

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МУРМАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
АПАТИТСКИЙ ФИЛИАЛ

**Методические указания к самостоятельной работе студентов**

По дисциплине Б1.В.02.04 Коллоидная химия  
указывается цикл (раздел) ОП, к которому относится дисциплина, название дисциплины

для направления подготовки (специальности) 04.03.01 Химия  
код и наименование направления подготовки (специальности)

Неорганическая химия и химия координационных соединений  
наименование профиля /специализаций/образовательной программы

Квалификация выпускника, уровень подготовки бакалавр  
(указывается квалификация (степень) выпускника в соответствии с ФГОС ВО)

Кафедра - разработчик: химии и строительного материаловедения  
название кафедры - разработчика рабочей программы

Разработчик(и) Ю.П. Семушина, доцент, к.х.н.  
ФИО, должность, ученая степень, (звание)

Апатиты

2019

## Пояснительная записка

1. **Методические указания составлены** на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия, утвержденного приказом Минобрнауки РФ от 17 июля 2017 года, № 671, учебного плана в составе ОП по направлению подготовки 04.03.01 Химия, профилю «Неорганическая химия и химия координационных соединений».

### 2. **Цель и задачи дисциплины (модуля)**

Целью дисциплины (модуля) «Коллоидная химия» является формирование у студентов основ мышления в области химии гетерогенных процессов химических технологий, основанных на этих процессах.

Задача дисциплины (модуля) «Коллоидная химия» - ознакомление с:

- основными представлениями о состоянии и свойствах поверхности раздела фаз;
- методами изучения адсорбционных процессов;
- способами применения этих представлений на практике, в т.ч. для получения современных функциональных материалов: катализаторов, сорбентов и наноматериалов.

### 3. **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю) «Коллоидная химия».**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 04.03.01 Химия:

**ПК-2-н.** Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-исследовательские работы

Результаты формирования компетенций и обучения представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Планируемые результаты обучения**

№ п/п	Код компетенции	Компоненты компетенции, степень их реализации	Результаты обучения
1.	ПК-2-н. Способен оказывать информационную поддержку специалистам, осуществляющим научно-исследовательские работы	Компоненты компетенции соотносятся с содержанием дисциплины и компетенция реализуется полностью	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Знать основной круг проблем (задач), входящих в сферу коллоидной химии и основные способы (методы) их решения</li></ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- находить (выбирать) наиболее эффективные (методы) решения основных проблем (задач) коллоидной химии</li></ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- современными методами, методологией научно-исследовательской деятельности в области коллоидной химии; умением работать в локальной сети и в глобальной сети Интернет.</li></ul> <p><b>Индикаторы сформированности компетенций в реализуемой части:</b></p> <p><b>ПК-2-н-1.</b> Проводит первичный поиск информации по заданной тематике (в т.ч., с использованием патентных баз данных)</p>

**Таблица 2 - Тематический план**

ПР	Наименование и содержание тем для самостоятельной работы (СР)	Номер темы по табл. 4 РП	Кол-во часов
СР 1	<b>Введение.</b> Основные понятия коллоидной химии, объекты и цели изучения. Различные типы классификации дисперсных систем. Взаимосвязь коллоидной химии с другими химическими дисциплинами. Главные новые направления и объекты коллоидной химии	<b>1</b>	<b>2</b>
СР 2	<b>Термодинамика и строение поверхностного слоя.</b> Общие термодинамические параметры поверхностного слоя. Адсорбция и поверхностное натяжение. Образование и строение двойного электрического слоя. Адгезия, смачивание и растекание жидкостей. Дисперсность и термодинамические свойства тел. Энергетика диспергирования и конденсации.	<b>2</b>	<b>18</b>
СР 3	<b>Адсорбционные процессы</b> Адсорбция газов и паров на однородной поверхности. Адсорбция паров и газов на пористых телах. Адсорбция из растворов; ионный обмен; хроматография. Адсорбция поверхностно-активных веществ и состояние поверхностных (адсорбционных) пленок. Хроматография. Методы измерения адсорбции.	<b>3</b>	<b>20</b>
СР 4	<b>Методы исследования дисперсных систем.</b> Особенности оптических свойств дисперсных систем и общие оптические методы анализа поверхностных слоев и дисперсности. Рассеяние света ультрамикрорегетерогенными системами и методы исследования, основанные на рассеянии света. Методы измерения удельной поверхности. Изучение пористой структуры сорбентов.	<b>4</b>	<b>10</b>
СР 5	Современные взгляды на строение и свойства гелей.	<b>5</b>	<b>2</b>
СР 6	Основные представления о нанохимии.	<b>6</b>	<b>2</b>
	Итого:		<b>54</b>

## ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### *Основная:*

1. Белопухов С.Л., Старых С.Э. Физическая и коллоидная химия. Основные термины и определения: Учебное пособие. М.: Проспект. 2016. - 256 с.  
<http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785392200870.html?SSr=010134171b106b0b2512518>
2. Волков В.А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы: Учебник. СПб.: Лань. 2015. - 672 с.  
<https://e.lanbook.com/book/65045>
3. Щукин Е.Д., Перцов Е.А., Амелина А.В. Коллоидная химия: Учебник для академического бакалавриата. Люберцы: Юрайт. 2016. - 444 с.

