

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)

Институт биологии и экологии

УТВЕРЖДАЮ  
Директор института БиЭ  
И.Н. Смирнова  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

Направление подготовки	04.03.01 «Химия»
Профиль/программа подготовки	«ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ, ХИМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКСПЕРТИЗА ОБЪЕКТОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ»

## 1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины поверхностные явления и дисперсные системы является: углубление знаний в области специфических свойств дисперсных систем, которые входят, как составная часть во многие технологические процессы и широко используются при получении различных материалов, основные свойства которых зависят от дисперсности, природы поверхности и связаны с закономерностями структурообразования.

Задачи: изучение явлений присущих дисперсным системам, исследование физико-химических свойств и закономерностей и их изменений в коллоидных растворах.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

Дисциплина поверхностные явления и дисперсные системы изучается в обязательной части учебного плана.

Пререквизиты дисциплины: неорганическая химия, органическая химия, физика, математика, физическая химия.

## 3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

Код формируемых компетенций	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции)		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-6 Способен производить лабораторные исследования, анализы отобранных проб и образцов для оценки экологического состояния объектов.	<p>ПК-6.1. Знает основы физико-химических методов исследования объектов окружающей среды;</p> <p>ПК-6.2. Умеет производить лабораторные исследования, замеры, анализы отобранных природных образцов; рассчитывать предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ техногенного характера; работать на аналитическом лабораторном оборудовании;</p> <p>ПК-6.3. Владеет методами проведения экологического мониторинга.</p>	<p><i>Знает:</i> правила приемки, методы отбора и подготовки проб и химических образцов к анализу, для оценки экологического состояния объектов;</p> <p><i>Умеет:</i> проводить лабораторные исследования, анализы отобранных проб и образцов</p> <p><i>Владеет:</i> базовыми навыками использования современной аппаратуры при проведении научных исследований; методами безопасного обращения с химическими материалами с учетом их физических и химических свойств.</p>	Тесты, вопросы

#### 4. ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 часов

##### Тематический план Форма обучения - очная

№ п/п	Наименование тем разделов дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Контактная работа обучающихся с педагогическим работником				Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	В форме практической подготовки		
1.	Введение. Содержание и задачи курса.	7	1	2		-		1	
2.	Молекулярно-кинетические и оптические свойства дисперсных систем.	7	2- 4	10		6	2	1	
3.	Термодинамика поверхностных явлений.	7	5- 6	6		8	2	1	Рейтинг контроль №1
4.	Адсорбция на поверхности раздела фаз. Капиллярные явления.	7	7- 10	10		10	4	2	
5.	Электрокинетические явления в дисперсных системах.	7	11-13	10		10	4	2	Рейтинг контроль №2
6.	Устойчивость дисперсных систем.	7	14-15	8		10	4	1	
7.	Основы физико-химической механики дисперсных систем.	7	16-18	8		10	4	1	Рейтинг контроль №3
Всего за 7 семестр				54		54		9	Экзамен (27 час.)
Наличие в дисциплине КП/КР									
Итого по дисциплине				54		54		9	Экзамен (27 час.)

#### Содержание лекционных занятий по дисциплине

##### Раздел 1. Введение. Содержание и задачи курса.

*Тема 1 Понятие о поверхностных явлениях и дисперсных системах.*

Содержание темы. Дисперсные системы как особый класс гетерогенных систем. Возрастание роли естественных границ раздела по мере увеличения степени раздробленности одной или нескольких фаз гетерогенной системы. Меры раздробленности дисперсной фазы.

Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию фаз, по форме и размерам частиц дисперсной фазы, их концентрации и по другим признакам.

Сходство и различие корпускулярных высокодисперсных систем с растворами высокомолекулярных веществ. Способы получения дисперсных систем.

Раздел 2. Молекулярно-кинетические и оптические свойства дисперсных систем.

Тема 1. Тепловое движение молекул и броуновское движение.

Содержание темы. Понятие о броуновском движении частиц дисперсной фазы и кинетических свойствах дисперсных систем. Определение корпускулярных высокодисперсных систем как растворов, где "растворителем" служит дисперсионная среда, а в качестве "растворенного вещества" выступает дисперсная фаза. Способы выражения концентрации частиц дисперсной фазы.

Диффузия частиц дисперсной фазы. Понятие о градиенте концентрации, диффузионном потоке, поверхностной плотности диффузионного потока частиц. Законы диффузии Фика. Термодинамическое описание диффузии. Уравнение для коэффициента диффузионной проводимости среды. Обоснование законов Фика. Уравнение для коэффициента диффузии частиц в вязкой среде.

Теория броуновского движения частиц дисперсной фазы. Уравнение для средней квадратичной проекции смещения частиц.

Тема 2. Седиментационно – диффузное равновесие.

Содержание темы. Седиментация частиц дисперсной фазы в поле земного притяжения и в центробежном поле. Законы движения отдельной частицы в вязкой среде под действием внешнего силового поля. Понятие о седиментационном потоке и поверхностной плотности седиментационного потока частиц.

Седиментационно-диффузионное равновесие в корпускулярно - дисперсных системах. Понятие о кинетической устойчивости этих систем. Законы распределения концентрации частиц дисперсной фазы в пространстве при седиментационно-диффузионном равновесии в гравитационном поле Земли и центробежном поле. Определение массы и размеров частиц с помощью этих законов.

Седиментационный анализ корпускулярно-дисперсных систем. Расчет радиуса частицы по закону её движения в вязкой среде в поле земного притяжения и центробежном поле. Методы определения скорости движения частиц в случае монодисперсной системы, в том числе метод накопления осадка. Определение радиусов частиц полидисперсной системы и построение кривой распределения частиц по радиусам с помощью метода накопления осадка.

Тема 3. Оптические свойства золь и методы их исследования.

Содержание темы. Рассеяние света (излучения) корпускулярно-дисперсными системами, его причины. Ультрамикроскопический метод изучения высокодисперсных систем.

Количественные характеристики явления рассеяния излучения дисперсными системами: поток, поверхностная плотность потока (интенсивность) рассеянного излучения, коэффициент рассеяния среды и др. Закономерности светорассеяния системами с непоглощающими частицами дисперсной фазы. Случай очень мелких частиц сферической формы. Уравнения Рэлея для интенсивности и потока рассеянного излучения и коэффициента рассеяния. Системы с более крупными частицами. Особенности светорассеяния системами с поглощающими частицами дисперсной фазы.

Нефелометрический и фотометрический методы исследования корпускулярно-дисперсных систем. Определение концентрации, размера и формы частиц с помощью этих методов.

### Раздел 3. Термодинамика поверхностных явлений.

#### Тема 1. Термодинамические функции поверхностного слоя.

Содержание темы. Термодинамическое описание гетерогенных систем с учетом естественных границ раздела по методу Гиббса. Понятие о разделяющей поверхности, её макроскопических свойствах. Поверхностное натяжение и площадь разделяющей поверхности как сопряженные свойства, ответственные за механическое взаимодействие с окружающей средой. Фундаментальные уравнения Гиббса для разделяющей поверхности и прилегающих к ней фаз. Свободная энергия разделяющей поверхности (избыточная свободная энергия или поверхностная свободная энергия), уравнение для полного её дифференциала.

Условия фазового равновесия при наличии искривленной и плоской границы раздела. Понятие об адсорбции. Количественная мера адсорбции. Количественная мера адсорбции компонентов в методе Гиббса. Адсорбционное уравнение Гиббса для общего и частного положения разделяющей поверхности. Анализ уравнения с учетом природы сосуществующих фаз. Поверхностно-активные, поверхностно-инактивные и поверхностно-индифферентные вещества.

#### Тема 2. Поверхностная энергия. Явление смачивания

Содержание темы. Учение о поверхностном натяжении и методы его определения. Возникновение поверхностного натяжения, как следствие существования внутреннего давления, т.е. силы втягивающей молекулы внутрь жидкости и направленной перпендикулярно поверхности. Удельная свободная энергия поверхности. Влияние внутреннего давления и температуры на поверхностное натяжение жидкости.

