество соли и аккуратно перенесите навеску с кальки в сухую мерную колбу. Затем налейте в мерную колбу примерно 7 мл дистиллированной воды и

добейтесь полного растворения соли. Доведите объем воды в мерной колбе до метки (метка должна находиться на уровне нижнего края мениска), перемешайте раствор для выравнивания концентрации соли по всему объему.

2. Установите на магнитной мешалке сосуд, поместите в него мешалку, в токе аргона перенесите 2 мл 0.001 М раствора нитрата серебра, добавьте к нему раствор 2 мл 1% раствора ПВС, добавьте 2 мл восстановителя 0.002 М раствора гидрохинона, включите секундомер. Быстро перенесите 2 мл раствора в кювету и установите в кюветное отделение спектрометра. Снимайте спектр в режиме сканирования каждую минуту до тех пор, пока не установится насыщение по поглощению.

3. Поставьте такой же опыт, только в качестве стабилизатора возьмите 2 мл 1% раствора ПВП.

4. Поставьте еще один опыт без стабилизатора.

5. Для каждого опыта проведите 3 измерения

6. Распечатайте спектры и определите значения максимального поглощения в спектрах на каждый момент времени. Запишите эти значения в таблицу 2.1:

Таблица 2.1

№	t, мин	$A_t/A_\infty - A_t$	$\ln(A_t/A_\infty - A_t)$	$k_1/k_2 \times 10^{-4}$, моль ⁻¹	k_2 , моль ⁻¹ сек ⁻¹	k_1 , сек ⁻¹
1						
1						
2						
3						

6. Постройте график зависимости $\ln(A_t/A_\infty - A_t)$ от времени.

Определите отношение констант k_1/k_2 и k_2 используя уравнение:

$$f(t) = \ln \left(\frac{[A]_0 - [A]}{[A]} \right) = \ln \left[\frac{k_1}{k_2} \left(\frac{[A]_0}{[A]} \right) \right] + k_2 [A]_0 t.$$

Рассчитайте k_1 .

7. Проведите статистическую обработку результатов

8. На основе значений констант и их соотношений сделайте выводы о влиянии природы стабилизатора на скорости стадий нуклеации и роста наночастиц серебра.

Оформите и сдайте преподавателю отчет.

Рекомендуемые литературные источники:

Настоящие методические указания к лабораторным работам.

Б.М. Сергеев, М.В. Кирюхин, А.Н. Прусов, В.Г. Сергеев. Получение наночастиц серебра в водных растворах полиакриловой кислоты // Вестник Моск. Ун-та. Сер. 2. Химия, 1999, т.40, № 2, с. 129-133

G. Carotenuto, S. DeNicola and L. Nicolais. Spectroscopic study of the growth mechanism of silver microclusters // Journal of Nanoparticle Research, 2001, 3, 469–474

R. Patakfalvi, S. Papp and I. Derkarny. The kinetics of homogeneous nucleation of silver nanoparticles stabilized by polymers // Journal of Nanoparticle Research, 2007, 9, с. 353–364

Chakraborty, D. Mitra, S. Moulik. Spectroscopic studies on nanodispersions of CdS, HgS, their core-shells and composites prepared in micellar medium // Journal of Nanoparticle Research, 2005, 7, 227–236

Определение размеров полупроводниковых наночастиц сульфида кадмия методом спектроскопии UV –VIS

Приборы и реактивы: Спектрофотометр Unico 2800, магнитная мешалка с мешалкой, стекло типа К-8 – 4 шт, 8 химических стаканов объемом 100 мл, 6% раствор желатина с добавлением сахарозы и натриевых солей жирных кислот, водные 0.1, 0.2 и 0.4 М растворы солей $Cd(NO_3)_2 \cdot 5H_2O$ и $Na_2S \cdot 9H_2O$ «х.ч.», дистиллированная вода.

2.2 Ход работы.

1. Нанесите желатиновый слой на поверхность 3 стекол и дождитесь его высыхания

(~ 20 минут).

2. Приготовьте суспензию наночастиц CdS в растворе путем быстрого смешивания 0.1 М растворов солей $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ в присутствии желатина. Для этого к 10 мл 0.1 М раствора соли $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ добавьте 2 мл 6% раствора желатина и распределите его равномерно в растворе. Затем при интенсивном перемешивании добавьте 10 мл 0.1 М раствора $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Снимите спектр поглощения образовавшегося золя CdS в УФ и видимой области.

3. В 2 стакана поместите растворы электролитов: 0.1 М растворы солей $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Начните процесс с погружения подложки в раствор электролита, содержащего ионы кадмия. Время сорбции должно составить 30 сек. После этого трижды промойте подложку в дистиллированной воде, налитой в стакан. После удаления остатков раствора электролита, содержащего ионы кадмия, погрузите подложку в раствор электролита, содержащего сульфид натрия. Продолжительность процесса сорбции сульфид-ионов также должна составить 30 сек. После сорбции анионов остатки электролита также удалите с помощью тройной промывки в дистиллированной воде. Полученные структуры должны иметь желтый цвет и зеркально-гладкую поверхность.

