

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»  
(ВлГУ)

УТВЕРЖДАЮ

Проректор  
по образовательной деятельности

  
А.А.Панфилов

« 02 » 09 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ НАНОТЕХНОЛОГИЙ**

(наименование дисциплины)

Направление подготовки 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Профиль/программа подготовки Нанотехнологии и микросистемная техника

Уровень высшего образования бакалавриат

Форма обучения очная

Семестр	Трудоемкость зач. ед./ час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	СРС, час.	Форма промежуточной аттестации (экзамен/зачет/зачет с оценкой)
3	3/108	18	18		72	Зачет
Итого	3/108	18	18		72	Зачет

Владимир 2019

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: ознакомление студентов с химическими основами нанотехнологий, способами синтеза наноструктур, возможностями управления их размерами и формой, свойствами наноматериалов, определяющими их конкурентоспособность в сравнении с традиционными материалами; формирование навыков применения теоретических знаний при решении практических задач.

Задачи: изучение химических основ нанотехнологий; закрепление полученных знаний при решении задач; формирование навыков применения теоретических знаний в ходе выполнения при решении профессиональных задач.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина «Химические основы нанотехнологий» относится к базовой части ОПОП ВО.

Пререквизиты дисциплины: физика, химия и математика.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП

Код формируемых компетенций	Уровень освоения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине характеризующие этапы формирования компетенций (показатели освоения компетенции)
1	2	3
ОПК-1	Частичное освоение	<b>Знать:</b> законы и принципы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования; <b>Уметь:</b> проводить эксперименты по определению физико-химических свойств неорганических и органических веществ; проводить измерение основных электрических величин, определять параметры и характеристик электрических и электронных устройств; <b>Владеть:</b> математическим аппаратом для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических и химических систем, явлений и процессов, использования в обучении и профессиональной деятельности.
ОПК-5	Частичное освоение	<b>Знать:</b> перечень оборудования на производстве и в лаборатории, обеспечивающего безопасное производство при производстве и исследовании материалов и компонентов нано- и микросистемной техники; <b>Уметь:</b> оценивать по критериям эффективности и безопасности технические решения по технологии и применению материалов и компонентов нано- и микросистемной техники; <b>Владеть:</b> методами анализа и контроля наноструктурированных материалов и систем.
ОПК-7	Частичное освоение	<b>Знать:</b> прикладные программы и средства автоматизированного проектирования, используемые при решении инженерных задач; <b>Уметь:</b> проектировать и сопровождать производство технических объектов, систем и процессов; <b>Владеть:</b> методиками организации работы персонала, соблюдения технологической и трудовой дисциплины.

ПК-4	Частичное освоение	<p><b>Знать:</b> базовое контрольно-измерительное оборудование для метрологического обеспечения исследований и промышленного производства наноматериалов и компонентов;</p> <p><b>Уметь:</b> осуществлять диагностику неполадок и частичный ремонт измерительного, диагностического, технологического оборудования;</p> <p><b>Владеть:</b> навыками мониторинга диагностического, технологического оборудования.</p>
------	--------------------	--

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц, 108 часов

№ п/п	Наименование тем и/или разделов/тем дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Объем учебной работы, с применением интерактивных методов (в часах / %)	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	СРС		
1	Нанотехнология. Основные понятия.	3	1-2	2	2		8	2 (50)	
2	Вещество, фаза, дефект, структура. Основные понятия	3	3-6	4	4		16	4 (50)	Рейтинг контроль №1
3	Материалы. Их классификация. Наноматериалы.	3	7-10	4	4		16	4(50)	
4	Стабильные, метастабильные и лабильные системы. Взаимодействия в сложных системах.	3	11-12	2	2		8	2(50)	Рейтинг контроль №2
5	Химические методы синтеза наночастиц и наноматериалов.	3	13-18	6	6		24	6(50)	Рейтинг контроль №3
Всего за 3семестр:				18	18		72	18(50)	зачет
Наличие в дисциплине КП/КР									
Итого по дисциплине				18	18		72	18(50)	зачет

## Содержание лекционных занятий по дисциплине

Раздел 1. Нанотехнология. Основные понятия.

Тема 1. Нанонаука. Нанотехнология. Наносистемы. Эволюция наносистем. Нанообъекты. Нанохимия. Иерархия структурных уровней материалов.

Раздел 2. Вещество, фаза, дефект, структура. Основные понятия.

Тема 1. Вещество. Фаза. Кристаллическая структура.

Тема 2. Дефекты в кристаллах. Их классификация. Влияние дефектов на свойства наноматериалов.

Раздел 3. Материалы. Их классификация. Наноматериалы.

Тема 1. Материалы. Их классификация

Тема 2. Наноматериалы: нановолокна, наножидкости, нанокристаллы, нанокластеры

Раздел 4. Стабильные, метастабильные и лабильные системы. Взаимодействия в сложных системах.