### *Дополнительная:*

1. М.И. Гельфман, О.В. Ковалевич, В.П. Юстратов Коллоидная химия. Лань. 2010. - 326 с.
2. Е.Д. Щукин, А.В. Перцов, Е.А. Амелина Коллоидная химия. М.: Высшая школа. 2007. – 444 с.
3. С.И. Печенюк, Ю.П. Семушина Практикум по коллоидной химии. Мурманск. МГТУ. 2010.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ САМОСТОЯТЕЛЬНЫХ РАБОТ

### **1. Тема: Введение.**

#### **Вопросы для самоконтроля знаний:**

1. Основные понятия коллоидной химии, объекты и цели изучения.
2. Различные типы классификации дисперсных систем.
3. Взаимосвязь коллоидной химии с другими химическими дисциплинами.
4. Главные новые направления и объекты коллоидной химии

#### **Рекомендованная литература: [1-6]**

### **2. Тема: Термодинамика и строение поверхностного слоя.**

#### **Вопросы для самоконтроля знаний:**

1. Общие термодинамические параметры поверхностного слоя.
2. Адсорбция и поверхностное натяжение.
3. Образование и строение двойного электрического слоя.
4. Адгезия, смачивание и растекание жидкостей.
5. Дисперсность и термодинамические свойства тел.
6. Энергетика диспергирования и конденсации.

#### **Рекомендованная литература: [1-6]**

### **3. Тема: Адсорбционные процессы**

#### **Вопросы для самоконтроля знаний:**

1. Адсорбция газов и паров на однородной поверхности.
2. Адсорбция паров и газов на пористых телах.
3. Адсорбция из растворов; ионный обмен; хроматография.
4. Адсорбция поверхностно-активных веществ и состояние поверхностных (адсорбционных) пленок.
5. Хроматография.
6. Методы измерения адсорбции.

#### **Рекомендованная литература: [1-6]**

### **4. Тема: Методы исследования дисперсных систем.**

#### **Вопросы для самоконтроля знаний:**

1. Особенности оптических свойств дисперсных систем и общие оптические методы анализа поверхностных слоев и дисперсности.
2. Рассеяние света ультрамикрорегетерогенными системами и методы исследования, основанные на рассеянии света.
3. Методы измерения удельной поверхности.
4. Изучение пористой структуры сорбентов.

#### **Рекомендованная литература: [1-6]**

### **5. Тема: Современные взгляды на строение и свойства гелей.**

#### **Вопросы для самоконтроля знаний:**

1. Золи и гели. Понятие о фракталах. Структура гелей.
2. Старение и синерезис гелей.
3. Сушка гелей.
4. Механика гелей.

#### **Рекомендованная литература: [1-6]**

### **6. Тема: Основные представления о нанохимии.**

#### **Вопросы для самоконтроля знаний:**

1. Нанохимия – наука о наномире.
2. Нанокластеры.
3. Нанотрубы.
4. Нанопроволоки.
5. Наномеханика
6. Технология манипулирования нанобъектами.

#### **Рекомендованная литература: [1-6]**

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

Программой дисциплины предполагается проведение двух контрольных работ. Каждая контрольная работа включает 6 вариантов по вышеуказанным темам. Каждый вариант включает 2-3 задачи, в зависимости от их сложности, и 1 теоретический вопрос, когда это целесообразно.

### Контрольная работа №1.

Вариант 1.

1. Определите энергию Гиббса поверхности 7 г тумана воды, если поверхностное натяжение каплей составляет  $71.96 \text{ мДж/м}^2$ , а дисперсность частиц -  $55 \text{ мкм}^{-1}$ . Плотность воды принять равной  $0.997 \text{ г/см}^3$ .
2. Рассчитайте работу адгезии в системе вода – фторопласт, зная, что краевой угол равен  $140^\circ$ , а поверхностное натяжение воды -  $71.96 \text{ мДж/м}^2$ . Растекается ли вода по фторопласту?
3. Рассчитайте равновесное давление паров воды, находящейся в капилляре радиусом 0.8 мм при 293 К, предполагая, что угол смачивания равен 0. Выразите результат в % от давления насыщенного пара воды. При 293 К плотность воды  $0.998 \text{ г/см}^3$ , поверхностное натяжение  $72.75$ .
4. Как называется зависимость величины адсорбции от температуры при постоянной равновесной концентрации?