4. Те же самые манипуляции, что и в пункте 3, следует провести с 0.2 М и 0.4 М растворами $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Т.о., вы имеете три образца CdS, нанесенных на стекла.

5. Исследуйте полученные образцы спектрофотометрическим методом с помощью спектрофотометра Unicо 2800. Для каждого образца сделайте 3 измерения оптической плотности пленок в диапазоне 350-500 нм, определите ширину запрещенной зоны полупроводниковых наночастиц и их размеры по формуле.

2.3 Порядок проведения измерений и расчетов

1. Отметьте на полученных спектрах длину волны, соответствующую краю полосы поглощения или точке наименьшего поглощения образца (как правило, точка располагается в диапазоне 430-490 нм).

2. Найдите соответствующую этой точке E_g , вычислите ΔE и рассчитайте наибольший радиус наночастиц по формуле (1)

3. Рассчитайте радиусы из спектров образцов, полученных при разных концентрациях исходных электролитов и постройте график зависимости размера частиц от концентрации электролита.

Внесите рассчитанные данные в таблицу 1.1

Таблица 1.1

Концентрация электролита, М	$\lambda_{\text{кпп}}$, нм	E_g , Дж	ΔE	R, нм
0.1				
0.2				
0.4				

4. Проведите статистическую обработку результатов.

5. На основе расчетных значений сделайте выводы о влиянии концентрации электролита на размеры радиусов наночастиц

6. Оформите и сдайте преподавателю отчет.

Определение размера частиц дисперсной фазы и распределения частиц по размерам методом седиментационного анализа.

4.1 Методика проведения эксперимента

Цель работы: изучение кинетики седиментации методом непрерывного накопления осадка, определение размеров частиц, построение интегральной и дифференциальной

кривых распределения частиц по размерам.

Содержание работы

Получить кривую осаждения суспензии в гравитационном поле с помощью торсионных весов.

Рассчитать и построить интегральную кривую распределения частиц суспензии по размерам.

Рассчитать и построить дифференциальную кривую распределения частиц суспензии по размерам.

Найти наиболее вероятный размер частиц и оценить степень полидисперсности системы. Сделать вывод о характере однородности изученной суспензии.

Ход работы. Для получения кривой осаждения суспензии определяют изменение веса чашечки, помещенной в суспензию, по мере накопления на ней осадка. Для этого в цилиндр нужно налить воду и измерить высоту столба жидкости H над чашечкой до уровня воды в цилиндре, т. е. глубину погружения весов. Затем чашечку вынуть, измерить объем налитой воды и прямо в цилиндре приготовить суспензию. Для этого взять навеску сухого порошка $\text{CaCO}_3 \sim 1,0$ г на аналитических весах.

Приготовленную суспензию тщательно перемешать в течение 2-3 мин с помощью стеклянной палочки, добиваясь равномерного распределения частиц суспензии по всему объему. Быстро внести в суспензию измерительную чашечку и подвесить ее к петле коромысла весов. Одновременно с погружением чашечки включить секундомер и освободить арретир весов (рычаг (2) переместить вправо). При этом, как и при взвешивании в чистой воде, надо проследить, чтобы на чашечке не было пузырьков воздуха, и она не соприкасалась со стенками цилиндра.

Вследствие оседания частиц суспензии на чашечку, указатель равновесия (5) смещается влево, нужно рычагом (4) плавно переместить указатель (3) против часовой стрелки до равновесия весов. Таким образом действовать при каждом отсчете. Первые отсчеты проводить через 15 с от начала опыта, затем, с интервалами времени в 30 с, интервал времени постепенно увеличивать до 1, 3, 5 мин, и в конце делать замеры через 10-15 мин. Опыт проводить в течение 1-1,5 ч и закончить тогда, когда за 10 мин изменение веса составит не более 1 мг (или два отсчета через 10-15 мин дадут очень близкие значения). По окончании измерений необходимо арретировать весы (рычаг (2) переместить влево). Установить указатель (3) на нулевую отметку, вымыть чашечку и цилиндр. Полученные результаты занести в табл. 4.1, где P - вес чашечки с осадком; $P_{\text{осадк}}$ - вес осадка; P_0 - вес чашечки.

Построить кривую осаждения частиц суспензии. По оси абсцисс отложить время от начала опыта, а по оси ординат разности отсчетов по шкале весов. Далее рассчитать интегральную и дифференциальную кривые распределения частиц по размерам. Для расчета кривых распределения использовать метод касательных. Радиусы частиц рассчитать по формулам:

$$k = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta}{2 \cdot (\rho - \rho_0) \cdot g}}; \quad \text{и} \quad r = k \cdot \sqrt{v} = k \cdot \sqrt{H/t}$$

(используя значения постоянных, приведенных ниже).

g	9,8	м/с^2	
$\rho \text{ CaCO}_3$	2,7	г/см^3	
$\rho \text{ вода}$	1	г/см^3	
$\rho \text{ глицерин+вода}$	1,12	г/см^3	
$\rho \text{ гептадекан}$	0,777	г/см^3	
$\eta \text{ воды}$	0,001	$\text{Па} \cdot \text{с}$	
$\eta \text{ глицерин+вода}$	0,005376	$\text{Па} \cdot \text{с}$	
$\eta \text{ гексадекана}$	0,003737	$\text{Па} \cdot \text{с}$	
k			

Обработка полученных результатов.