Тема 1. Стабильные, метастабильные и лабильные системы. Термодинамический и кинетический контроль формирования метастабильных состояний.

Тема 2. Взаимодействия в сложных системах. Способы образования периодических структур. Общие принципы самосборки и самоорганизации.

Раздел 5. Химические методы синтеза наночастиц и наноматериалов.

Тема 1. Золь-гель метод.

Тема 2. Физико-химические методы синтеза наночастиц.

Тема 3. Коллоидные нанореакторы. Синтез в пленках Ленгмюра-Блоджетт. Принципиальная схема метода.

## Содержание практических занятий по дисциплине

Раздел 1. Нанотехнология. Основные понятия. Иерархия структурных уровней материалов.

Тема 1. Практическое занятие «Молекулярно-кинетические свойства нанодисперсных систем с жидкой и газообразной дисперсионной средой».

Раздел 2. Вещество, фаза, дефект, структура. Основные понятия.

Тема 1. Практическое занятие «Оптические свойства нанодисперсных систем».

Раздел 3. Материалы. Их классификация. Наноматериалы.

Тема 1. Практическое занятие «Дисперсионный анализ полидисперсных систем».

Раздел 4. Нанотехнология. Основные понятия. Иерархия структурных уровней материалов.

Тема 1. Практическое занятие «Физико-химические закономерности процессов, протекающих в нанопористых системах».

Раздел 5. Нанотехнология. Основные понятия. Иерархия структурных уровней материалов.

Тема 1. Практическое занятие «Физико-химические закономерности образования нанокластеров».

## 5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В преподавании дисциплины «Химические основы нанотехнологий» используются разнообразные образовательные технологии как традиционные, так и с применением активных и интерактивных методов обучения.

Активные и интерактивные методы обучения:

- *Интерактивная лекция (раздел 2, тема 2);*

- Тренинг ((раздел 4);
- Анализ ситуаций ((раздел 1, 5);
- Разбор конкретных ситуаций ((раздел 3);

## 6. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Текущий контроль успеваемости проводится по результатам проведения рейтинг-контроля по следующим контрольным вопросам

### Рейтинг-контроль № 1

1. Рассчитайте коэффициент диффузии коллоидного золота при 20°C в воде, если радиус его частиц равен  $10^{-9}$  м, вязкость равна  $0,001$  Н с/м<sup>2</sup>.
  2. Определите коэффициент сопротивления при движении частицы кварца в воде, если коэффициент диффузии равен  $2,1 \cdot 10^{-12}$  м<sup>2</sup>/с, температура равна 25°C.
  3. Определите удельную поверхность следующих частиц: а) куб с длиной ребра 1 мкм ( $10^6$  м), б) шар с диаметром 1 мкм, в) цилиндр с высотой и диаметром основания по 1 мкм.
  4. Определите коэффициент диффузии частицы золота, если при изучении броуновского движения этой частицы вдоль оси через каждые 2с определялись смещения, которые оказались равными (в мкм): 1, 2, 2, 3, 1, 1, 2, 2, 1, 2, 3, 2, 1, 2, 3.
  5. Коэффициент диффузии сферической частицы равен  $2,1 \cdot 10^{-11}$  м<sup>2</sup>/с, а радиус ее равен  $1,4 \cdot 10^{-8}$  м. Рассчитайте коэффициент вращательной диффузии.
  6. Вычислите гипсометрическую высоту золя золота (плотность золота равна  $19300$  кг/м<sup>3</sup>; радиус частиц равен  $4 \cdot 10^{-9}$  м) при 25°C.
  7. Вычислите величину среднего сдвига коллоидных частиц гидрозоль гидрата окиси железа при 293° за время 4 с, если радиус частиц  $10^{-8}$  м, вязкость воды  $10^{-3}$  Н с/м<sup>2</sup>.
  8. Найдите отношение величин среднего сдвига частиц с радиусами  $2 \cdot 10^{-9}$  м и  $2 \cdot 10^{-7}$  м.
  9. С какой скоростью будут оседать капли водяного тумана с радиусами частиц  $10^{-4}$  м,  $10^{-6}$  м? Вязкость воздуха  $1,8 \cdot 10^{-3}$  Н с/м<sup>2</sup>. Величиной плотности воздуха пренебречь.
  10. Сравните осмотическое давление золя с частицами радиуса порядка  $10^{-8}$  м с осмотическим давлением молекулярного раствора (радиус молекул имеет порядок  $10^{-10}$  м). Плотность золя равна плотности раствора.
  11. Рассчитайте величину осмотического давления золя сернистого мышьяка концентрации  $7$  кг/м<sup>3</sup>. Средний радиус частиц 10 нм, плотность золя  $2,8 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>,  $T = 293$  К.
  12. Ниже приведены результаты изучения равновесного распределения частиц гидрозоль селена по высоте под действием силы тяжести (при 293 К):
- |                                  |     |     |      |      |
|----------------------------------|-----|-----|------|------|
| h, мкм                           | 50  | 850 | 1050 | 1250 |
| v, число частиц в единице объема | 595 | 271 | 165  | 90   |
- Используя эти данные, рассчитайте коэффициент диффузии частиц селена в воде. Плотность селена примите равной  $4,81$  г/см<sup>3</sup>, плотность воды  $1$  г/см<sup>3</sup>, вязкость воды  $1 \cdot 10^{-3}$  Па с.
13. Определите радиус частиц гидрозоль золота, если после установления диффузионно-седиментационного равновесия при 293 К на высоте 8,56 см концентрация частиц изменяется в «е» раз. Плотность золота  $19,3$  г/см<sup>3</sup>, плотность воды  $1,0$  г/см<sup>3</sup>.
  14. Результаты экспериментов Сведберга по определению среднего сдвига частиц золя платины в разных средах при 293 К следующие:

	$\eta \cdot 10^4, \text{ Па} \cdot \text{с}$	$\tau, \text{ с}$	$\Delta, \text{ мкм}$
Ацетон	3,2	1,60	6,2
Вода	10,0	0,65	2,1
Пропиловый спирт	22,6	0,45	1,3

На основании этих данных определите дисперсность частиц золя, а также коэффициенты диффузии частиц в указанных средах.

15. Определите высоту, на которой после установления диффузионно-седиментационного равновесия концентрация частиц гидрозоля диоксида кремния уменьшится вдвое. Частицы золя сферические, дисперсность частиц  $0,2 \text{ нм}^{-1}$ . Плотность  $\text{SiO}_2$   $2,7 \text{ г/см}^3$ , плотность воды  $1 \text{ г/см}^3$ , температура  $298 \text{ К}$ .

16. В опытах Вестгрена было получено следующее установившееся под действием силы тяжести распределение частиц гидрозоля золота по высоте:

$h, \text{ мкм}$	0	50	100	200	300	400
Число частиц в единице объема	1431	1053	779	408	254	148

Определите средний размер частиц гидрозоля, если плотность дисперсной фазы равна  $19,6 \text{ г/см}^3$ , температура  $292 \text{ К}$ .

17. Удельная поверхность сферических частиц гидрозоля кремнезема составляет  $1,1 \cdot 10^6 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Плотность кремнезема  $2,7 \text{ г/см}^3$ , вязкость дисперсионной среды  $10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , температура  $293 \text{ К}$ . Определите проекцию среднего сдвига частиц золя за время  $4 \text{ с}$ .

18. По данным Сведберга, коэффициент диффузии коллоидных частиц золота в воде при  $298 \text{ К}$  равен  $2,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сут}$ . Определите дисперсность частиц гидрозоля золота. Вязкость воды при  $298 \text{ К}$  равна  $8,94 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

19. Определите частичную концентрацию золя  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , исходя из следующих данных: массовая концентрация  $0,3 \text{ г/л}$ ; коэффициент диффузии сферических частиц золя  $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сут}$ , плотность  $\text{Al}_2\text{O}_3$   $4 \text{ г/см}^3$ ; вязкость среды  $10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , температура  $293 \text{ К}$ .

20. Для гидрозоля  $\text{Al}_2\text{O}_3$  рассчитайте высоту, на которой концентрация частиц уменьшается в  $2,7$  раза. Форма частиц сферическая, удельная поверхность дисперсной фазы гидрозоля  $10^9 \text{ м}^{-1}$ . Плотность  $\text{Al}_2\text{O}_3$   $4 \text{ г/см}^3$ ; плотность дисперсионной среды  $1 \text{ г/см}^3$ , температура  $293 \text{ К}$ .

21. Осмотическое давление гидрозоля золота (форма частиц сферическая) с концентрацией  $2 \text{ г/л}$  при  $293 \text{ К}$  равно  $3,74 \text{ Па}$ . Рассчитайте коэффициент диффузии частиц гидрозоля при тех же условиях, если плотность золота  $19,3 \text{ г/см}^3$ , а вязкость дисперсионной среды  $10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

22. Определите удельную поверхность порошка сульфата бария (в расчете на единицу массы), если частицы его оседают в водной среде на высоту  $0,226 \text{ м}$  за  $1350 \text{ с}$  (частицы имеют сферическую форму). Плотность сульфата бария и воды соответственно  $4,5$  и  $1 \text{ г/см}^3$ , вязкость воды  $10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

23. Вычислите концентрацию частиц дыма на высоте  $1 \text{ м}$ , если на исходном уровне их концентрация была  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ . Средний радиус частиц  $10^{-8} \text{ м}$ ; плотность  $1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ,  $T=290 \text{ К}$ ; плотностью воздуха можно пренебречь.