Вариант 2.

1. Аэрозоль ртути сконденсировался в виде большой капли объемом  $5 \text{ см}^3$ . Определите, на сколько уменьшилась поверхностная энергия ртути, если дисперсность аэрозоля составляла  $8 \text{ мкм}^{-1}$ . Поверхностное натяжение ртути примите равным  $0.475 \text{ Дж/м}^2$ .
2. Рассчитайте работу адгезии в системе вода – графит, зная, что краевой угол равен  $90^\circ$ , а поверхностное натяжение воды -  $71.96 \text{ мДж/м}^2$ . Определите коэффициент растекания воды по графиту.
3. Рассчитайте полную поверхностную энергию 10 г эмульсии бензола в воде с концентрацией 55 масс.% и дисперсностью  $3 \text{ мкм}^{-1}$  при 313 К. плотность бензола  $0.858 \text{ г/см}^3$ , межфазное поверхностное натяжение  $26.13 \text{ мДж/м}^2$ , температурный коэффициент  $-0.13 \text{ мДж/м}^2 \text{ К}$ .
4. Оцените реалистичность, универсальность, исчерпывающий характер и прогностические возможности первоначальной модели ДЭС.

Вариант 3.

1. Найдите поверхностное натяжение воды, определяемое методом капиллярного поднятия если при 298 К вода поднялась в капилляре на высоту 35.3 мм. Диаметр капилляра определен путем измерения длины столбика и массы ртути, заполнившей капилляр под давлением: Длина столбика ртути – 8.04 см, масса 0.565 г. Плотность ртути  $13.54 \text{ г/см}^3$ , плотность воды –  $0.997 \text{ г/см}^3$ .
2. Капля бензола растекается по поверхности воды, а после взаимного насыщения двух жидкостей образует линзу. Объясните это явление. Рассчитайте начальные и конечные значения коэффициентов растекания бензола по воде, используя приведенные ни же значения поверхностных натяжений (в мН/м) для различных поверхностных раздела при 293 К:

Вода-воздух -	72.75
Бензол-воздух	28.87

Вода-бензол	35.00
Вода, насыщенная бензолом – воздух	62.2
Бензол, насыщенный водой – воздух	28.80

Оцените значение межфазного натяжения на границе раздела взаимонасыщенных растворов воды и бензола.

3. Для определения поверхностного натяжения воды взвешивают капли, отрывающиеся от капилляра и измеряют диаметр шейки капли в момент ее отрыва. Масса 450 капель равна 6 г, а диаметр шейки капли – 0.5 мм. Рассчитайте поверхностное натяжение жидкости.

4. Покажите схематически на рисунке, как из семейства изотерм получить изостеру сорбции вещества.

Вариант 4.

1. Найдите поверхностное натяжение жидкости, определяемое методом капиллярного поднятия, если при 298 К вода поднялась в капилляре на высоту 35.3 мм. Диаметр капилляра определен путем измерения длины столбика и массы ртути, заполнившей капилляр под давлением: длина столбика ртути – 8.04 см, масса 0.565 г. Плотность ртути 13.54 г/см<sup>3</sup>, плотность воды – 0.997 г/см<sup>3</sup>.

2. Рассчитайте полную поверхностную энергию 5 г эмульсии бензола в воде с концентрацией 55 масс.% и дисперсностью 3 мкм<sup>-1</sup> при 313 К. плотность бензола 0.858 г/см<sup>3</sup>, межфазное поверхностное натяжение 26.13 мДж/м<sup>2</sup>, температурный коэффициент -0.13 мДж/м<sup>2</sup> К.

3. Рассчитать внутреннее давление частиц эллипсоидальной формы, если большая ось эллипсоида равна 20 нм, малая – 10 нм, а поверхностное натяжение – 1 Дж/м<sup>2</sup>.

4. Схематически покажите на рисунке, как из семейства изотерм получить изобару сорбции.

Вариант 5.

1. Рассчитайте равновесное давление паров над каплями воды с дисперсностью 20 мкм<sup>-1</sup> при 333 К, если поверхностное натяжение воды при 293 К составляет 72.75 мДж/м<sup>2</sup>, а температурный коэффициент поверхностного натяжения –0.16 мДж/м<sup>2</sup> К. Давление насыщенных паров воды над плоской поверхностью при 333 К равно 20.58 Па, а плотность воды 0.983 г/см<sup>3</sup>.

2. Определите поверхностное натяжение бензола при 293, 313 и 343 К. Примите, что полная поверхностная энергия не зависит от температуры и для бензола равна 61.9 мДж/м<sup>2</sup>. Температурный коэффициент -0.13 мДж/м<sup>2</sup> К.