1. По полученным данным построить зависимость веса осадка P (разность между весом чашечки с осадком и без него) от времени оседания t – кривую седиментации или кривую накопления осадка. В начале оседания частиц полидисперсной суспензии зависимость $P(t)$ линейна, а скорость накопления осадка постоянна, $dP/dt = \text{const}$, до тех пор, пока не выпадут частицы самого большого размера.

Далее скорость накопления осадка будет уменьшаться до тех пор, пока не выпадут частицы самого маленького размера. Вес осадка при этом оказывается постоянной величиной ($dP/dt = 0$), а зависимость $P(t)$, соответствующая этому участку, выходит на прямую, параллельную оси абсцисс.

2. Из полученной зависимости определить время t_{\min} , соответствующее полному выпадению частиц самого большого радиуса r_{\max} по отклонению зависимости $P(t)$ от линейной (рис.4.3).

3. Определить максимальное время t_{\max} , соответствующее полному выпадению частиц минимального размера r_{\min} , проводя касательную к кривой накопления так, чтобы она совпала с горизонтальным линейным участком.

Абсцисса точки отрыва этой касательной от кривой накопления осадка (точка В, рис. 4.3) соответствует t_{\max} , а ордината – весу всех частиц, выпавших на чашечку РВ.

Рис.4.3. Седиментационная кривая

Накопление осадка в процессе оседания описывается уравнением Сведберга–Свен–Одена:

$$P_i = q_i + (dP/dt)_i t_i \quad (4.10)$$

где P_i – общий вес осадка, соответствующий времени t_i , q_i – вес частиц, полностью осевших к данному времени t_i , т.е. частиц, имеющих радиус больший, чем r_i ; $(dP/dt)_i$ – вес частиц, радиус которых равен и меньше, чем r_i , и которые определяют скорость $(dP/dt)_i$ оседания в данный момент времени t_i .

Скорость оседания частиц радиуса r_i , равна $v_i = H/t_i$ и с учетом уравнения (4.1) r_i рассчитывается как:

$$r_i = \sqrt{(9\eta H / (2(\rho - \rho_0) g t_i))} = K \sqrt{(H/t_i)} \quad (4.11)$$

где η – вязкость дисперсионной среды (для воды $1 \cdot 10^{-3}$ Па*с).

4. Рассчитать фракционный состав суспензии по кривой накопления графическим методом, используя уравнения (4.10) и (4.11). Для построения интегральной кривой распределения частиц по размерам использовать «метод касательных»: С этой целью на кривой накопления а) выбрать 8–10 точек с наибольшей кривизной и провести касательные к экспериментальной кривой седиментации в точках t_1, t_2, t_3 , б) найти на графике значения отрезков Q_1, Q_2, Q_3, \dots , отсекаемых касательными на оси ординат. Значения $Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_n$ показывают массу выпавшего осадка за время оседания $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$, т.е. q_i находят как отрезок, отсекаемый на оси ординат касательной, проведенной к зависимости $P(t)$ в точке с координатами (t_i, P_i) .

Таблица 4.1. Экспериментальные данные, полученные из анализа кривой накопления.

t_3	r_3	P_3	OQ_3
t_{\max}	r_{\min}		

5. Для построения интегральной кривой распределения частиц по размерам необходимо определить относительное содержание частиц с радиусом большим r_i , как $(OO_i / OPB) 100\%$. Данные занести в таблицу 4.2. С помощью уравнения (4.11) рассчитать радиусы частиц, соответствующих времени выпадения t_i . На основании сделанных расчетов

заполнить табл. 4.2. Затем на оси абсцисс отложить значения радиусов в интервале r_{\min} – r_{\max} , на оси ординат – процентное содержание частиц и построить интегральную кривую распределения частиц по размерам в координатах: $Q(r)\% = f(r)$. Пример такой зависимости приведен на рис. 4.4 а. С помощью интегральной функции распределения можно определить процентное содержание частиц с радиусом, большим r_1 , а также процентное содержание частиц в любом заданном интервале радиусов от r_1 до r_2 как разность $Q_2 - Q_1$. Таблица 4.2. Данные для построения интегральной кривой распределения частиц по размерам.

	r	$Q_i = (OO_i/OPB) 100\%$
t_{\min}	r_{\max}	0%
t_2	r_2	$Q_2 = (OO_2/OPB) 100\%$
...
t_{\max}	r_{\min}	100%

Рис. 4.4. Интегральная (а) и дифференциальная (б) кривые распределения частиц по размерам (кривые 1 и 2 – для систем с разной дисперсностью)

Дифференциальная кривая — это зависимость функции распределения $\Delta Q/\Delta r$ от радиуса частиц. Функция показывает в % массу частиц, радиус которых лежит вблизи данного значения радиуса $r_{\text{ср}}$. Так, если содержание частиц в интервале радиусов от r_1 до r_2 составляет ΔQ (рис. 4.4), то функция распределения для среднего радиуса $r = (r_1 + r_2)/2$ составляет $\Delta Q/(r_2 - r_1) = \Delta Q/\Delta r$.