24. Рассчитайте время оседания в воде частиц песка размерами  $10^{-5}$  и  $10^{-8} \text{ м}$  с высоты  $0,1 \text{ м}$ . Плотность песка  $2 \text{ г/см}^3$ , плотность дисперсионной среды  $1 \text{ г/см}^3$ , вязкость дисперсионной среды при температуре  $293 \text{ К}$   $10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ . Оцените седиментационную устойчивость дисперсных систем.

## Рейтинг-контроль № 2

1. Рассчитайте и постройте интегральную и дифференциальную кривые распределения для суспензий оксида алюминия в метаноле по следующим экспериментальным данным:

$t, \text{ мин} \dots 2 \ 3 \ 5 \ 10 \ 20 \ 30 \ 50 \ 80 \ 120 \ 150$

m, мг...19 31 46 57 65 69 74 78 80 80

Плотность дисперсной фазы составляет  $3,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; плотность дисперсионной среды  $0,79 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость  $1,2 \cdot 10^{-3}$  Па·с; высота оседания 0,08 м. Используйте метод построения касательных к кривой седиментации.

2. Рассчитайте и постройте интегральную и дифференциальную кривые распределения частиц Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в воде по следующим экспериментальным данным, полученным в результате графической обработки седиментационной кривой (t - время оседания для точки, в которой проведена касательная к седиментационной кривой):

t, с..... 60 150 300 360 450 1000 2400

Q, % .....4 7 29 11 32 12 5

Высота оседания 0,08 м; вязкость среды  $10^{-3}$  Па·с; плотность Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> составляет  $4 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; плотность воды  $1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

3. Постройте седиментационную кривую, рассчитайте и постройте интегральную и дифференциальную кривые распределения частиц талька в воде, используя графический метод обработки кривой седиментации:

t, с..... 15 30 60 120 240 360 480 600

m, мг ..... 3 6,0 8,0 9,0 12,0 13,0 13,5 13,5

Высота оседания 0,1 м; вязкость среды  $10^{-3}$  Па·с; плотность дисперсной фазы составляет  $2,74 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; плотность воды  $1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

4. Рассчитайте и постройте интегральную и дифференциальную кривые распределения частиц графита в анилине по следующим данным, полученным в результате графической обработки седиментационной кривой (t - время оседания для точки, в которой проведена касательная к седиментационной кривой):

t, с..... 60 300 600 1200 1800 3000 4200

Q, % .....12,9 42,3 23,7 8,0 5,8 5,3 2

Высота оседания 0,12 м; вязкость среды  $4,4 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотность графита составляет  $2,1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; плотность воды  $1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>.

5. Рассчитайте и сравните скорости оседания частиц глины в воде в гравитационном и центробежном полях при следующих условиях: радиус частиц 2 мкм; высота оседания 0,2 м; плотность дисперсной фазы  $2,7 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; плотность дисперсионной среды  $1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость  $1 \cdot 10^{-3}$  Па·с; частота вращения центрифуги 1000 об/мин.

6. Какое центробежное ускорение должна иметь центрифуга, чтобы вызвать оседание коллоидных частиц AgCl в водной среде при следующих условиях: плотность дисперсной фазы  $5,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; плотность дисперсионной среды  $10^3$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость  $1 \cdot 10^{-3}$  Па·с; температура 300 К.

7. Рассчитайте размер частиц AgCl в ацетоне, если время их оседания в центрифуге составило 8 мин при следующих условиях: исходный уровень 0,05 м; конечный уровень 0,10 м; плотность дисперсной фазы  $5,6 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; плотность дисперсионной среды  $0,79 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>; вязкость  $0,33 \cdot 10^{-3}$  Па·с; частота вращения центрифуги 1800 об/мин.

8. Постройте функции распределения частиц по размерам по экспериментальным данным седиментации в центробежном поле: частота вращения центрифуги 2500 об/мин; вязкость среды  $1 \cdot 10^{-3}$  Па·с; плотность дисперсной фазы  $1600$  кг/м<sup>3</sup>; плотность дисперсионной среды  $1000$  кг/м<sup>3</sup>; время центрифугирования 15 минут; максимальная высота оседания 5 см; максимальная масса выпавшего осадка (после полного оседания)  $40 \cdot 10^{-6}$  кг; расстояние от оси вращения центрифуги до плоскости наблюдения 12 см. Масса седиментационного осадка, полученного в пробирках с разной высотой столба суспензии (x), приведена в таблице:

x 10<sup>2</sup>, м.....1 2 3 4 5

m 10<sup>6</sup>, кг .....9,5 18,6 24,3 30,5 36,0

9. Постройте функции распределения частиц по размерам по экспериментальным данным седиментации в центробежном поле: частота вращения центрифуги 2800 об/мин; вязкость среды  $10^{-3}$  Па·с; плотность дисперсной фазы  $1600$  кг/м<sup>3</sup>; плотность дисперсионной среды  $1000$