Растекание жидкости или собирание её в каплю на поверхности твердых и жидких тел. Смачивание и несмачивание твердого тела жидкостью. Мера смачивания, определяемая как угол между твердой поверхностью и касательной в точке соприкосновения трех фаз. Работа когезии (величина необходимая для разрыва однородной объемной фазы) и работа адгезии (величина необходимая для разрыва межфазного поверхностного слоя).

Термодинамический вывод условия самопроизвольного растекания жидкости или собирания её в каплю. Влияние добавок поверхностно-активных веществ к жидкой фазе и предварительной обработки поверхности твердого тела на смачиваемость. Применение явления смачивания или не смачивания в технике. Флотация, как процесс избирательного смачивания. Основные виды флотации (пенная, масляная и пленочная).

### Раздел 4. Адсорбция на поверхности раздела фаз. Капиллярные явления.

#### Тема 1. Адсорбция на границе жидкость – газ.

Содержание темы. Адсорбция на границе раздела жидкость - газ; её анализ с помощью адсорбционного уравнения Гиббса. Характер зависимости поверхностного натяжения от концентрации растворенного вещества в жидкой фазе для поверхностно-активных, поверхностно-инактивных и поверхностно-индифферентных веществ. Вид соответствующих изотерм адсорбции. Определение предельной величины поверхностной концентрации растворенного вещества. Строение поверхностного слоя. Расчет размеров молекул растворенного вещества по величине его предельной поверхностной концентрации.

Тема 2. Теория адсорбции газов и паров твердыми телами.

Содержание темы. Адсорбция на границе раздела твердое тело - газ; ее особенности. Различные количественные меры адсорбции компонента газовой фазы, связь между ними, их экспериментальное определение. Изотермы адсорбции, их характер в зависимости от природы и числа компонентов газовой фазы и природы адсорбента. Динамика процесса адсорбции. Понятие о теплоте адсорбции, природе адсорбционных сил, физической и химической адсорбции. Теория мономолекулярной адсорбции Лэнгмюра, основное уравнение теории, недостаточность лэнгмюровской модели адсорбции, её дальнейшее развитие. Понятие о полимолекулярной адсорбции. Теория адсорбции Брунауэра, Эммета и Теллера, основное уравнение теории.

Тема 3. Адсорбция на границе твердое тело – жидкость.

Содержание темы. Адсорбция на границе раздела твердое тело - жидкость, её особенности. Молекулярная адсорбция. Влияние природы растворителя и адсорбента на адсорбцию растворенного вещества. Правило выравнивания полярностей Ребиндера. Количественные закономерности молекулярной адсорбции. Ионная адсорбция. Избирательная адсорбция ионов. Обменная адсорбция. Закономерности ионной адсорбции. Образование двойного электрического слоя на границе раздела твердого тела с жидкостью в результате избирательной адсорбции ионов и его строение.

Тема 4. Капиллярная конденсация.

Содержание темы. Влияние кривизны границы раздела на равновесные свойства сосуществующих фаз. Зависимость давления насыщенного пара над жидкостью или твердым телом от кривизны границы раздела. Капиллярная конденсация. Связь между растворимостью твердого или жидкого вещества в жидкости и кривизной соответствующей границе раздела.

Раздел 5. Электрокинетические явления в дисперсных системах.

Тема 1. Понятие об электрокинетических явлениях.

Содержание темы. Общие представления об электрокинетических явлениях. Электрофорез, электроосмос, потенциал течения, потенциал седиментации, способы их наблюдения. Практическое использование этих явлений. Причины образования заряда на коллоидных частицах лиозолей. Факторы, влияющие на подвижность частиц в электрическом поле. Эффект релаксации и эффект электрофоретического торможения. Понятие о мицеллах. Мицеллярная теория строения лиофобных золей. Образование мицелл золя с отрицательно и положительно заряженными частицами.

Тема 2. Теория двойного электрического слоя.

Содержание темы. Строение двойного электрического слоя. Теория Гельмгольца и её недостаточность для объяснения электрокинетических явлений. Теория Гуи – Чэпмена. Понятие об диффузном слое противоионов и его возникновении. Причины расхождения экспериментально и теоретически найденных значений емкости двойного электрического слоя исходя из предложенной модели. Теория Штерна. Схема двойного электрического слоя по Штерну и падение в нем электрического потенциала. Влияние валентности ионов на толщину диффузного слоя и число противоионов в адсорбционном слое. Строение двойного электрического слоя для сферических частиц.

Тема 3. Электрокинетический потенциал и его определение.

Содержание темы. Понятие о плоскости скольжения и электрокинетическом потенциале. Уравнение для скорости относительного движения фаз под действием постоянного

электрического поля. Расчет электрокинетического потенциала на основе опытных данных по электрофорезу или электроосмосу. Влияние природы и концентрации электролитов на электрокинетический потенциал и скорость относительного движения фаз Теория электрокинетических явлений. Электрокинетический потенциал, как характеристика электрических свойств рассматриваемой границы раздела. Влияние различных факторов (введение в систему электролитов, изменение pH, концентрации раствора, температуры) на электрокинетический потенциал.

Раздел 6. Устойчивость дисперсных систем.

Тема 1. Основные положения устойчивости и коагуляции коллоидных систем

Содержание темы. Общие представления об устойчивости дисперсных систем. Агрегативная и седиментационная устойчивость. Коагуляция и рекристаллизация частиц дисперсной фазы как проявление агрегативной неустойчивости дисперсных систем. Термодинамическое обоснование агрегативной неустойчивости.

Стабилизированные (заторможенные) состояния дисперсных систем. Стабилизация по отношению к коагуляции. Анализ явления коагуляции с позиций эффективных двойных столкновений частиц дисперсной фазы,

Кривые потенциальной энергии взаимодействия двух частиц. Понятие о потенциальном барьере, быстрой и медленной коагуляции. Факторы, определяющие величину потенциального барьера.

Коагуляция частиц дисперсной фазы в гидрозолях под действием электролитов. Правила коагуляции электролитами. Особые явления, наблюдаемые при коагуляции электролитами: привыкание, неправильные ряды, синергизм, антагонизм, коллоидная защита, сенсбилизация. Современные представления о механизме коагулирующего действия электролитов. Коагуляция под действием перемешивания, ультразвука, нагревания, замораживания и других факторов.

Тема 2. Кинетика коагуляции.

Содержание темы. Скорость коагуляции, её выражение через число эффективных двойных столкновений частиц дисперсной фазы. Исследование зависимости скорости коагуляции от концентрации электролита. Кинетика быстрой коагуляции монодисперсных систем по Смолуховскому и полидисперсных систем по Мюллеру. Основные кинетические уравнения, их анализ. Кинетика медленной коагуляции. Порог коагуляции.

Раздел 7. Основы физико-химической механики дисперсных систем.

Тема 1. Структурно – механические свойства дисперсных систем.

Содержание темы. Общие представления о структурированных системах. Дисперсионные системы со структурной сеткой, образованной элементами дисперсионной фазы (гели). Коагуляционные и конденсационно-кристаллизационные структуры по Ребиндеру. Концентрированные эмульсии и пены как обращенные структурированные системы, где структурная сетка образована дисперсной средой.

Упругопластические и реологические свойства структурированных систем, их связь с особенностями структур. Явление тиксотропии. Влияние добавок поверхностно-активных веществ на прочность структурированных систем.

Тема 2. Вязкость жидких дисперсных систем.

Содержание темы. Основные понятия о вязкости и механизме течения обычных низкомолекулярных жидкостей (вода, спирт, бензол и т.д.). Ламинарное и турбулентное

движение жидкости. Условия перехода ламинарного движения в турбулентное. Определение вязкости по Ньютону. Коэффициент вязкости и его зависимость от природы жидкости. Характеристика подвижности жидкости (текучесть) под влиянием внешних воздействий. Влияние температуры на величину вязкости. Методы определения вязкости жидкостей: метод падающего шарика, метод истечения жидкости через капилляр, определение с помощью ротационного вискозиметра. Зависимость эффективной вязкости коллоидных систем от скорости их течения. Структурная вязкость

Тема 3. Упругоупругие свойства коллоидных систем.