3. Рассчитать работу, необходимую для распыления 1 л воды на капли с радиусом 10 нм, и число образующихся капель.

4. Кратко опишите 3-хслойную модель сорбции.

Вариант 6.

1. Рассчитайте равновесное давление паров воды, находящейся в капилляре радиусом 1 мм при 293 К, предполагая, что угол смачивания равен 0. Выразите результат в % от давления насыщенного пара воды. При 293 К плотность воды 0.998 г/см<sup>3</sup>, поверхностное натяжение 71.96 мДж/м<sup>2</sup>.

2. Экспериментально получено значение коэффициента растекания гептанола по воде, равное 37 мН/м. Рассчитайте межфазное натяжение на границе вода-гептанол, принимая значения поверхностных натяжений воды и гептанола соответственно 71.96 и 26.1 мДж/м<sup>2</sup>.

3. Рассчитайте внутреннее давление в сферических каплях воды радиусом 20 нм.

4. Поясните различия между ад- и абсорбцией.

## Контрольная работа № 2.

### Часть 1

Вариант 1.

1. По ур. Ленгмюра определите предельную емкость силикагеля по парам воды, на основании данных об адсорбции им паров воды при комнатной температуре:

$P \times 10^{-2}$ , Па    3.04    4.68    7.72    11.69    14.03    17.77

**A, моль/кг            4.44    6.28            9.22            11.67            13.22**

### 14.89

2. Удельная поверхность непористой сажи равна 73.7 кв.м/г. Рассчитайте площадь, занимаемую молекулой бензола в плотном монослое, исходя из данных об адсорбции бензола на этом адсорбенте при 293 К:

$P$ , Па	1.03	1.29	1.74	2.5	6.67
$A \times 10^2$ , моль/кг	1.57	1.94	2.55	3.51	7.58

Изотерма адсорбции описывается ур.Ленгмюра.

3. Используя уравнение БЭТ, рассчитайте удельную поверхность адсорбента по данным об адсорбции азота:

$p/p_s$	0.1	0.2	0.3	0.4
$A \times 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	0.31	0.71	0.93	1.0

Площадь, занимаемая молекулой азота в плотном монослое, равна 0.16 нм<sup>2</sup>, плотность азота 1.25 кг/м<sup>3</sup>

Вариант 2.

1. Определите константы эмпирического уравнения Фрейндлиха, используя следующие данные об адсорбции CO<sub>2</sub> на активном угле при 293 К:

$P \times 10^{-3}$ , Па	1.00	4.48	10.0	14.4	25.0	45.2
$A \times 10^2$ , кг/кг	3.23	6.67	9.62	11.72	14.5	17.7

2. Найдите площадь, приходящуюся на одну молекулу в насыщенном адсорбционном слое анилина на поверхности его водного раствора с воздухом, если предельная адсорбция анилина составляет  $6 \times 10^{-6}$  моль/м<sup>2</sup>.

3. При исследовании адсорбции уксусной кислоты на древесном угле из водных растворов объемом 200 мл получены результаты:

Масса угля, г:	3.96	3.94	4.00	4.12	4.04	4.00
Концентрация, Ммоль/л						
Исходная	503	252	126	62.8	31.4	15.7
Равновесная	434	202	89.9	34.7	11.3	3.33

Покажите, что эти данные удовлетворяют изотерме адсорбции Фрейндлиха. Рассчитайте константы этого уравнения.

Вариант 3.

1. Величина адсорбции красителя (ПАВ) из раствора может быть использована для оценки удельной поверхности порошков. При введении 1 г активного угля в 100 мл водного раствора метиленового голубого концентрация красителя изменяется от начальной  $10^{-4}$  моль/л до конечной равновесной  $6 \times 10^{-5}$  моль/л, а при добавлении 2 г угля к такому же исходному раствору – до  $4 \times 10^{-5}$  моль/л. Считая, что адсорбция описывается ур.Ленгмюра и принимая посадочную площадку красителя равной - 0.65 нм<sup>2</sup>, рассчитайте  $S_{уд}$  угля.

2. Рассчитайте и постройте характеристические кривые для бензола и хлороформа, а также изотерму адсорбции хлороформа при 293 К по данным адсорбции бензола на микропористом активном угле:

$p$ , Па	0.13	0.51	1.3	3.33	16.7	37.3	95.6	319.8
$A$ , моль/кг	1.13	1.69	2.25	2.82	3.94	4.5	5.25	5.77

Коэффициент аффинности для хлороформа равен 0.87 (стандартное вещество – бензол). Давление насыщенного пара бензола и хлороформа, соответственно, 10470 и 23990 Па, а плотности – 0.879 и 1.48 г/см<sup>3</sup>.