кг/м<sup>3</sup>; время центрифугирования 10 минут; максимальная высота оседания 6 см; максимальная масса выпавшего осадка (после полного оседания) 48 · 10<sup>-6</sup> кг; расстояние от оси вращения центрифуги до плоскости наблюдения 14 см. Масса седиментационного осадка, полученного в пробирках с разной высотой столба суспензии (х), приведена в таблице:

х 10<sup>2</sup>, м..... 1 2 3 4 5 6  
 m·10<sup>6</sup>, кг.....5,7 8,7 10,7 12,3 13,3 15,0

10. Постройте функции распределения частиц по размерам по экспериментальным данным седиментации в центробежном поле: частота вращения центрифуги 2000 об/мин; вязкость среды 10<sup>-3</sup> Па·с; плотность дисперсной фазы 1900 кг/м<sup>3</sup>; плотность дисперсионной среды 1000 кг/м<sup>3</sup>; время центрифугирования 10 минут; максимальная высота оседания 6 см; максимальная масса выпавшего осадка (после полного оседания) 48 · 10<sup>-6</sup> кг; расстояние от оси вращения центрифуги до плоскости наблюдения 15 см. Масса седиментационного осадка, полученного в пробирках с разной высотой столба суспензии (х), приведена в таблице.

х 10<sup>2</sup>, м.....1 2 3 4 5 6  
 m 10<sup>6</sup>, кг .....9,2 12,2 15,3 17,8 19,0 21,1

### Рейтинг-контроль № 3

1. Найдите параметры уравнения Дубинина-Радушкевича по изотерме адсорбции бензола на угле при T=298 К.

$$V_m = 89 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$$

P/Ps	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
A 10 <sup>3</sup> , моль/кг	24,0	28,3	31,0	36,0	46,0	55,0

Считать уголь микропористым адсорбентом.

2. Используя уравнение Дубинина-Радушкевича, рассчитайте предельный адсорбционный объем сажи по изотерме адсорбции:

P/Ps	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
A 10 <sup>3</sup> , моль/кг	3,7	4,8	7,1	14,1	18,7	21,0

Мольный объем адсорбата 88,8 см<sup>3</sup>/моль.

3. Используя уравнение Дубинина-Радушкевича, рассчитайте объем пор угля по изотерме адсорбции этана:

P/Ps	0,003	0,004	0,005	0,008
A, моль/кг	2,37	2,53	2,63	2,77

Мольный объем этана 64 см<sup>3</sup>/моль.

4. Постройте интегральную и дифференциальную кривые распределения пор адсорбента по радиусам по данным конденсации паров адсорбата при T=293К (V<sub>m</sub>=18 см<sup>3</sup>/моль, σ=72,5 · 10<sup>-3</sup> Дж/м<sup>2</sup>).

P/Ps	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	0,98
a <sub>ад</sub> 10 <sup>3</sup> , моль/кг	0,25	0,5	1,5	8,5	20,0	24,0	26,0
a <sub>дес</sub> 10 <sup>3</sup> , моль/кг	0,25	0,7	1,8	13,0	27,0	28,0	28,5



5. Рассчитайте удельную поверхность адсорбента по данным конденсации паров гептана при  $T=293\text{K}$  ( $V_m=147\text{см}^3/\text{моль}$ ,  $\sigma=22,0 \cdot 10^{-3}\text{ Дж/м}^2$ ):

P/Ps	0,50	0,60	0,70	0,75	0,80	0,85
$a_{\text{адс}} \cdot 10^3$ , моль/кг	4,8	7,2	10,8	15,1	21,8	27,0
$a_{\text{дес}} \cdot 10^3$ , моль/кг	4,8	7,7	12,6	21,0	26,6	27,0

6. Постройте интегральную и дифференциальную кривые распределения пор адсорбента по радиусам по данным конденсации паров адсорбата при  $T=293\text{K}$  ( $V_m=18\text{ см}^3/\text{моль}$ ,  $\sigma=72,5 \cdot 10^{-3}\text{ Дж/м}^2$ ):

P/Ps	0,12	0,25	0,5	0,74	0,86	1,0
$a_{\text{адс}} \cdot 10^3$ , моль/кг	1,0	1,4	1,7	2,3	3,0	5,0
$a_{\text{дес}} \cdot 10^3$ , моль/кг	1,0	1,7	2,3	2,9	3,8	5,0

7. Постройте интегральную и дифференциальную кривые распределения пор адсорбента по радиусам по данным конденсации паров адсорбата при  $T=293\text{K}$  ( $V_m=18\text{ см}^3/\text{моль}$ ,  $\sigma=72,5 \cdot 10^{-3}\text{ Дж/м}^2$ ):