Содержание темы. Упругость и эластичность коагуляционных структур. Процесс релаксации и его причины. Переход упругой деформации в пластическую. Механические свойства твердообразных микрогетерогенных и коллоидных систем, обладающих истинной упругостью (гели, концентрированные растворы мыл, высокомолекулярные вещества и их концентрированные растворы). Связь особой внутренней структуры дисперсной системы с её способностью возвращаться к первоначальной форме после прекращения действия деформирующей силы. Определение механических свойств структурированных дисперсных систем, обнаруживающих упругость. Использование метода тангенциального смещения пластинки и метода закручивания цилиндра.

## СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ ЗАНЯТИЙ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Раздел 2. Молекулярно-кинетические и оптические свойства дисперсных систем.

Тема 1. Седиментационно – диффузное равновесие.

Содержание лабораторной работы. Исследование кинетики осаждения полидисперсной суспензии с помощью торсионных весов, построение интегральной и дифференциальной кривых распределения, определение дисперсионных характеристик суспензий.

Раздел 3. Термодинамика поверхностных явлений

Тема 1. Поверхностная энергия. Явление смачивания

Содержание лабораторной работы. Изучение смачивания полимерных материалов жидкостями и оценка для них работы адгезии. Измерение краевых углов смачивания при различных концентрациях растворов поверхностно активных веществ.

Раздел 4. Адсорбция на поверхности раздела фаз. Капиллярные явления.

Тема 1. Адсорбция на границе жидкость – газ.

Содержание лабораторной работы. Количественное изучение поверхностного натяжения и закономерностей адсорбции на границе раствор – воздух; сравнение поверхностной активности различных поверхностно-активных веществ, определение основных характеристик адсорбционного слоя.

Тема 2. Адсорбция на границе твердое тело – жидкость.

Содержание лабораторной работы. Изучение адсорбции поверхностно-активного вещества из водного раствора на твердом адсорбенте и расчет удельной поверхности адсорбента.

Раздел 5. Электрокинетические явления в дисперсных системах.

Тема 1. Понятие об электрокинетических явлениях.



## **Раздел 5. Электрокинетические явления в дисперсных системах.**

### *Тема 1. Понятие об электрокинетических явлениях.*

Содержание лабораторной работы. Изучение основных методов получения и стабилизации лиофобных дисперсных систем. Определение заряда частиц и составление формул мицелл; наблюдение явления опалесценции в золях.

### *Тема 2. Электрокинетический потенциал и его определение.*

Содержание лабораторной работы. Ознакомиться с электрическими свойствами дисперсных систем, измерить скорость движения частиц при электрофорезе; рассчитать электрокинетический потенциал.

## **Раздел 6. Устойчивость дисперсных систем.**

### *Тема 1. Основные положения устойчивости и коагуляции коллоидных систем*

Содержание лабораторной работы. Изучение коагуляции и стабилизации дисперсных систем; определение порогов коагуляции различными электролитами, определение защитного числа стабилизатора.

### *Тема 2. Кинетика коагуляции.*

Содержание лабораторной работы. Определение кинетических параметров коагуляции латекса электролитами турбидиметрическим методом.

## **Раздел 7. Основы физико-химической механики дисперсных систем.**

### *Тема 1. Структурно – механические свойства дисперсных систем.*

Содержание лабораторной работы. Изучение мицеллообразования в растворах поверхностно активных веществ и его влияния на свойства раствора. Используя уравнение Эйнштейна рассчитать значения параметра, характеризующего процесс структурирования системы.

### *Тема 2. Вязкость жидких дисперсных систем.*

Содержание лабораторной работы. Изучение структурно-механических свойств дисперсной системы методом вискозиметрии. Определить время истечения всех приготовленных растворов и растворителя, пользуясь капиллярным вискозиметром. Вычислить относительную и приведенную вязкость для каждого раствора.

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

Текущий контроль успеваемости:

Рейтинг-контроль 1

**ВОПРОС 1.2.1.** *Какое из положений, характеризующих молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем, не соответствует экспериментальным данным?*

ОТВЕТЫ:

1. Степень дисперсности — это величина, обратная линейному размеру частиц дисперсной фазы.
2. По степени дисперсности все системы классифицируются на грубодисперсные, микрогетерогенные, истинно—коллоидные, молекулярные и монодисперсные — истинные растворы.
3. К молекулярно—кинетическим свойствам дисперсных систем относятся броуновское движение, диффузия, осмос и седиментация.
4. Броуновское движение имеет молекулярно — кинетическую природу и является следствием теплового движения молекул.
5. Явление диффузии свойственно всем системам от молекулярных до грубодисперсных. Скорость процесса зависит от величины и формы частиц дисперсной фазы; процесс идет тем быстрее, чем выше температура и крупнее частицы.
6. Поскольку равномерное распределение вещества—фазы по всему объему раствора наиболее вероятно, процесс диффузии идет с увеличением энтропии и является самопроизвольным.
7. Под концентрацией дисперсной системы следует считать число кинетических единиц — коллоидных частиц в единице объема системы, т.е. численную концентрацию частиц дисперсной фазы.
8. Особенность осмотического давления коллоидных растворов по сравнению с истинными растворами — его малое значение и непостоянство.
9. Малое осмотическое давление любой коллоидной системы объясняется тем, что благодаря большой массе частиц дисперсной фазы при одинаковой весовой концентрации численная концентрация коллоидного раствора всегда значительно меньше, чем истинного.

**ВОПРОС 1.2.2.** *Проанализируйте утверждения, характеризующие броуновское движение. Какое из них ошибочно?*

ОТВЕТЫ:

1. Хаотическое движение частицы дисперсной фазы охватывает определенный объем пространства, возрастающий во времени. В горизонтальной плоскости он соответствует возрастающей площади, пропорциональной квадрату среднего сдвига.
2. Для сферической частицы радиуса  $r$  значение квадрата среднего сдвига прямо пропорционально абсолютной температуре и времени наблюдения и обратно пропорционально сопротивлению среды.
3. Броуновское движение свойственно любым частицам как органического, так и неорганического происхождения. Оно проявляется тем интенсивнее, чем больше температура и меньше вязкость среды.

4. Когда коллоидная частица поднимается в броуновском движении, потенциальная энергия системы возрастает, и теплота окружающей среды превращается в механическую работу в отсутствие начальной разности температур.

5. Броуновское движение — реальный опыт, показывающий, независимо от какой бы то ни было молекулярной теории, что вечный двигатель второго рода постоянно “действует”, хотя и не может быть практически использован.

**ВОПРОС 1.2.3.** *Рассчитайте отношение значений среднего сдвига частиц с радиусами  $r_1=2\cdot 10^{-9}$  м и  $r_2=8\cdot 10^{-7}$  м при их броуновском движении за равные отрезки времени.*

ОТВЕТЫ:

1.  $6,25\cdot 10^{-6}$
2.  $2,5\cdot 10^{-3}$
3.  $5,0\cdot 10^{-2}$
4.  $2,0\cdot 10$
5.  $4,0\cdot 10^2$

**ВОПРОС 1.2.4.** *Какое из указанных явлений не характерно для истинно—коллоидных систем?*

ОТВЕТЫ:

1. Коллоидные растворы способны рассеивать свет или опалесцировать, что указывает на их неоднородность.
2. Коллоидно — дисперсные системы способны к диализу, т.е. они могут быть очищены от различных примесей кристаллических веществ.
3. Частицы дисперсной фазы могут обладать электрическим зарядом, поэтому коллоидные растворы обнаруживают явление электролиза.
4. Для коллоидных систем характерна весьма медленная диффузия.
5. Величина осмотического давления для коллоидных растворов характеризуется малым значением и непостоянством.
6. Коллоидные системы отличаются агрегативной неустойчивостью и способны коагулировать под влиянием внешних воздействий.