3. Используя ур.БЭТ, рассчитайте удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции азота:

$p/p_s$	0.0288	0.05	0.11	0.136	0.175	0.2
---------	--------	------	------	-------	-------	-----



А, моль/кг                    2.16        2.39        2.86        3.02        3.22        3.33  
 Площадь, занимаемая молекулой азота в плотном монослое, равна  $0.16 \text{ нм}^2$ .

Вариант 4.

1. Удельная поверхность непористой сажи равна  $73.7 \text{ кв.м/г}$ . Рассчитайте площадь, занимаемую молекулой бензола в плотном монослое, исходя из данных об адсорбции бензола на этом адсорбенте при  $293 \text{ К}$ :

Р, Па	1.03	1.29	1.74	2.5	6.67
$A \times 10^2$ , моль/кг	1.57	1.94	2.55	3.51	7.58

Изотерма адсорбции описывается ур.Ленгмюра.

2. Определите константы эмпирического уравнения Фрейндлиха, используя следующие данные об адсорбции  $\text{CO}_2$  на активном угле при  $293 \text{ К}$ :

$P \times 10^{-3}$ , Па	1.00	4.48	10.0	14.4	25.0	45.2
$A \times 10^2$ , кг/кг	3.23	6.67	9.62	11.72	14.5	17.7

3. Удельная поверхность силикагеля, найденная методом низкотемпературной адсорбции азота, составляет  $4.1 \times 10^5 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Плотность силикагеля  $2.2 \text{ г/см}^3$ . Рассчитайте средний диаметр частиц силикагеля, принимая их за сферические.

Вариант 5.

1. Удельная поверхность непористой сажи равна  $73.7 \text{ кв.м/г}$ . Рассчитайте площадь, занимаемую молекулой бензола в плотном монослое, исходя из данных об адсорбции бензола на этом адсорбенте при  $293 \text{ К}$ :

Р, Па	1.03	1.29	1.74	2.5	6.67
$A \times 10^2$ , моль/кг	1.57	1.94	2.55	3.51	7.58

Изотерма адсорбции описывается ур.Ленгмюра.

2. Определите константы эмпирического уравнения Фрейндлиха, используя следующие данные об адсорбции  $\text{CO}_2$  на активном угле при  $293 \text{ К}$ :

$P \times 10^{-3}$ , Па	1.00	4.48	10.0	14.4	25.0	45.2
$A \times 10^2$ , кг/кг	3.23	6.67	9.62	11.72	14.5	17.7

3. Удельная поверхность силикагеля, найденная методом низкотемпературной адсорбции азота, составляет  $4.1 \times 10^5 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Плотность силикагеля  $2.2 \text{ г/см}^3$ . Рассчитайте средний диаметр частиц силикагеля, принимая их за сферические.

Вариант 6.

1. Используя уравнение БЭТ, рассчитайте удельную поверхность адсорбента по изотерме адсорбции бензола (площадь, занимаемая молекулой бензола –  $0.49 \text{ нм}^2$ ):

$p/p_s$ :	0.04	0.08	0.16	0.22	0.27	0.36	0.48
А, моль/кг:	0.348	0.483	0.624	0.724	0.805	0.928	1.13

2. Постройте по приведенным в задаче 1 данным и нижеследующим данным по десорбции при тех же  $p/p_s$  изотермы адсорбции и десорбции и рассчитайте диаметр пор, соответствующих началу и концу петли гистерезиса.

$A_{\text{дес}}$ , моль/кг:	0.348	0.483	0.65	0.78	0.885	0.93	1.13
-----------------------------	-------	-------	------	------	-------	------	------

3. При обработке данных по адсорбции азота на графитированной саже при  $77 \text{ К}$  с помощью графика, соответствующего линейной форме уравнения БЭТ, найдено, что тангенс угла наклона прямой составляет  $1.5 \times 10^3$ , а отрезок, отсекаемый на оси ординат, равен 5 единицам (размерность адсорбции здесь  $\text{м}^3/\text{кг}$  при н.у.). Рассчитать удельную поверхность адсорбента, если 1 молекула азота занимает на его поверхности  $0.16 \text{ нм}^2$ .

## Часть 2

Вариант 1.

1. В 200 мл 0.12 н раствора NaOH ввели 5 г воздушно-сухого сильнокислотного катионита в Н-форме. После установления равновесия отфильтровали 100 мл раствора, для нейтрализации которого потребовалось 20 мл 0.12 н раствора HCl. Рассчитайте ПОЕ катионита.