P/Ps	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$a_{\text{адс}} \cdot 10^3$ , моль/кг	2,86	4,29	5,85	7,4	8,7	10,0	11,0
$a_{\text{дес}} \cdot 10^3$ , моль/кг	3,38	5,2	8,58	10,0	10,8	11,0	11,44

8. Рассчитайте удельную поверхность адсорбента по данным конденсации паров воды при  $T=293\text{K}$  ( $V_m=18\text{ см}^3/\text{моль}$ ,  $\sigma=72,5 \cdot 10^{-3}\text{ Дж/м}^2$ ):

P/Ps	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	1,0
$a_{\text{адс}} \cdot 10^3$ , моль/кг	7,0	9,0	11,5	14,0	22,5	26,5	30,0
$a_{\text{дес}} \cdot 10^3$ , моль/кг	7,0	10,3	13,5	16,5	25,0	27,6	30,0

9. Постройте интегральную и дифференциальную кривые распределения пор адсорбента по радиусам по данным конденсации паров адсорбата при  $T=293\text{K}$  ( $V_m=40,6\text{ см}^3/\text{моль}$ ,  $\sigma=22,6 \cdot 10^{-3}\text{ Дж/м}^2$ ):

P/Ps	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$a_{\text{адс}} \cdot 10^3$ , моль/кг	5,6	6,44	7,21	7,91	8,75	9,81	11,20
$a_{\text{дес}} \cdot 10^3$ , моль/кг	5,6	7,2	8,26	9,1	9,94	10,56	11,30

10. Постройте интегральную и дифференциальную кривые распределения пор адсорбента по радиусам по данным конденсации паров метилового спирта при  $T=293\text{K}$  ( $V_m=40,6\text{ см}^3/\text{моль}$ ,  $\sigma=22,6 \cdot 10^{-3}\text{ Дж/м}^2$ ):

P/Ps	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
$a_{адс} 10^3$ , МОЛЬ/КГ	24,0	28,3	31,0	36,0	46,0	55,0
$a_{дес} 10^3$ , МОЛЬ/КГ	24,0	32,0	37,0	44,0	50,0	55,0

11. Постройте интегральную и дифференциальную кривые распределения пор адсорбента по радиусам по данным конденсации паров адсорбата при  $T=293K$  ( $V_m=40,6$  см<sup>3</sup>/моль,  $\sigma =22,6 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>):

P/Ps	0,125	0,250	0,5	0,62	0,75	0,86	1,0
$a_{адс} 10^3$ , МОЛЬ/КГ	2,5	3,5	4,8	6,3	13,0	19,0	22,5
$a_{дес} 10^3$ , МОЛЬ/КГ	2,5	3,9	5,2	6,7	17,5	21,0	22,5

12. Рассчитайте удельную поверхность силикагеля по данным конденсации паров воды при  $T=293K$  ( $V_m= 18$  см<sup>3</sup>/моль,  $\sigma =72,5 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>):

P/Ps	0,12	0,25	0,50	0,74	0,86	0,95
$a_{адс} 10^3$ , МОЛЬ/КГ	1,0	1,4	1,7	2,3	3,0	5,0
$a_{дес} 10^3$ , МОЛЬ/КГ	1,0	1,6	2,2	2,7	3,7	5,0

13. Постройте интегральную и дифференциальную кривые распределения пор адсорбента по радиусам по данным конденсации паров метанола при  $T=293K$  ( $V_m=40,6$  см<sup>3</sup>/моль,  $\sigma =22,6 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>):

P/Ps	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
$a_{адс} 10^3$ , МОЛЬ/КГ	6,7	7,2	7,5	7,7	8,5	9,2	10,3
$a_{дес} 10^3$ , МОЛЬ/КГ	6,75	7,5	8,1	8,64	9,2	9,9	10,53

14. Рассчитайте удельную поверхность адсорбента по данным конденсации паров воды при  $T=293K$  ( $V_m= 18$  см<sup>3</sup>/моль,  $\sigma =72,5 \cdot 10^{-3}$  Дж/м<sup>2</sup>):

P/Ps	0,10	0,20	0,40	0,60	0,80	0,90	0,98
$a_{адс} 10^3$ , МОЛЬ/КГ	3,7	5,3	6,2	8,7	10,4	12,5	13,4
$a_{дес} 10^3$ , МОЛЬ/КГ	3,7	7,0	7,9	10,0	11,5	13,0	13,4

## ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ)

1. Нанотехнология. Наноматериалы. Иерархия структурных уровней материалов. Структурно-чувствительные характеристики наноструктурированных материалов. Основные факторы их определяющие.
2. Классификация наноматериалов по их размерности. Эволюция наносистем. Топохимическая память. Методы анализа наносистем и наноматериалов.
3. Вещество. Фаза. Кристаллическая структура. Дефекты в кристаллах. Их классификация. Равновесные дефекты. Уравнение зависимости концентрации равновесных дефектов от изменения энергии Гиббса и температуры.
4. Точечные, линейные, двумерные и трехмерные дефекты. Влияние дефектов на свойства наноматериалов.
5. Классификации материалов по составу, структуре, формам существования и функциональным свойствам.
6. Химическое равновесие. Стабильные, метастабильные и лабильные системы.
7. Термодинамический и кинетический контроль формирования метастабильных состояний. ТТТ- и ССТ- диаграммы.
8. Использование ТТТ- диаграмм при создании материалов с контролируемыми свойствами. ТТТ- диаграммы гелеобразующих систем.
9. Равновесные и неравновесные процессы. Неравновесные процессы в изолированных, закрытых и открытых системах.
10. Взаимодействия в сложных системах. Способы образования периодических структур. Общие принципы самосборки и самоорганизации.
11. Классификация методов получения наноматериалов по типу формирования наноструктур и способу получения и стабилизации наночастиц.
12. Химические методы синтеза наночастиц. Золь-гель метод. Синтез наночастиц оксидов и гидроксидов металлов.
13. Золь-гель метод. Синтез наночастиц оксидов и гидроксидов металлов методом гидролиза соответствующих алкоколятов. Механизм гидролиза.
14. Золь-гель метод. Синтез наночастиц оксидов и гидроксидов металлов сополиконденсацией соответствующих алкоколятов. Возможные механизмы реакции.
15. Физико-химические методы синтеза наночастиц. Гидротермальный и сольватотермальный синтез. Суть метода. Условия проведения процесса. Возможность получения частиц с контролируемой структурой.
16. Коллоидные нанореакторы. Мицеллы. Типы мицеллярных систем, образуемых молекулами ПАВ.
17. Коллоидные нанореакторы. Мицеллы. Структура мицелл, определенная из геометрических факторов. Нормальные и обращенные мицеллы.
18. Коллоидные нанореакторы. Мицеллы. Синтез в обращенных мицеллах.
19. Мицеллы и микроэмульсии. Химическое осаждение как один из методов синтеза наночастиц. Основные факторы, влияющие на протекание реакций.
20. Микро- и мини- эмульсии.
21. Синтез в миниэмульсиях. Получение гибридных материалов.
22. Синтез в полимеризованных мицеллярных структурах. Получение блок-сополимеров.
23. Мицеллы, бислои, везикулы.
24. Синтез в пленках Ленгмюра-Блоджетт. Принципиальная схема метода.
25. Синтез в пленках Ленгмюра-Блоджетт. Характер зависимости структуры пленки от степени сжатия и температуры.
26. Синтез в пленках Ленгмюра-Блоджетт.
27. Синтез в пленках Ленгмюра-Блоджетт. Методы нанесения пленок на твердую поверхность. Получение мультислоев. Мультислои X-, Z-, Y- типов.

## **Вопросы для проведения контроля самостоятельной работы:**

1. Нанотехнология. Наноматериалы. Иерархия структурных уровней материалов.
2. Структурно-чувствительные характеристики наноструктурированных материалов. Основные факторы их определяющие.
3. Классификация наноматериалов по их размерности.
4. Эволюция наносистем. Топохимическая память.
5. Методы анализа наносистем и наноматериалов.
6. Вещество. Фаза. Кристаллическая структура. Идеальный, совершенный и реальный кристалл.
7. Дефекты в кристаллах. Их классификация.
8. Равновесные дефекты. Уравнение зависимости концентрации равновесных дефектов от изменения энергии Гиббса и температуры.
9. Точечные (нульмерные) дефекты.
10. Линейные (одномерные) дефекты.
11. Дислокация.
12. Двумерные дефекты. Двойникование.
13. Трехмерные дефекты.
14. Влияние дефектов на свойства наноматериалов.
15. Общая классификация материалов. Алгоритм их создания.
16. Классификация материалов по составу. Фазовый состав материалов.
17. Классификация материалов по структуре. Кристаллические и некристаллические материалы.
18. Классификация материалов по формам существования. Композиты, покрытия, тонкие пленки.
19. Классификация материалов по функциональным свойствам. Биоматериалы. Оптические материалы. Сенсоры.
20. Стабильные, метастабильные и лабильные системы.
21. Термодинамический и кинетический контроль формирования метастабильных состояний.
22. ТТТ- и ССТ- диаграммы.
23. Использование ТТТ- диаграмм при создании материалов с контролируемыми свойствами.
24. ТТТ- диаграммы гелеобразующих систем.
25. Неравновесные процессы в изолированных, закрытых и открытых системах.
26. Взаимодействия в сложных системах. Способы образования периодических структур. Общие принципы самосборки и самоорганизации.
27. Самоорганизация. Условия самоорганизации в открытых системах с образованием диссипативных структур. Бифуркация.
28. Самосборка в молекулярных системах.
29. Классификация методов получения наноматериалов по типу формирования наноструктур.
30. Классификация методов получения наноматериалов по способу получения и стабилизации наночастиц.
31. Золь-гель метод. Основные реакционные параметры.
32. Золь-гель метод. Возможность использования в качестве прекурсоров алкоколятов металлов. Гидролиз алкоколятов металлов по механизму нуклеофильного замещения.
33. Золь-гель метод. Возможность использования в качестве прекурсоров алкоколятов металлов. Сополиконденсация алкоколятов металлов по механизму алкоксоляции.
34. Золь-гель метод. Возможность использования в качестве прекурсоров алкоколятов металлов. Сополиконденсация алкоколятов металлов по механизму оксоляции.
35. Золь-гель метод. Возможность использования в качестве прекурсоров алкоколятов металлов. Сополиконденсация алкоколятов металлов по механизму оляции.
36. Соотношение гидролиза как количественная характеристика, отражающая возможность направленного синтеза гидроксидов и оксидов металлов с заданной морфологией.
37. Гидротермальный и сольватотермальный синтез наночастиц. Суть метода. Условия проведения процесса. Возможность получения частиц с контролируемой структурой.
38. Коллоидные нанореакторы. Основные виды. Принципы формирования. Преимущества.
39. Мицеллы. Типы мицеллярных систем.
40. Нормальные и обращенные мицеллы. Синтез в обращенных мицеллах.
41. Микроэмульсии. Синтез в микроэмульсиях.
42. Микро- и мини- эмульсии. Синтез в миниэмульсиях. Получение гибридных материалов.