**ВОПРОС 1.3.1.** *Изучите положения, характеризующие методы получения дисперсных систем. Какое из них недостаточно обоснованно?*

ОТВЕТЫ:

1. Коллоидные системы, занимающие промежуточное положение между грубодисперсными и молекулярными, могут быть получены либо объединением молекул или ионов в агрегаты, либо в результате диспергирования больших частиц до требуемых размеров.
2. Диспергирование — это измельчение твердых или жидких тел в инертной, не взаимодействующей с измельчаемым веществом, среде.
3. В противоположность растворению диспергирование проходит, как правило, не самопроизвольно, а с затратой внешней работы.
4. В отдельных случаях твердое тело или жидкость могут самопроизвольно диспергироваться в жидкой среде с образованием коллоидной или микрогетерогенной лиофильной системы.
5. Пример физической конденсации — образование тумана: при понижении температуры воздуха давление водяного пара становится выше равновесного и в газовой фазе возникает новая жидкая фаза.
6. Метод химической конденсации заключается в образовании новой фазы в гомогенной среде в результате изменения состава среды.

**ВОПРОС 1.3.2.** *Найти отношение скоростей оседания капелек водяного тумана, если их радиусы равны соответственно:  $r_1=10^{-4}$  м и  $r_2=10^{-6}$  м*

ОТВЕТЫ:

1.  $10^{-6}$
2.  $10^{-4}$
3.  $10^{-2}$
4.  $10^2$
5.  $10^4$

**ВОПРОС 1.3.2.** В каком из приведенных примеров вещество дисперсной фазы – твердое тело, а вещество дисперсионной среды – жидкость?

ОТВЕТЫ:

1. дым, пыль, смог
2. мыльные пены, эмульсии
3. гидрозоль, органозоль
4. уголь, силикагель
5. сплавы, ситаллы
6. нефть, молоко
7. минералы: опал, жемчуг.

**ВОПРОС 1.3.4.** Какое из уравнений не следует использовать для определения молекулярно-кинетических свойств коллоидно-дисперсных систем? ОТВЕТЫ:

1.  $p = cRT$

2.  $dm = -DA \frac{dc}{dx} d\tau$

3.  $\overline{\Delta x^2} = \frac{RT\tau}{3\pi\eta r N_A}$

4.  $\overline{\Delta x^2} = 2D\tau$

5.  $D = \frac{RT}{6\pi\eta r N_A}$

где  $c$  — молярная концентрация;  $p$  — осмотическое давление;  $D$  - коэффициент диффузии.

**ВОПРОС 1.3.5.** Найти отношение осмотических давлений для двух гидрозоль сернистого мышьяка одинаковой концентрации, но различной дисперсности с радиусами сферических моночастиц соответственно  $r_1 = 3 \cdot 10^{-8}$  м и  $r_2 = 6 \cdot 10^{-9}$  м.

ОТВЕТЫ:

1.  $3,8 \cdot 10^{-6}$
2.  $8 \cdot 10^{-3}$
3. 0,7
4. 5,0
5. 11,0

## Рейтинг-контроль 2

**ВОПРОС 2.1.1.** Ознакомьтесь с положениями, характеризующими поверхностные явления. Какое из них — неудовлетворительно?

ОТВЕТЫ:

1. Поверхностными называется тонкий трехмерный слой, образующийся на поверхности контактирующих фаз и имеющий конечные размеры.
2. На границе раздела жидкость — газ равнодействующая сил межмолекулярного взаимодействия направлена нормально к поверхности в сторону жидкой фазы.

3. Работа, совершаемая в изотермических условиях в процессе перевода молекулы из объемной фазы в поверхностный слой, равна увеличению свободной поверхностной энергии.
4. Поверхностная энергия — это работа разрыва связей при дроблении твердых тел, связанная с увеличением поверхности раздела.
5. Внутреннее давление — это сила, с которой поверхностный слой воздействует на объем фазы.

**ВОПРОС 2.1.2.** Изучите определения, характеризующие природу поверхностного натяжения. Какое из них требует уточнения?

ОТВЕТЫ:

1. Работа образования единицы поверхности, совершаемая против сил внутреннего давления, называется поверхностным натяжением.
2. Величина  $\sigma$  — поверхностное натяжение — является коэффициентом пропорциональности между работой, затраченной на изменение площади поверхности и этим изменением площади.
3. Согласно экспериментальным данным поверхностное натяжение линейно уменьшается с ростом температуры вплоть до критической.
4. Величина  $\sigma$  характеризует межмолекулярное сцепление, полярность жидкости и связана с дипольным моментом, поляризуемостью вещества и диэлектрической проницаемостью.
5. Все утверждения справедливы.

**ВОПРОС 2.1.3.** В каком случае переход к следующему фрагменту вывода уравнение адсорбции Гиббса недостаточно обосновано?

ОТВЕТ:

1. Изменение свободной энергии поверхностного слоя:

$$dF = \sigma dA + Ad\sigma + \sum_i \mu_i dn_i + \sum_i n_i d\mu_i \quad (1)$$

2. По аналогии с уравнением Гиббса-Дюгема:

$$Ad\sigma + \sum_i n_i d\mu_i = 0 \quad (2)$$

3. Ограничиваясь только изотермическими процессами и разделив обе части уравнения (2) на  $A$ , получим,  $d\sigma = -\sum_i \Gamma_i d\mu_i$

4. Для бинарной система (индекс 1 — растворитель, 2 — растворенное вещество  $d\sigma = -\Gamma_1 d\mu_1 - \Gamma_2 d\mu_2$

5. Так как  $d\mu = RTd \ln a$ , допуская замену активности на концентрацию для разбавленных растворов, получим  $\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc}$

**ВОПРОС 2.1.4.** Для каких из приведенных веществ в случае водных растворов величина  $d\sigma/dc$  больше нуля?

1. неорганические электролиты
2. органические кислоты
3. спирты
4. белки
5. сложные эфиры.

**ВОПРОС 2.2.1.** Проанализируйте уравнения, характеризующие поверхностное натяжение и поверхностную энергию. Какое из них требуется дополнительно уточнить?

ОТВЕТЫ:

1.  $\Delta w = \sigma \Delta A$

$$2. \sigma = \left( \frac{dG}{dA} \right)_{T,P,n_i}$$

$$3. U = \sigma - T \left( \frac{dG}{dT} \right)_V$$

$$4. \frac{dG}{dT} = const$$

$$5. \sigma = \left( \frac{dF}{dA} \right)_{V,T,n}$$

**ВОПРОС 2.2.2.** Изучите положения, характеризующие природу адсорбционных сил. Какое из них не соответствует современным представлениям?

ОТВЕТЫ:

1. Адсорбционными называются силы межмолекулярного взаимодействия между молекулами или атомами, находящимися в разных фазах.
2. Как силы особого рода адсорбционные силы обладают ориентационным, индукционным и дисперсионным взаимодействием.
3. Для понимания природы адсорбционных сил необходимо учитывать, что в акте адсорбции молекула адсорбата взаимодействует не с одним, а со всеми ближайшими атомами адсорбента, т.е. с объемом.
4. Толщина адсорбционных слоев может достигать тысяч ангстрем, этот факт указывает на дальное действие адсорбционных сил.
5. Теория межмолекулярных сил показывает, что все три компоненты энергии притяжения: ориентационная, индукционная и дисперсионная составляющие обратно пропорциональны шестой степени расстояния.

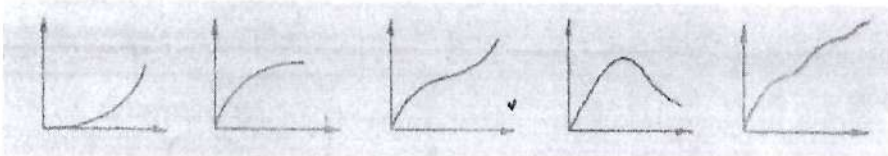
**ВОПРОС 2.2.3.** Какая из приведенных зависимостей называется изотермой адсорбции?