2. Рассчитайте константы ур. Шишковского, если поверхностное давление н-валериановой кислоты при 292 К в зависимости от площади поверхности, приходящейся на 1 моль этого вещества, составляет:

$p \times 10^3, \text{ Н/м}$	3.5	5.3	7.8	11.0	14.9	19.2	23.6	28.5	33.6
$s_M \times 10^{-5}, \text{ м}^2/\text{моль}$	6.92	4.66	3.49	2.77	2.44	2.27	2.11	2.03	1.89

3. Постройте петлю гистерезиса и интегральную кривую распределения пор по размерам, используя экспериментальные данные капиллярной конденсации метанола на силикагеле при 293 К:

0.01 р	16	32	64	79	96	110	128
A, моль/кг							
Адсорбция	2.5	3.5	4.8	6.3	13	19	22.5
Десорбция	2.5	3.5	4.8	6.5	17.5	21.2	22.5

При 293 К мольный объем метанола  $40.6 \text{ см}^3/\text{моль}$ , поверхностное натяжение  $22.6 \text{ мДж/м}^2$ , давление насыщенного пара  $12800 \text{ Па}$ .

4. Опишите процесс образования «частокола Ленгмюра

Вариант 2.

1. Полная обменная емкость сухого сульфокатионита КУ-2-8 в Na-форме равна  $4.8 \text{ г-экв/кг}$ . Определите предельно возможное количество (в г) кобальта(II) и бария(II), которое может сорбировать из соответствующих растворов 1 кг исходного ионита.

2. Рассчитайте по ур. Ленгмюра адсорбцию пропионовой кислоты из раствора с концентрацией  $0.5 \text{ моль/л}$  на поверхности раздела раствор-воздух при  $298 \text{ К}$ , если поверхностное натяжение этого раствора  $55.6 \text{ мДж/м}^2$ , поверхностное натяжение воды –  $71.96$ , а константа ур. Ленгмюра  $K=7.73 \text{ л/моль}$ .

3. Рассчитайте и постройте характеристические кривые для бензола и хлороформа, а также изотерму адсорбции хлороформа при  $293 \text{ К}$  по данным адсорбции бензола на микропористом активном угле при  $293 \text{ К}$ :

P, Па	0.13	0.51	1.3	3.33	16.7	37.3	95.6	319.8
A, моль/кг	1.13	1.69	2.25	2.82	3.94	4.5	5.25	5.77

Коэффициент аффинности для хлороформа равен  $0.87$  (стандартное вещество-бензол). Давление насыщенного пара бензола и хлороформа при этой температуре равно, соответственно,  $10.47 \times 10^3$  и  $23.99 \times 10^3 \text{ Па}$ , плотности жидких бензола и хлороформа  $0.88$  и  $1.48 \text{ г/см}^3$ .

4. Опишите процесс пикнометрического определения плотности

Вариант 3

1. Полная обменная емкость сухого сульфокатионита КУ-2-8 в Na-форме равна  $4.8 \text{ г-экв/кг}$ . Определите предельно возможное количество (в г) кобальта(II) и бария(II), которое может сорбировать из соответствующих растворов 1 кг исходного ионита.

2. Рассчитайте по ур. Ленгмюра адсорбцию пропионовой кислоты из раствора с концентрацией  $0.5 \text{ моль/л}$  на поверхности раздела раствор-воздух при  $298 \text{ К}$ , если поверхностное натяжение этого раствора  $55.6 \text{ мДж/м}^2$ , поверхностное натяжение воды –  $71.96$ , а константа ур. Ленгмюра  $K=7.73 \text{ л/моль}$ .

3. В качестве пикнометрических жидкостей были взяты вода, хлороформ и ртуть. Вода смачивает вещество и проникает в микропоры, ртуть не проникает в поры, а хлороформ не смачивает вещество и проникает отчасти в мезо- и макропоры. Плотность вещества по воде

составляет  $3.5 \text{ г/см}^3$ , по хлороформу –  $2.7 \text{ г/см}^3$ , по ртути –  $1.8 \text{ г/см}^3$ . Плотность хлороформа  $1.48 \text{ г/см}^3$  при  $25^\circ\text{C}$ . Рассчитать величину  $V_\Sigma$  и рассчитать минимальный радиус пор, в которые может проникать хлороформ.

4. Как получают глобулярные и губчатые пористые тела?

Вариант 4.

1. Рассчитайте количество сульфокатионита в Н-форме и анионита в ОН-форме, необходимое для очистки  $1000 \text{ м}^3$  природной воды, содержащей  $0.025 \text{ г/л CuSO}_4$ ,  $0.04 \text{ г/л MgSO}_4$ ,  $0.12 \text{ г/л Ca(HCO}_3)_2$ . ПОЕ катионита 4.2, ПОЕ анионита - 3.5 экв/кг.