Для построения дифференциальной кривой по интегральной кривой найти значения $(-\Delta Q/\Delta r) > 0$ для различных интервалов радиусов. Если содержание фракции от r_1 до r_2 , в которой средний радиус частиц $r = (r_1 + r_2)/2$, равно $(-\Delta Q)$, то доля этой фракции $F(r) = -\Delta Q/(r_1 - r_2)$. Данные занести в таблицу 4.3 и построить зависимость $\Delta Q/\Delta r = f(r)$. На графике откладывают значения dQ/dr от r (рис. 4.4 б). Кривая ограничена значениями r_{\min} и r_{\max} . Дифференциальная кривая обычно имеет один максимум, соответствующий наиболее вероятному размеру частиц r_n в данной системе. Она характеризует вероятность распределения по массе частиц различных радиусов, и чем выше ее максимум, тем ближе суспензия к монодисперсной (кривая 1). С увеличением полидисперсности в системе максимум снижается, и кривая становится более растянутой (кривая 2).

Таблица 4.3. Данные для построения дифференциальной кривой распределения частиц по размерам.

r	Δr	\bar{r}	$ \Delta Q $	$ \Delta Q/\Delta r $
r_{\max}				0
r_2/ r_3	$r_3 - r_2$	$(r_2 + r_3)/2$	$Q_3 - Q_2$	$\Delta Q/(r_3 - r_2)$
...
r_{\min}				0

Дифференциальная функция распределения $F(r) = -dQ(r)/dr$ дает более наглядное представление о фракционном составе суспензии.

Положение максимума на дифференциальной кривой соответствует среднему радиусу фракции, массовая доля которой максимальна. Чем уже интервал средних радиусов, соответствующих максимуму на дифференциальной кривой, и чем выше абсолютная величина максимума, тем ближе система к монодисперсной. Наоборот, чем шире дифференциальная кривая распределения частиц по размерам, тем более полидисперсна данная суспензия. В полидисперсной системе возможно наличие нескольких максимумов. Площадь, ограниченная дифференциальной кривой и осью абсцисс, дает общую массу

частиц всех размеров (100%). Процентное содержание фракции с размерами от r_1 до r_2 , то есть вероятность нахождения в суспензии частиц с этими размерами, характеризуется площадью соответствующего участка под кривой.

По дифференциальной кривой определить наивероятнейший радиус r_H , а также r_{min} , r_{max} и степень полидисперсности P , как отношение максимального радиуса к минимальному:

$$P = r_{max}/r_{min}$$

Перечень таблиц и графиков к отчету студента:

Таблицы экспериментальных и расчетных данных: 4.1; 4.2; 4.3.

График $P = f(r)$.

График $Q = f(r)$.

График $\Delta Q/\Delta r = f(r)$; r_H , r_{min} , r_{max} .

Расчет величины P . Выводы.

Цель работы: Целью данной работы является изучение особенностей кинетики поглощения воды в комбинированных сорбционных наноразмерных системах.

Приборы и реактивы: бюретка на 25 мл (1 шт.), коническая колба на 50 мл (11 шт.), растворы $CaCl_2$ (концентрация 7, 14, 21 и 29 мас. %), оксид алюминия (А-64), силикагель (марки КСК), фильтры, мерные цилиндры (или мерные стаканы на 100 мл).

Термодинамические свойства массивных и дисперсных неорганических солей могут существенно отличаться. Это открывает пути для создания новых материалов, обладающих уникальными свойствами. Так, новое семейство сорбентов воды (Селективные Сорбенты Воды, ССВ) получено путем помещения гигроскопичной соли в различные пористые матрицы. В данной работе исследована кинетика поглощения воды двумя композитами типа ССВ - « $CaCl_2$ в силикагеле КСК» и « $CaCl_2$ в оксиде алюминия». В них вода поглощается преимущественно путем взаимодействия с солью, приводящему к образованию гидратов и раствора соли в порах.

Гидратация/дегидратация массивной соли может быть медленным процессом, что наряду с большим изменением молярного объема, гистерезисом и плавлением значительно затрудняет применения массивных солей и их гидратов в химических тепловых насосах, системах запасаения низкотемпературного тепла и осушки газов.

Оказалось, что при заключении соли в нанопоры скорость обеих реакций существенно увеличивается, и процесс, как правило, лимитируется Кнудсеновской диффузией воды в порах матрицы. Показано, что она протекает в 1.5-3 раза медленнее, чем в матрице без соли, причиной чего является увеличение извилистости пор из-за их частичной блокировки солью (ее раствором).

При внесении $CaCl_2$ в поры оксида алюминия кинетика сорбции при малых временах определяется процессом диффузии воды, а при уменьшении температуры может существенно замедляться за счет реакции воды с дисперсной солью (рис. 1). Для части соли она протекает гораздо медленнее, чем в материалах на основе силикагеля. Вклад этой реакции увеличивается с ростом содержания соли (от 7 до 29 вес. %) и уменьшением температуры (с 70 до 30°C). При больших сорбциях часть пор заполняется раствором соли, и при анализе кинетики надо учитывать канал диффузии по связанной или несвязанной фазе раствора.