ОТВЕТЫ:

1.  $a = f(T)$
2.  $a = f(P)$
3.  $P = f(T)$
4.  $P = f(a)$
5.  $T = f(P)$

**ВОПРОС 2.2.4.** Изучите кривые, представляющие зависимость количества адсорбируемого вещества (ордината) от давления в газовой фазе (абсцисса) для межфазной поверхности раздела твердое тело — газ. Какая из кривых характерна для теории адсорбции БЭТ?

ОТВЕТЫ:



**ВОПРОС 2.2.5.** Проанализируйте уравнения, описывающие адсорбцию на твердой и жидкой поверхности раздела фаз. Какое из них является эмпирическим?

ОТВЕТЫ:

$$1. a(1 + kP) = a_{\max} kP$$

$k$  – константа

$$2. \lg a = \lg b + \frac{1}{n} \lg P$$

b, n – константы

$$3. \Gamma = \Gamma_{\infty} \frac{kc}{1+kc}$$

c – концентрация

$$4. a = \frac{a_{\max} kP / P_s}{\left(1 - \frac{P}{P_s}\right) \left[1 + (k-1) \frac{P}{P_s}\right]}$$

$P_s$  – давление насыщенного пара

$$5. a = K_{\Gamma} P$$

$K_{\Gamma}$  – константа Генри

### Рейтинг-контроль 3

**ВОПРОС 3.1.1.** Изучите положения, характеризующие адсорбцию на межфазной поверхности твердое тело — газ. Какое из них не согласуется с исходными положениями теории адсорбции Ленгмюра?

ОТВЕТЫ:

1. Адсорбция молекул адсорбтива происходит на активных центрах, находящихся на поверхности твердого адсорбента.
2. Адсорбированные молекулы удерживаются активными центрами только в течение определенного времени, которое не зависит от температуры.
3. Поверхностная концентрация адсорбтива пропорциональна давлению газа и концентрации свободных активных центров.
4. Вследствие малого радиуса действия адсорбционных сил и их способности к насыщению поверхность адсорбента может быть заполнена только одним мономолекулярным слоем адсорбтива.
5. Адсорбированные на соседних активных центрах молекулы адсорбтива не взаимодействуют между собой.
6. Адсорбция представляется как квазихимическая реакция между молекулой газа и активным центром, в результате которой образуется адсорбированный комплекс.

**ВОПРОС 3.1.2.** Какую из приведенных величин определяет частная производная от термодинамического потенциала по площади?

$$\left(\frac{dG}{dA}\right)_{T,P,c}$$

ОТВЕТЫ:

1. химический потенциал
2. внутренняя энергия
3. поверхностное натяжение
4. поверхностная активность
5. свободная энергия.

**ВОПРОС 3.1.3.** Проанализируйте следующие исходные положения теории молекулярной адсорбции Поляни. Какое из них не соответствует современным теоретическим и экспериментальным данным?

ОТВЕТЫ:

1. Адсорбция обуславливается только физическими Ван-дер-ваальсовыми силами. На поверхности адсорбента нет активных центров.
2. Адсорбционные силы действуют на расстояния, превышающие размеры отдельных молекул адсорбтива. Образуется адсорбционный объем.
3. Каждая точка внутри адсорбционного объема характеризуется определенным значением адсорбционного потенциала.

4. Адсорбционный потенциал представляет собой изотермическую работу сжатия газа (пара) при переводе его из объемной фазы в область поверхностного слоя с давлением, отличным от равновесного.
5. Действие адсорбционных сил по мере удаления от межфазной поверхности уменьшается и на некотором расстоянии равно нулю.
6. Зависимость адсорбционного потенциала от адсорбционного объема носит название характеристической кривой.

**ВОПРОС 3.1.4.** *Какой из перечисленных экспериментальных методов не позволяет определять поверхностное натяжение?*

ОТВЕТЫ:

1. Метод максимального давления пузырька (метод Ребиндера)
2. Метод перемещения шарика в дисперсионной среде
3. Сталагмометрический метод отрыва капли жидкости
4. Тензиметрический метод отрыва кольца
5. Метод капиллярного поднятия жидкости.

**ВОПРОС 3.1.5.** *Изучите положения, характеризующие адсорбцию на межфазной поверхности твердое тело — газ (пар). Какое из них существенно отличается от основных положений теории полимолекулярной адсорбции паров Брунауэра — Эмметта — Теллера?*

ОТВЕТЫ:

1. На поверхности твердого адсорбента имеются неравноценны в энергетическом отношении активные центры.
2. Адсорбция многослойна. Каждая молекула первого слоя служит центром для адсорбции второго и последующих слоев.
3. Первый слой адсорбтива образуется в результате действия Ван-дер-ваальсовых сил, последующие — в результате компенсации.
4. Адсорбированная фаза представляется как совокупность адсорбированных комплексов — молекулярных цепочек, которые энергетически не взаимодействуют друг с другом.
5. Теплоты адсорбции единичного и двойного комплексов приблизительно одинаковы и равны теплоте объемной конденсации.
6. Адсорбцию молекул пара можно рассматривать как серию квазихимических реакций образования адсорбционных комплексов.
7. При значениях давления в газовой фазе, далеких от давления насыщенного пара, образуется мономолекулярный слой.
8. При увеличении давления в газовой фазе число свободных активных центров сокращается, а число кратных комплексов растет.
9. Объемная конденсация пара происходит при достижении давлений, равных давлению насыщенного пара при данной температуре
10. Предполагается, что площадь, приходящаяся на одну молекулу адсорбтива в поверхностном слое, - постоянная величина. Это дает возможность вычислять величину удельной поверхности адсорбента.

#### **Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (контрольные вопросы к экзамену)**

1. Структура дисперсных систем. Дисперсная фаза, дисперсионная среда. Количественные характеристики дисперсности
2. Классификация дисперсных систем: по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды, по концентрации, по характеру взаимодействия дисперсной фазы с дисперсионной средой.



3. Понятие о лиофильных и лиофобных дисперсных системах. Особенности коллоидного состояния вещества.
4. Суспензии и их свойства. Получение. Агрегативная устойчивость и определяющие её факторы. Седиментационный анализ суспензий. Пасты.
5. Эмульсии, пены и их свойства. Получение. Типы эмульсий. Устойчивость эмульсий и пен и её нарушение. Факторы устойчивости эмульсий и пен. Свойства концентрированных и высококонцентрированных эмульсий.
6. Методы получения и очистки коллоидных растворов.
7. Молекулярно-кинетические и оптические свойства коллоидных систем. Броуновское движение (уравнение Эйнштейна), диффузия (уравнения Фика), осмотическое давление. Их взаимосвязь.
8. Седиментация. Седиментационная устойчивость и седиментационное равновесие. Центрифуга и её применение для исследования коллоидных систем.
9. Рассеивание и поглощение света. Уравнение Рэлея. Ультрамикроскопия и электронная микроскопия коллоидных систем. Определение формы, размеров и массы коллоидных частиц.
10. Термодинамика поверхностных явлений. Термодинамика поверхностного слоя. Поверхностная энергия Гиббса и поверхностное натяжение. Методы определения поверхностного натяжения. Зависимость поверхностного натяжения от температуры.
11. Связь поверхностной энергии Гиббса и поверхностной энthalпии. Краевой угол смачивания. Термодинамические условия смачивания и растекания. Гидрофильность и гидрофобность поверхности твердых тел.
12. Адсорбция поверхностно-активных веществ (ПАВ). Термодинамика адсорбции. Вывод уравнения Гиббса. Поверхностно-активные и поверхностно-инактивные вещества.
13. Изотерма поверхностного натяжения. Уравнение Шишковского. Поверхностная активность. Правило Дюкло–Траубе. Уравнение Ленгмюра для мономолекулярной адсорбции.
14. Ориентация молекул ПАВ в поверхностном слое. Определение площади, занимаемой молекулой ПАВ в насыщенном адсорбционном слое. Адсорбция ПАВ из растворов на поверхности твердых тел.
15. Природа электрических явлений в дисперсных системах. Механизм возникновения электрического заряда на границе раздела двух фаз. Строение двойного электрического слоя.
16. Мицелла, строение мицеллы гидрофобного золя. Заряд и электрокинетический потенциал коллоидной частицы. Явление перезарядки коллоидных частиц.
17. Электрокинетические явления. Электрофорез. Связь электрофоретической скорости коллоидных частиц с их электрокинетическим потенциалом (уравнение Гельмгольца-Смолуховского). Электрофоретическая подвижность. Электроосмос. Электроосмотический метод измерения электрокинетического потенциала.
18. Устойчивость и коагуляция коллоидных систем. Седиментационная и агрегативная устойчивость коллоидных систем. Агрегация и седиментация частиц дисперсной фазы.
19. Коагуляция и факторы, её вызывающие. Медленная и быстрая коагуляция. Порог коагуляции, его определение. Правило Шульце–Гарди. Коагуляция золью смесью электролитов. Правило аддитивности, антагонизм и синергизм ионов.
20. Вязкость растворов. Отклонение свойств растворов от законов Ньютона. Уравнение Бингама. Причины аномальной вязкости растворов полимеров. Методы измерения вязкости растворов
21. Факторы устойчивости растворов. Тиксотропия студней и гелей. Синерезис.