2. Зная поверхностное давление н-гексилового спирта при  $285 \text{ К}$  в зависимости от концентрации его в водном растворе:

$C \times 10^4$ , моль/л	6.2	8.1	12.5	17.2	25	34.3	49	68.6	98
$\pi \times 10^3$ , Н/м	2.3	2.5	3.9	5.7	7.9	9.4	13.4	16.3	19

рассчитайте величину адсорбции, площадь, приходящуюся на 1 моль и площадь, занимаемую одной молекулой спирта в плотном мономолекулярном слое, используя ур. Гиббса.

3. Постройте изотерму адсорбции и определите общую пористость сажи по уравнению Дубинина-Радушкевича, используя экспериментальные данные адсорбции бензола на саже:

$p/p_s$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
$A$ , моль/кг	1.75	2.15	2.42	2.66	2.76

4. Опишите процесс капиллярной конденсации в конических порах

Вариант 5.

1. В  $200 \text{ мл}$   $0.12 \text{ н}$  раствора  $\text{NaOH}$  ввели  $5 \text{ г}$  воздушно-сухого сильнокислотного катионита в Н-форме. После установления равновесия отфильтровали  $100 \text{ мл}$  раствора, для нейтрализации которого потребовалось  $20 \text{ мл}$   $0.12 \text{ н}$  раствора  $\text{HCl}$ . Рассчитайте ПОЕ катионита.

2. Найдите площадь, приходящуюся на одну молекулу в насыщенном адсорбционном слое анилина на поверхности его водного раствора на границе с воздухом, если предельная сорбция анилина составляет  $6 \times 10^{-6} \text{ моль/м}^2$ .

3. Рассчитайте и постройте характеристические кривые для бензола и гексана, а также изотерму адсорбции гексана при  $323 \text{ К}$  по данным адсорбции бензола на активном угле при  $323 \text{ К}$ :

$p$ , Па	0.042	0.3	1.87	14.7	49.5	102.9	272.5	721.4
$A$ , моль/кг:	0.41	0.68	1.36	2.38	3.26	3.80	4.61	5.09

Коэффициент аффинности для гексана равен 1.46 (стандартное вещество-бензол). Давление насыщенного пара бензола и гексана при этой температуре равно, соответственно,  $35.48 \times 10^3$  и  $70.75 \times 10^3 \text{ Па}$ , плотности жидких бензола и гексана  $0.846$  и  $0.63 \text{ г/см}^3$ .

4. Опишите процесс вытеснительной хроматографии

Вариант 6.

1. Обменная емкость анионита АВ-17-8 в Cl-форме равна  $4.2 \text{ г-экв/кг}$ . Рассчитайте предельно возможное количество (в г)  $\text{Co(II)}$  и  $\text{Au(III)}$ , которое может сорбировать  $1 \text{ кг}$  исходного ионита из растворов соляной кислоты, если указанные элементы находятся в виде комплексных анионов  $[\text{CoCl}_4]^{2-}$  и  $[\text{AuCl}_4]^-$ .

2. При исследовании адсорбции стеариновой кислоты из ее растворов в н-гексане различных концентраций  $C$  на порошке стали получены результаты:

$C \times 10^5$ , моль/л	1	2	4	7	10	15	20	25
$A \times 10^3$ , кг/кг	0.786	0.864	1.0	1.17	1.3	1.47	1.6	1.7

Рассчитать удельную поверхность порошка стали, принимая, что 1 молекула стеариновой кислоты занимает на поверхности  $0.20 \text{ нм}^2$ .

3. По уравнению Дубинина-Радушкевича рассчитайте объем пор цеолита, используя данные по адсорбции этана при 298 К:

$p \times 10^{-3}$	10	15	20	30
$A, \text{ моль/кг}$	2.37	2.53	2.63	2.77

Давление насыщенного пара этана  $37 \times 10^5$  Па, мольный объем жидкого этана  $64 \text{ см}^3/\text{моль}$ .

4. Описать процесс элютивной хроматографии

---

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

Итоговый уровень знаний студентов, приобретенный студентами при изучении дисциплины «Коллоидная химия», проверяется на экзамене.

Для проверки теоретической подготовки студентов по дисциплине на экзамен выносятся следующие вопросы:

### Билет 1

1. Основные понятия, объекты и определения коллоидной химии. Дисперсность, удельная поверхность, обобщенное уравнение 1 и 2 закона термодинамики. Классификация дисперсных систем. История и роль коллоидной химии.
2. Методы определения удельной поверхности твердых тел

### Билет 2

1. Общие термодинамические параметры поверхностного слоя: геометрические, энергетические, поверхностное натяжение, уравнения Гиббса.
2. Изучение пористой структуры твердых тел

### Билет 3

1. Адсорбция и поверхностное натяжение: основные определения теории адсорбции, способы ее выражения основные адсорбционные зависимости, поверхностная активность, энергетические параметры сорбции.
2. Современные взгляды на строение и свойства гелей.