Рисунок 5.1 - Кинетические особенности сорбции воды зернами $CaCl_2$ (29 масс. %/ Al_2O_3):
◇ - эксперимент, ○ – расчет по диффузионной модели, пунктир – разность этих кривых)

Порядок выполнения работы

1. Приготовить 4 навески по 5 г. оксида алюминия (А-64), 4 навески по 5 г. силикагеля (КСК) и 1 навеску (5 г.) хлорида кальция. Оксид алюминия, силикагель и хлористый кальций предварительно просушить в течение 1 часа при температуре 180-200 оС.
2. Навески сорбентов поместить в стаканчики. Приготовить по водопоглощению следующие комбинированные сорбционные системы:
 - а) 7% $\text{CaCl}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, 14% $\text{CaCl}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, 21% $\text{CaCl}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, 29% $\text{CaCl}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$;
 - б) 7% $\text{CaCl}_2/\text{SiO}_2$, 14% $\text{CaCl}_2/\text{SiO}_2$, 21% $\text{CaCl}_2/\text{SiO}_2$, 29% $\text{CaCl}_2/\text{SiO}_2$;
3. Поместить приготовленные комбинированные сорбционные системы в сушильный шкаф и выдержать в течение 30-40 минут в сушильном шкафу при температуре 200оС;
4. В восемь мерных стаканчиков помещают оксид алюминия и силикагель, модифицированные хлоридом кальция, в 3-х оставшихся стаканчиках – исходные оксид алюминия, силикагель и хлористый кальций.
5. В каждый стаканчик добавить по 20-30 мл дистиллированной воды и оставить систему на 10 минут, периодически встряхивая. По истечении времени наблюдаем за изменением уровня воды в стакане (наносим метку) и изменением массы сорбента (отфильтровать раствор и, предварительно обсушив фильтровальной бумагой, взвесить сорбент). Изменения фиксируем, после чего аналогичные измерения проводим в последующие 10 минут и т.д. Наблюдение за изменением уровня воды и изменением массы сорбента проводим до тех пор, пока сорбент не перестанет поглощать воду.
6. По результатам измерений построить кинетические кривые сорбции воды для исходных сорбентов и комбинированных сорбционных систем (аналогично рис. 5.1). Объяснить различие в поведении исходных сорбентов и комбинированных сорбционных систем. Если различие существует, то объяснить его существование, и чем оно обусловлено.

5.1.4 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Самостоятельная работа является неотъемлемым элементом учебного процесса, одним из основных методов освоения учебных дисциплин и овладения навыками профессиональной и научно-исследовательской деятельности. При самостоятельной работе достигается конкретное усвоение учебного материала, развиваются теоретические способности, столь важные для современной подготовки бакалавра.

Целью самостоятельной работы студентов является неаудиторное изучение студентами свойств нанокластеров, наноструктур и наноматериалов.

Для достижения цели дисциплины в рамках самостоятельной работы решаются следующие задачи - формирование представлений об основах физикохимии наночастиц и наноматериалов, о термодинамике и строении поверхностного слоя, закономерностях адсорбционных процессов, кинетических, оптических, структурно-механических свойствах наночастиц и наноматериалов.

Самостоятельная работа включает себя изучение лекционного материала с привлечением учебных пособий, самостоятельное изучение некоторых разделов, подготовку к контрольным и лабораторным работам, подготовку курсовой работы (Раздел 4.5).

5.1.3.1 Подготовка к практическим занятиям заключается в самостоятельном решении задач по темам и в работе с учебниками и дополнительной литературой. При работе с литературой следует вести запись основных положений (конспектировать отдельные разделы, выписывать новые термины и раскрывать их содержание)

5.1.3.2 проработка отдельных разделов теоретического курса заключается в изучении теоретического материала с применением

- собственных конспектов лекций
- основных источников теоретической информации по дисциплине

5.1.3.3 Оформление отчетов по лабораторным работам и подготовка к сдаче и защите отчетов. Подготовка отчетов к лабораторному практикуму осуществляется согласно методическим указаниям к лабораторному практикуму по дисциплине.

5.1.3.4. Написание курсовой работы и подготовка презентаций.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 6 | Устный опрос

Описание процедуры.

Знание лекционного материала проверяется на лекциях и практических занятиях во время устного опроса по конкретной теме занятия. Учитывается посещаемость лекций, наличие конспекта, поведение на лекции

Вопросы для контроля:

1. Дайте определения терминам нанообъекты, «нанотехнологии», «наноматериалы», «наносистемы».
2. Приведите классификации наноструктурных материалов.
3. Какими особыми свойствами обладают наноматериалы по сравнению с макрообъектами?
4. Особенность термодинамического состояния вещества в поверхностных слоях. Методы описания толщины поверхностного слоя.
5. Внутренняя энергия поверхности для конденсированных систем. Уравнение Гиббса – Гельмгольца для поверхности.
6. Термодинамика искривленной поверхности. Эффекты при искривлении поверхности. Поверхностное давление жидкой капли. Уравнение Лапласа. Давление пара над искривленной поверхностью. Уравнение Кельвина (Томсона).
7. Опишите основные методы получения наноструктурных материалов.
8. Что такое супрамолекулярная химия и «супрамолекулярные системы»?
9. Какие виды наноматериалов применяют в химических сенсорах?
10. Назовите нанотехнологии, используемые для создания чувствительных слоев химических сенсоров и биосенсоров?
11. Какие виды нанотрубок применяют в анализе и химических сенсорах

Критерии оценивания.