## Контролирующие программы для самостоятельной работы студентов (Тестовые задания)

### КОНТРОЛИРУЮЩАЯ ПРОГРАММА 4.1.

**ВОПРОС 4.1.1.** Проанализируйте нижеприведенные положения, характеризующие механизм образования двойного электрического слоя, Найдите положение, являющееся либо неверным, либо спорным!

ОТВЕТЫ:

1. Электрические явления на межфазных поверхностях — следствие избыточной поверхностной энергии — результат взаимодействия соприкасающихся фаз между собой.
2. Специфическая адсорбция ионов — переход из жидкой фазы в поверхностный слой частиц дисперсной фазы — сопровождается перераспределением зарядов в области поверхностного слоя.
3. Если межфазная поверхность образована веществами, не способными обмениваться зарядами, то двойной электрический слой может образоваться в результате ориентирования полярных молекул.
4. Переход ионов или электронов из одной фазы в другую на границе раздела называется поверхностной диссоциацией.
5. Адсорбция ионогенного поверхностно—активного вещества может происходить на границе двух несмешивающихся жидкостей, например, воды и бензола. Полярная группа молекулы поверхностно — активного вещества, обращенная к воде, будет диссоциировать; в результате диссоциации межфазная поверхность приобретает заряд.
6. Если в систему металл — вода добавить хлористый натрий, то за счет избирательной адсорбции анионов хлора на металле появится избыточный отрицательный заряд, в близлежащем слое раствора будет избыточный положительный заряд из ионов натрия.
7. При контакте металла с газовой фазой происходит переход электронов от металла к газу. Межфазная поверхность заряжается.

**ВОПРОС 4.1.2.** Изучите положения, характеризующие механизм образования двойного слоя ионов на примере образования золя сульфата бария. Какое из них требует уточнения?

ОТВЕТЫ:

1. При сливании водных растворов хлорида бария и сульфата натрия образуется золь сульфата бария.
2. В зависимости от условий (концентрация компонентов, температуры и других) образуются микрокристаллики  $BaSO_4$  большей или меньшей дисперсности.
3. Если исходные компоненты взяты не в строго стехиометрических соотношениях, то ионы бария или сульфат-ионы могут оказаться в значительном избытке.
4. При избытке, например ионов бария, они начнут переходить из раствора в твердую фазу и занимать вакантные места, достраивая кристаллическую решетку.
5. При этом твердая фаза приобретает положительный заряд, жидкая — отрицательный. Избыточные сульфат-ионы вследствие кулоновского взаимодействия подтянутся из раствора к адсорбированным на поверхности ионам бария — образуется двойной слой ионов.
6. Ионы бария, вызывающие в данном случае возникновение межфазного потенциала, называются потенциалопределяющими.
7. Сульфат-ионы, концентрирующиеся в растворе около заряженной поверхности кристаллов сульфата бария называются противоионами.

**ВОПРОС 4.1.3.** Изучите положения, обосновывающие вывод термодинамического соотношения между электрическим потенциалом и поверхностным натяжением (уравнения Липпмана). Укажите неточное.

ОТВЕТЫ:

1. Изменение энергии Гиббса поверхностного слоя

$$dG = -SdT + VdP + \sigma dA + \varphi dq \quad (1)$$

где  $\varphi$  — электрический потенциал,  $q$  — заряд поверхности.  
2. Изменение поверхностной энергии при  $T=\text{const}$  и  $P=\text{const}$

$$dG = \sigma dA + \varphi dq \quad (2)$$

- Полный дифференциал

$$dG = \sigma dA + Ad\sigma + \varphi dq + qd\varphi \quad (3)$$

4. Вычитая третье уравнение из второго, получаем  $\frac{d\sigma}{d\varphi} = -\frac{q}{A} = -q_A$

где  $q_A$  — заряд единицы поверхности.

5. Согласно уравнению Липпмана при любом механизме образования двойного слоя увеличение потенциала всегда приводит к увеличению поверхностного натяжения.

6. Из сопоставления уравнений Липпмана и Гиббса следует  $q_A = Fz\Gamma$ ,

где  $\Gamma$  — избыточная концентрация ионов в поверхностном слое.

ВОПРОС 4.1.4. Изучите схемы строения мицелл для какого случая формирования коллоидных частиц происходит путем поверхностной диссоциации?

ОТВЕТЫ:

1.  $\{[m(\text{ZnS})n\text{Zn}^{2+}](n-x)\text{SO}_4^{2-}\}x\text{SO}_4^{2-}$
2.  $\{[m(\text{SiO}_2)n\text{SiO}_3^{2-}]2(n-x)\text{H}^+\}2x\text{H}^+$
3.  $\{[m(\text{BaSO}_4)n\text{SO}_4^{2-}]2(n-x)\text{Na}^+\}2x\text{Na}^+$
4.  $\{[m(\text{AgI})n\text{Ag}^+](n-x)\text{NO}_3^-\}x\text{NO}_3^-$
5.  $\{[m(\text{H}_2\text{SnO}_3)n\text{SnO}^{2+}]2(n-x)\text{Cl}^-\}2x\text{Cl}^-$
6.  $\{m[\text{Zn}(\text{OH})_2]n\text{Zn}^{2+} \cdot 2(n-x)\text{Cl}^-\}2x\text{Cl}^-$

ВОПРОС 4.1.5. Какое из определений, характеризующих электрокинетические явления, можно считать противоречивым?

ОТВЕТЫ:

1. Явление переноса жидкости под действием внешнего электрического поля, наблюдаемое в капиллярно—пористых телах, а также в одиночных капиллярах, называется электроосмосом.
2. Перемещение частиц дисперсной фазы в электрическом поле относительно дисперсионной среды называется электрофорезом.
3. Возникновение разности потенциалов между двумя сторонами пористой диафрагмы при пропускании через нее воды либо между концами одиночного капилляра при протекании через него воды называется потенциалом течения.
4. Появление разности потенциалов между двумя электродами, расположенными на разной высоте сосуда, в котором оседает (перемещается) суспензия мелкодисперсного кварца, называется потенциалом оседания или потенциалом седиментации.
5. Электрокинетические явления проявляются тем слабее, чем мельче частицы дисперсной фазы, и исчезают совсем при переводе дисперсной системы в молекулярный раствор.
6. Причина электрокинетических явлений заключается в существовании противоположных зарядов твердой и жидкой фаз системы.
7. Разноименность зарядов фаз приводит в случае неподвижного пористого тела в электрическом поле к перемещению подвижных противоионов вместе с жидкой фазой.
8. Сущность электрокинетических явлений заключается в передвижении частиц дисперсной фазы и дисперсионной среды при приложении к системе разности

потенциалов или, наоборот, в возникновению разности потенциалов при относительном перемещении фазы и среды.