43. Синтез в полимеризованных мицеллярных структурах. Получение блок-сополимеров.
44. Синтез в пленках Ленгмюра-Блоджетт. Принципиальная схема метода.
45. Синтез в пленках Ленгмюра-Блоджетт. Характер зависимости структуры пленки от степени сжатия и температуры.
46. Синтез в пленках Ленгмюра-Блоджетт. Методы нанесения пленок на твердую поверхность. Получение мультислоев.

Фонд оценочных средств для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ	
		Количество экземпляров изданий в библиотеке ВлГУ в соответствии с ФГОС ВО	Наличие в электронной библиотеке ВлГУ
1	2	3	4
Основная литература			
1. Минько Н.И., Строкова В.В., Жерновский И.В., Нарцев В.М. Методы получения и свойства нанообъектов. М.: ФЛИНТА	2013	1	-
2. Старостин В.В. Материалы и методы нанотехнологий. М.: БИНОМ	2015	1	-
3. Мишина Е.Д. Методы получения и исследования наноматериалов и наноструктур. М.: БИНОМ, 2013, 192 с	2013	1	-
Дополнительная литература			
1. Андриевский Р.А. Основы наноструктурного материаловедения. М.: БИНОМ	2014	3	-
2. Рыжонков Д.И., Левина В.В., Дзидзигури Э.Л. Наноматериалы. Учебное пособие. М.: БИНОМ	2012	1	-
3. Сергеев Г.Б. Нанохимия М.: МГУ, 2007, 150 с	2007	1	-

### 7.2. Периодические издания

### 7.3. Интернет-ресурсы

1. <http://www.scirus.com/>
2. <http://www.ihtik.lib.ru/>
3. <http://www.y10k.ru/books/>
4. <http://www.iupac.org/>
5. <http://194.67.119.21:89/GetContentForm.asp>
6. <http://www.abc.chemistry.bsu.by/current/fulltext.htm>
7. <http://www.anchem.ru/literature/>

8. <http://www.sciencedirect.com>
9. <http://chemteq.ru/lib/book>
10. <http://www.chem.msu.su/rus>
11. <http://djvu-inf.narod.ru/nclib.htm>
12. <http://www.elsevier.com/>
13. <http://www.uspkhim.ru/>
14. <http://www.strf.ru/database.aspx>

## 8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного и практического типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Практические работы проводятся в помещении лаборатории общей и неорганической химии (ауд. 433-1, 425-1, 405-1)

Рабочую программу составил к.х.н. доц. Чернова О.Б.  
(ФИО, подпись)



Рецензент  
(представитель работодателя) АО «РМ НАНОТЕХ» начальник аналитического отдела  
центральной заводской лаборатории к.х.н. Третьяков А.В.  
(место работы, должность, ФИО, подпись)



Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры химии  
Протокол № 1 от 02.09.2019 года  
Заведующий кафедрой д.х.н. проф. Кухтин Б.А.  
(ФИО, подпись)



Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 28.03.01 «Нанотехнологии и микросистемная техника»  
Протокол № 1 от 02.09.2019 года  
Председатель комиссии д.ф.-м.н. проф. Аракелян С.М.  
(ФИО, подпись)



**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ  
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

---

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

---

Рабочая программа одобрена на \_\_\_\_\_ учебный год

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ года

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

---