Знание лекционного материала проверяется на практических занятиях во время устного опроса по конкретной теме занятия. Учитывается посещаемость лекций, наличие конспекта, поведение на лекции.

Отлично

Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос;

- в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений;

- знания по предмету демонстрируются на фоне понимания его места в системе данной

науки и междисциплинарных связей;

- свободно владеет терминологией; на дополнительные вопросы дает четкие, краткие;
Хорошо

Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показано умение выделять существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи;

- студент допускает единичные ошибки в частностях, исправляемые им с помощью преподавателя;

- ответы на дополнительные вопросы верные, но недостаточно полные и четкие;

Удовлетворительно

Ответ не полный, с ошибками в деталях, умение раскрыть значение обобщенных знаний не показано, речевое оформление требует поправок, коррекции;

- логика и последовательность изложения имеют нарушения, студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи; - в терминологии химии наноматериалов допускает серьезные ошибки;

- не способен ответить на большую часть дополнительных вопросов

Неудовлетворительно

Ответ представляет собой разрозненные знания с существенными ошибками;

- имеет место фрагментарность изложения, незнание терминологии, студент не осознает связь обсуждаемого вопроса с другими объектами изучения;

- ответы на дополнительные вопросы неверные или отсутствуют

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПКР-2.2	Показывает уверенное знание химической природы наноматериалов и наносистем; Демонстрирует знания о химических и физико-химических аспектах образования наносистем и наноматериалов, умеет применять их в экспериментальных исследованиях	Устное собеседование на экзамене по теоретическим вопросам и выполнение практических заданий

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 6, Типовые оценочные средства для курсовой работы/курсового проектирования по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Курсовой проект - самостоятельная письменная работа, направленная на творческое освоение профильной профессиональной дисциплины Б1.В.02.02 «Химия наноматериалов и наносистем» и выработку соответствующих профессиональных компетенций. Объем

курсового проекта может достигать 15-20 страниц; время, отводимое на ее написание – от 1-2 месяцев. Курсовой проект может иметь различную творческую направленность. При написании курсового проекта студент должен полностью раскрыть выбранную тему, соблюсти логику изложения материала, показать умение делать обобщения и выводы.

Пример задания:

Вопросы к курсовому проекту:

1. Перечислите известные Вам современные технологии создания наноматериалов
2. Коллоидные методы синтеза полупроводниковых наночастиц
3. Газофазные методы синтеза полупроводниковых наночастиц
4. Назовите элементарные процессы, которые включает рост пленок при конденсации из паровой фазы?
5. Опишите механизм роста пленок по Фольмеру-Веберу?
6. Опишите механизм роста пленок по механизму Франка-Ван дер Мерве?
7. Опишите механизм роста пленок по механизму Крастанова-Странского?
8. Применение молекулярно-лучевой эпитаксии для формирования гетероструктур с квантовыми точками
9. Применение метода CVD для формирования гетероструктур с квантовыми точками
10. Опишите суть метода ионной имплантация
11. Оптические и электронные свойства коллоидных кластеров.
12. Применение пленок Ленгмюра-Блоджетт для получения многослойных полимернеорганических нанокомпозитов
13. Как происходит сборка молекулярных компонентов, направляемая межмолекулярными нековалентными силами в супрамолекулярном синтезе изолированных олигомерных сверхмолекул или крупных полимерных агрегатов?
14. Опишите технологические приемы получения нанопористых материалов.
15. Какие материалы применяют для создания защитных поверхностей на основе нанопленок?
16. На чем основана суть метода очистки и обработки нанотрубок с помощью окислителей?
17. Перечислите методы, применяемые для синтеза трубчатых материалов.
18. Опишите методы механохимического и плазмохимического синтеза ультрадисперсных порошков.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительн о	Неудовлетворительно
<p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> - работать с научной и справочной литературой; - собирать и систематизировать практический материал; логично и грамотно излагать собственные 	<p>Умеет</p> <ul style="list-style-type: none"> - работать с научными источниками, справочной литературой; - собирать и систематизировать практический материал; - допускает логические 	<p>Работает с научными источниками, справочной литературой;</p> <ul style="list-style-type: none"> - собирает практический материал; - допускает логические ошибки при изложении умозаключений и 	<p>Неубедительны результаты работы с научной и справочной литературой;</p> <ul style="list-style-type: none"> - допускает серьезные логические ошибки и неуверен при изложении результатов и выводов; - представленная презентация не полностью раскрывает

умозаключения и выводы; - пользоваться глобальными информационными ресурсами; - способен создать содержательную презентацию выполненной работы	ошибки при изложении умозаключений и выводов, самостоятельно способен их исправить; - способен создать презентацию выполненной работы	выводов; - способен создать презентацию выполненной работы, имеются проблемы с содержательностью	содержание выполненной работы
--	--	---	-------------------------------

6.2.2.2 Семестр 6, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

6.2.2.2.1 Описание процедуры

Экзамен проводится в форме устного опроса по билетам с предварительной подготовкой студента. Экзаменатор вправе задавать дополнительные вопросы и давать расчетные задачи по программе данного курса. Экзаменационные билеты (вопросы) утверждаются на заседании кафедры и подписываются заведующим кафедрой не позднее, чем за две недели до начала экзаменационной сессии.