## КОНТРОЛИРУЮЩАЯ ПРОГРАММА 4.2.

**ВОПРОС 4.2.1.** Проанализируйте рассуждения о природе электрокинетического потенциала и укажите ошибочное?

ОТВЕТЫ:

1. Электрокинетический потенциал — это электрический потенциал, отсчитываемый от границы скольжения до уровня в жидкой фазе, достаточно удаленного от межфазной границы раздела.
2. Граница скольжения устанавливается при относительном перемещении фаз, например при течении жидкости вдоль твердой поверхности.
3. Невозможно указать точное положение границы скольжения.
4. С достаточной уверенностью можно предположить, что первый слой ионов и первый слой молекул воды, смачивающих твердую фазу не перемещаются относительно твердой фазы при течении жидкости.
5. Электрокинетический потенциал возникает при относительном перемещении фаз под действием приложенного электрического поля.

**ВОПРОС 4.2.2.** Рассмотрите положения, описывающие механизм образования двойного электрического слоя ионов. Какое из них противоречит экспериментальным данным?

ОТВЕТЫ:

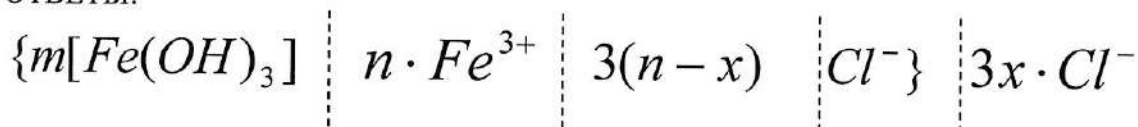
1. На границе вода — твердый йодид серебра в воду будут переходить преимущественно ионы серебра, так как они более гидратированы.
2. Поверхность йодида серебра будет иметь некоторый избыток ионов йода, который со стороны воды будет нейтрализован избытком ионов серебра в прилегающем слое.
3. Этот процесс приведет к возникновению межфазного скачка потенциалов, препятствующего дальнейшему переходу ионов.
4. Двойной слой ионов образуется не самопроизвольно, а в результате уменьшения энергии поверхностного слоя.
5. В результате процесса перехода ионов устанавливается равновесие, которому соответствует определенное значение скачка потенциалов.

**ВОПРОС 4.2.3.** Какое из явлений наблюдается, если жидкость под влиянием разности потенциалов перемещается через пористую неподвижную мембрану к одному из электродов?

1. Электролиз
2. электрофорез
3. электроосмос
4. эффект Квинке
5. эффект Дорна
6. электродиализ.

**ВОПРОС 4.2.4.** Какая из указанных линий - более вероятная граница скольжения при перемещении мицеллы в электрическом поле?

ОТВЕТЫ:



**ВОПРОС 4.2.5.** Для какого случая формирование коллоидных частиц происходит путем поверхностной ионизации?

ОТВЕТЫ:

1.  $\{[m(Au) \cdot nAuO_2^-](n-x)K^+\}xK^+$
2.  $\{[m(HgS) \cdot nHS^-](n-x)H^+\}xH^+$
3.  $\{[m(SiO_2) \cdot nSiO_3^{2-}]2(n-x)H^+\}2xH^+$
4.  $\{[m(ZnS) \cdot nZn^{2+}](n-x)SO_4^{2-}\}xSO_4^{2-}$
5.  $\{m[Fe(OH)_3] \cdot nFeO^+ \cdot (n-x)Cl^-\}xCl^-$
6.  $\{[m(AgI) \cdot nAg^+](n-x)NO_3^-\}xNO_3^-$

### КОНТРОЛИРУЮЩАЯ ПРОГРАММА 4.3.

**ВОПРОС 4.3.1.** Проанализируйте положения характеризующие строение двойного электрического слоя. Какое из них не согласуется с современными теоретическими и экспериментальными данными?

ОТВЕТЫ:

1. Двойной электрический слой состоит из ионов одно знака, относительно прочно связанных с дисперсной фазой, и эквивалентного количества противоположно заряженных ионов, находящихся в дисперсионной среде вблизи межфазной поверхности.
2. Заряд на поверхности твердой дисперсной фазы в первом приближении рассматривается как поверхностный заряд.
3. Двойной электрический слой образуется в результате избирательной адсорбции одного из ионов, присутствующих в дисперсионной среде.
4. Двойной электрический слой на межфазной границе твердое тело — жидкость представляется как плоский конденсатор, одна обкладка которого связана с поверхностью твердого тела, а другая, несущая противоположный заряд, находится в жидкости вблизи поверхности.
5. Вследствие теплового движения ионов противоионы рассеяны в жидкой фазе на некотором расстоянии.

**ВОПРОС 4.3.2.** При каких значениях электрокинетического потенциала в милливольтх дисперсная система может считаться устойчивой?

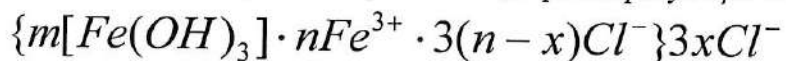
ОТВЕТЫ:

1. 0...30
2. 0...50
3. 0...100
4. 30...70
5. 50...100

**ВОПРОС 4.3.3.** Какое из уравнений соответствует теории строения двойного электрического слоя, предложенной Штерном?

1.  $\sigma = \frac{\varepsilon}{4\pi\delta} \varphi$
2.  $c_+ = c_0 \exp\left(-\frac{Fz\varphi}{RT}\right)$
3.  $\xi = 4\pi\eta Q\zeta / \varepsilon I$
4.  $c_- = c_0 \exp\left(-\frac{\Phi_- + zF\varphi}{RT}\right)$
5.  $\xi = 4\pi\eta U / \varepsilon H$

ВОПРОС 4.3.4. Изучите определения, характеризующие структуру мицеллы



Какое из них неточно?

ОТВЕТЫ:

1.  $m$  – число нейтральных молекул, образующих агрегаты
2.  $n$  – число потенциалобразующих ионов
3.  $3(n-x)$  – число противоионов, находящихся вблизи поверхности
4.  $x$  – число противоионов, рассеянных в жидкой фазе на некотором расстоянии от границы раздела
5.  $(n-x)+x$  – число ионов, находящихся в диффузионном слое.

## УСТОЙЧИВОСТЬ И КОАГУЛЯЦИЯ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

### КОНТРОЛИРУЮЩАЯ ПРОГРАММА 5.1.

ВОПРОС 5.1.1. Среди утверждений, характеризующих устойчивость дисперсных систем, найдите неточное.

ОТВЕТЫ:

1. Устойчивость дисперсных систем характеризуется неизменностью во времени размеров частиц дисперсной фазы и сохранением их равномерного распределения в дисперсионной среде.
2. Все дисперсные системы термодинамически не устойчивы.
3. Кинетической называется устойчивость дисперсной системы по отношению к гравитационному или центробежному полям.
4. Коагуляция — процесс слипания частиц дисперсной фазы в более крупные агрегаты, приводящий к потере кинетической устойчивости, разделению фаз и, как следствие, к разрушению системы.
5. Агрегативной устойчивостью называется способность системы противостоять укрупнению частиц дисперсной фазы.
6. Коагуляты, образующиеся в результате агрегации частиц дисперсной фазы, представляют собой осадки различной структуры: рыхлые, плотные хлопьевидные, волокнистые, кристаллоподобные.

ВОПРОС 5.1.2. Изучите положения разъясняющие природу устойчивости коллоидных систем. Какое из них ошибочно?