### Билет 4

1. Образование и строение ДЭС. Электрокапиллярная кривая. Точка нулевого заряда и методы ее определения. Сорбция ионов в ДЭС, современные модели. Сорбционный комплекс.
2. Ртутная порометрия.

### Билет 5

1. Адгезия, смачивание и растекание жидкостей. Адгезия и когезия. Уравнения Дюпре, Юнга и Дюпре-Юнга. Натекание, оттекание и растекание. Эффект Марангони. Правило Антонова.
2. Изучение пористой структуры твердых тел методом капиллярной конденсации.

### Билет 6

1. Дисперсность и термодинамические свойства тел. Внутреннее давление. Капиллярные явления. Уравнения Лапласа и Жюрена. Влияние дисперсности на реакционную способность.
2. Изучение пористой структуры методом капиллярной конденсации.

### Билет 7

1. Диспергирование и конденсация.
2. Элютивная, фронтальная и вытеснительная хроматография.

### Билет 8

1. Адсорбция паров и газов на однородной поверхности. Моно- и полимолекулярная адсорбция. Закон Генри, теории Ленгмюра и БЭТ. Энергетика и кинетика адсорбции. Хемосорбция. Критерии определения природы сорбции.
2. Иониты: классификация, характеристики, равновесие и кинетика ионного обмена, динамический и статический режим ионного обмена.

### **Билет 9**

1. Пористые тела и их характеристики. Пикнометрия. Способы получения и морфология пористых тел.
2. Основные понятия, объекты и определения коллоидной химии. Дисперсность, удельная поверхность, обобщенное уравнение 1 и 2 закона термодинамики. Классификация дисперсных систем..

### **Билет 10**

1. Капиллярная конденсация: виды пор и типы изотерм. Распределение пор по размерам. Теория объемного заполнения микропор.
2. Оптические свойства и методы исследования дисперсных систем

### **Билет 11**

1. Адсорбция из растворов и ионный обмен. Иониты: получение, характеристики, классификация, равновесие ионного обмена.
2. Образование и строение ДЭС. Электрокапиллярная кривая. Точка нулевого заряда и методы ее определения. Сорбция ионов в ДЭС, современные модели. Сорбционный комплекс.

### **Билет 12**

1. Хроматографические методы разделения смесей.
2. Адгезия, смачивание и растекание жидкостей. Адгезия и когезия. Уравнения Дюпре, Юнга и Дюпре-Юнга. Натекание, отекание и растекание. Эффект Марангони. Правило Антонова

### **Билет 13**

1. Адсорбция поверхностно-активных веществ.
2. Современные взгляды на строение и свойства гелей.

### **Билет 14**

1. Экспериментальные методы определения равновесной сорбции.
2. Общие термодинамические параметры поверхностного слоя: геометрические, энергетические, поверхностное натяжение, уравнения Гиббса.

### **Билет 15**

1. Оптические свойства и методы исследования дисперсных систем.
2. Капиллярные явления и капиллярная конденсация.

## **Контрольные вопросы к госэкзамену**

1. Основные понятия, объекты и определения коллоидной химии. Дисперсность, удельная поверхность, обобщенное уравнение 1 и 2 закона термодинамики. Классификация дисперсных систем.
2. Адсорбция и поверхностное натяжение: основные определения теории адсорбции, способы ее выражения основные адсорбционные зависимости, поверхностная активность, энергетические параметры сорбции.
3. Адгезия, смачивание и растекание жидкостей. Адгезия и когезия. Уравнения Дюпре, Юнга и Дюпре-Юнга. Натекание, отекание и растекание.
4. Адсорбция паров и газов на однородной поверхности. Моно- и полимолекулярная адсорбция. Закон Генри, теории Ленгмюра и БЭТ. Энергетика и кинетика адсорбции. Хемосорбция. Критерии определения природы сорбции.
5. Пористые тела и их характеристики. Пикнометрия. Способы получения и морфология пористых тел.
6. Капиллярная конденсация: виды пор и типы изотерм. Распределение пор по размерам. Теория объемного заполнения микропор.
7. Экспериментальные методы определения равновесной сорбции.
8. Адсорбция поверхностно-активных веществ.

9. Современные взгляды на строение и свойства гелей.
10. Оптические свойства и методы исследования дисперсных систем
11. Способы изучения пористой структуры твердых тел
12. Взаимосвязь между капиллярными явлениями и капиллярной конденсацией при сорбции газов на пористых телах
13. Сопоставление физической адсорбции газов и ионного обмена
14. Получение изотерм адсорбции и их использование
15. Сопоставление адсорбции на однородной поверхности и на пористых телах