При выставлении оценки экзаменатор учитывает:

- знание фактического материала по программе, в том числе; знание обязательной литературы, современных публикаций по программе курса, а также истории науки;
- степень активности студента на семинарских занятиях;
- логику, структуру, стиль ответа; культуру речи, манеру общения; готовность к дискуссии, аргументированность ответа; уровень самостоятельного мышления; умение приложить теорию к практике, решить задачи;
- наличие пропусков семинарских и лекционных занятий по неуважительным причинам

Пример задания:

Пример экзаменационного билета

Министерство науки
и высшего образования РФ
Иркутский национальный
исследовательский технический университет Экзаменационный билет №1
по дисциплине
Химия наноматериалов и наносистем

«__» _____ 2023 г. № _____

1. История развития наук о наноматериалах; понятия, термины и определения. Области приложения наноматериалов. Пути получения наноструктур, их характеристика.
2. Синтез квантовых точек (коллоидный синтез и эпитаксия). Требования к наночастицам, стабилизаторам.

Вопросы к экзамену

1. История развития наук о наноматериалах; понятия, термины и определения. Области приложения наноматериалов. Пути получения наноструктур, их характеристика.
2. Концепции наноматериалов. Метод Глейтера. Классификация НМ.
3. Основные разновидности наноматериалов. Терминологические особенности. Приложения НМ.
4. Поверхность, условия ее существования, поверхностный слой, поверхностная энергия, удельная поверхность. Термодинамическое определение поверхностного натяжения. Удельная энергия Гиббса поверхности твердых тел и жидкостей
5. Зависимость удельной поверхности от дисперсности системы, коэффициенты формы, кривизна поверхности
6. Особенность термодинамического состояния вещества в поверхностных слоях. Толщина поверхностного слоя, методы его описания. Внутренняя энергия поверхности для конденсированных систем. Уравнение Гиббса – Гельмгольца для поверхности.
7. Самопроизвольное уменьшение поверхностной энергии. Адсорбция и ее виды.
8. Термодинамика искривленной поверхности. Эффекты при искривлении поверхности. Поверхностное давление жидкой капли. Уравнение Лапласа. Давление пара над искривленной поверхностью. Уравнение Кельвина (Томсона).
9. Величины σ и γ . Деформация частиц. Влияние поверхностных явлений на состояние наночастиц.
10. Свойства изолированных наночастиц. Структурные и фазовые превращения. Структура кластеров. Устойчивые конфигурации кластера. Перестройка структуры НЧ. Фазовые превращения в НЧ
11. Зависимость p насыщенного пара частицы и T плавления частицы от её размера. Применимость уравнения Томсона-Гиббса. Гомогенная конденсация пересыщенного пара.
12. Равновесие твердой частицы с ее расплавом. Выражения для равновесной температуры плавления твёрдых частиц. Размерные эффекты. Модели плавления кластеров
13. Кластеры, НРЧ, коллоиды. Гомогенное и гетерогенное фазообразование. Зародышеобразование как критическое явление. Роль флуктуаций.
14. Гомогенное изотропное зародышеобразование. Критический размер и состав (число атомов) изотропного зародыша. Изменение энергии Гиббса системы от радиуса ЗНФ. Энергетический барьер ЗО. Метастабильное состояние (пересыщение и переохлаждение)
15. Модели зародышеобразования в твердых телах. Условия зарождения новой фазы. Влияние дефектов на энергию зародышеобразования.
16. Гетерогенное зародышеобразование. Модель изотропного ЗО на твердой поверхности. Полное изменение энергии Гиббса системы. Электрохимическое зародышеобразование. Особенности зарождения новой фазы в условиях электрокристаллизации
17. Нуклеация и рост нанокластеров в нанопорах вещества из пересыщенных растворов и растворов конечной концентрации.
18. Свободная энергия Гиббса для кластера в замкнутой поре. Зависимость максимального размера кластеров в поре от размера поры и концентрации вещества
19. Кинетические особенности формирования новой фазы. Механизмы образования зародышей. Коалесценция и коагуляция. Функция распределения частиц по размерам. Рост частиц в результате коагуляции.
20. О предэкспоненциальном множителе в уравнении скорости реакции для процесса конденсации из пара в результате пересыщения и переохлаждения.
21. Скорость ЗО в конденсированных жидких средах (расплавы и растворы). Оценка

величины предэкспоненциального множителя в уравнении скорости формирования зародышей.

22. Размерные эффекты физических свойств. Свойства, зависящие от плотности состояний
23. Размерная зависимость температуры плавления малой частицы. Формула Томсона для твёрдой частицы, находящейся в равновесии с расплавом.
24. Равновесие малых твёрдых частиц с паром и расплавом. Зависимость давления насыщенного пара частицы $p(r)$ от её размера (радиуса r). Уравнение Томсона-Гиббса.
25. Синтез квантовых точек (коллоидный синтез и эпитаксия). Требования к наночастицам, стабилизаторам.
26. Оптические свойства полупроводниковых наночастиц. Плазмонный резонанс. Спектры поглощения коллоидных растворов. Квантоворазмерный эффект.
27. Формирование одномерных структур. Структура углеродных материалов. Вектор хиральности и свойства УНТ.
28. Методы синтеза одномерных наноструктур. Тубулярные наноструктуры. Открытие нанотрубок, одно- и многостенные УНТ. Конфигурации ОСНТ. Вектор свертки графенового слоя.
29. Электронные и механические свойства УНТ. Диаметр и хиральность ОСНТ. Полупроводниковые и металлические свойства ОСНТ.
30. Фуллерены. Синтез, разделение, физические и химические свойства. Производные фуллеренов. Изомерия. Реакции присоединения и нуклеофильного замещения.
31. Химические методы получения НЧ (восстановление солей металлов, разложение прекурсоров, реакции осаждения в микроэмульсионных системах)
32. Химический синтез наночастиц и наноматериалов контролируемой формы в растворах.

6.2.2.2.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
Обучающийся полно и связно излагает материал, дает правильное определение основным понятиям; может обосновать свои собственные умозаключения и выводы, привести необходимые примеры;	Обучающийся дает ответ, удовлетворяющий тем же требованиям, что и для отметки «5», но допускает 1–2 ошибки, которые сам же исправляет,	Обучающийся знает и понимает основные положения данной темы, но: 1) излагает материал неполно и допускает неточности в определении понятий 2) не умеет доказательно обосновать свои умозаключения и выводы, и привести примеры; 3) излагает материал непоследовательно и допускает ошибки в речевом	Обучающийся обнаруживает незнание большей части вопроса, допускает ошибки в формулировке определений и правил, искажающие их смысл, беспорядочно и неуверенно излагает материал

		оформлении излагаемого ответа	
--	--	----------------------------------	--

7 Основная учебная литература

1. Сергеев Г. Б. Нанохимия : монография / Г. Б. Сергеев, 2007. - 333.
2. Суздаев И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И. П. Суздаев, 2009. - 589.
3. Рамбиди Н. Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н. Г. Рамбиди, А. В. Березкин, 2009. - 454.
4. Елисеев А. А. Функциональные наноматериалы : учебное пособие для старших курсов по специальности 020101 (011000) - Химия / А. А. Елисеев, А. В. Лукашин; под ред. Ю. Д. Третьякова, 2010. - 452.
5. Ниндакова Л. О. Физико-химия наноструктурированных материалов : учебное пособие для специальности 210602 "Наноматериалы" .. / Л. О. Ниндакова, 2011. - 63.
6. Рыжонков Д. И. Наноматериалы : учебное пособие / Д. И. Рыжонков, В. В. Левина, Э. Л. Дзидзигури, 2010. - 365.
7. Рамбиди Н. Г. Структура и свойства наноразмерных образований: реалии современной нанотехнологии : учебное пособие / Н. Г. Рамбиди, 2011. - 375.
8. Наноструктурные материалы / пер. с англ. А. А. Шустикова под ред. Н. И. Бауровой, 2009. - 487.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Андриевский Р. А. Наноструктурные материалы : учеб. пособие для вузов по направлению подгот. диплом. специалистов 651800" Физ. материаловедение" / Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля, 2005. - 178, [9].
2. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев, 2007. - 414.
3. Суздаев И. П. Электрические и магнитные переходы в нанокластерах и наноструктурах : монография / И. П. Суздаев, 2012. - 474.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Свободно распространяемое программное обеспечение Microsoft Windows (Подписка DreamSpark Premium Electronic Software Delivery (3 years). Сублицензионный договор №14527/МОС2957 от 18.08.16г.)

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. МПБ-3 микроскоп измерительный
2. МПБ-3 микроскоп измерительный
3. Привод лаб. ПЭ-0270
4. Привод лаб. ПЭ-0270
5. Кондуктометр "Эксперт-002" (датчик лабораторный)
6. Ионномер АНИОН-4154 (410А)
7. Привод лаб.ПЭ-0270
8. Рефрактометр ИРФ-454 Б2М
9. Моделирование зрительной трубы и микроскопа ФПВ-05-1-10
10. Сушильный шкаф СНОЛЗ,5 И2М
11. Дистиллятор ДЭ-25
12. Весы лабораторные ВК-1500
13. термостат жидкостный ЛАБ-ТС-01/12
14. ионномер-рН метр микропроцессорный И-500
15. ионномер-рН метр микропроцессорный И-500
16. Мешалка магнитная с нагревом ИКА
17. Мешалка магнитная с нагревом ИКА
18. Спектрофотометр однолучевой сканирующий "UNICO UV-2800"
19. Калориметр сканирующий дифференц-ый DSC 204 F1 Phoenix