ОТВЕТЫ:

1. На близком расстоянии между коллоидными частицами действуют межмолекулярные ван-дер-ваальсовы силы.
2. Наличие двойного электрического слоя на поверхности коллоидных частиц исключает взаимодействие между ними.
3. Устойчивость дисперсных систем обусловлена соотношением межмолекулярных сил притяжения и электрических сил отталкивания.
4. Возможность существования дисперсной системы обусловлена наличием некоторого энергетического (потенциального) барьера, который препятствует сближению коллоидных частиц и их слипанию.
5. Кинетическая устойчивость определяется размерами частиц.

ВОПРОС 5.1.3. Какое из перечисленных воздействий не может вызвать коагуляцию гидрозоля?

1. Изменение температуры
2. механические воздействия
3. добавление поверхностно-активных веществ
4. введение электролитов
5. электромагнитное излучение.

**ВОПРОС 5.1.4.** Определить константу скорости коагуляции, если в одном кубическом метре золя исходное количество частиц равно  $5 \cdot 10^{14}$ , а время половинной коагуляции составляет 10 с?

ОТВЕТЫ:

1.  $5 \cdot 10^{15}$
2.  $5 \cdot 10^{13}$
3.  $5 \cdot 10^{-14}$
4.  $5 \cdot 10^{-16}$
5. данных недостаточно.

## КОНТРОЛИРУЮЩАЯ ПРОГРАММА 5.2.

**ВОПРОС 5.2.1.** Изучите положения, характеризующие сущность стабилизации дисперсных систем. Какое из них противоречиво?

ОТВЕТЫ:

1. На межфазной поверхности раздела фаза — среда образуется поверхностный слой из молекул стабилизатора.
2. Полная фиксация дисперсной системы обусловливается тем, что высоковязкий стабилизирующий слой не выдавливается при столкновении частиц дисперсной фазы.
3. Стабилизирующими свойствами обладают адсорбционные слои ориентированных поверхностно—активных веществ: белки, мыла и другие.
4. Прочность адсорбционного слоя нарастает с увеличением рН среды и повышением концентрация поверхностно-активного вещества.
5. Предел повышения стабильности дисперсных систем — образование сплошных пространственных структур-гелей.

**ВОПРОС 5.2.2.** Изучите фрагменты вывода уравнения Смолуховского для быстрой коагуляции. В каком из них допущена ошибка?

ОТВЕТЫ:

1.  $v = v_1 + v_2 + \dots$
2.  $-\frac{dv}{d\tau} = kv^2$
3.  $k = 4\pi Dr$
4.  $k\tau = \frac{1}{v_0} - \frac{1}{v}$
5.  $v = \frac{v_0}{1 + kv_0\tau}$

**ВОПРОС 5.2.3.** Коагуляция коллоидных систем может происходить под влиянием ряда факторов. Какой из перечисленных факторов имеет наиважнейшее теоретическое и практическое значение?

1. Старение системы
2. изменение концентрации дисперсной фазы
3. механические воздействия
4. изменение температуры
5. добавление электролитов
6. действие света.

**ВОПРОС 5.2.4.** Проанализируйте уравнения, характеризующие природу межмолекулярного взаимодействия частиц дисперсной фазы. Какое из них описывает дисперсионное взаимодействие?

ОТВЕТЫ:

1.  $\frac{2\mu_1^2\mu_2^2}{3kTr^6}$
2.  $\frac{2\mu^2\alpha}{r^6}$
3.  $\frac{3h\nu_0\alpha^2}{4r^6}$
4.  $\frac{r^2e^2\mu^2}{3kTr^4}$
5.  $-Cr^{-6} + Br^{-12}$

### КОНТРОЛИРУЮЩАЯ ПРОГРАММА 5.3.

**ВОПРОС 5.3.1.** Проанализируйте положения, характеризующие действие электролитов на золь. Какое из них не относится к правилам коагуляции электролитами?

ОТВЕТЫ:

1. Коагулирующим действием обладают не все ионы электролита, а только те, которые имеют заряд противоположный по знаку заряду коллоидной частицы.
2. Для начала коагуляции необходимо превысить некоторую минимальную концентрацию электролита в золе.
3. Порог коагуляции — это величина, характеризующая устойчивость золя к электролитам.
4. Коагулирующая сила иона тем больше, чем больше его валентность, и возрастает с увеличением радиуса иона при одинаковой валентности.
5. Коагуляция золя происходит в результате изменения концентрации дисперсной фазы и приводит к образованию осадков — коагулятов

**ВОПРОС 5.3.2.** Изучите предпосылки, на основании которых развиваются представления о коагуляции коллоидов. Какая из них не учитывалась Смолуховским для построения теории быстрой коагуляции?

ОТВЕТЫ:

1. Между частицами дисперсной фазы действуют силы притяжения и силы электростатического отталкивания.
2. При сближения частиц дисперсной фазы в процессе броуновского движения на достаточно близкие расстояния частицы сливаются, образуя агрегат.
3. Скорость коагуляции определяется частичной концентрацией поля и температурой.
4. При столкновениях первичных частиц образуются сначала вторичные, а затем третичные и более сложные.
5. Скорость агрегатирования существенно зависит от природы сил, действующих между частицами дисперсной фазы.

**ВОПРОС 5.3.3.** Проанализируйте уравнения, описывающие коагуляцию золь, согласно теории Смолуховского. Какое из них требует уточнения? ( $r$  — радиус сферы притяжения).

ОТВЕТЫ:

1.  $-\frac{dv}{v} = kd\tau$
2.  $v(1 + kv_0\tau) = v_0$
3.  $\tau_{1/2} = \frac{1}{4\pi Drv_0}$



4.  $v(\tau_{1/2} + \tau) = \tau_{1/2}v_0$

5.  $\tau_{1/2} \cdot kv_0 = 1$

**ВОПРОС 5.3.4.** Какой из перечисленных факторов не приводят к существенному увеличению коагулирующего действия электролита на коллоидный раствор?

ОТВЕТЫ:

1. увеличение валентности иона
2. увеличение радиуса вана
3. увеличение концентрации электролита
4. увеличение температуры
5. увеличение значения электрокинетического потенциала.

**ВОПРОС 5.3.5.** Для коагуляции  $1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$  золя  $\text{AgI}$  требуется  $4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$  раствора  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  концентрации  $0,05 \text{ кмоль/м}^3$ . Найти порог коагуляции золя.

ОТВЕТЫ:

1.  $0,01 \text{ кмоль/м}^3$
2.  $0,02 \text{ кмоль/м}^3$
3.  $0,03 \text{ кмоль/м}^3$
4.  $0,04 \text{ кмоль/м}^3$
5.  $0,05 \text{ кмоль/м}^3$ .

## СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

### КОНТРОЛИРУЮЩАЯ ПРОГРАММА 6.1.

**ВОПРОС 6.1.1.** Какое из указанных свойств не связано непосредственно со структурой дисперсной системы?

ОТВЕТЫ:

1. эластичность
2. текучесть
3. вязкость
4. смачиваемость
5. пластичность
6. прочность.

**ВОПРОС 6.1.2.** Какое из положений, характеризующих структуры дисперсных систем, является неверным?

ОТВЕТЫ:

1. Структура — это пространственный каркас — сетка, образованный связями атомов, ионов, молекул, мицелл, кристаллических отростков и частиц коллоидных размеров.
2. В коллоидных и микрогетерогенных системах различают тиксотропно — обратимые, или коагуляционные структуры, и необратимо — разрушающиеся, или конденсационно-кристаллизационные структуры.
3. Коагуляционная структура образуется сцеплением первичных частиц дисперсной фазы ван-дер-ваальсовыми силами.
4. Конденсационная структура возникает в результате образования прочных химических связей между частицами дисперсной фазы.
5. Кристаллизационные структуры формируются в процессе выкристаллизовывания новой фазы вследствие сращивания кристалликов.
5. Прочность коагуляционных структур значительно превышает прочность конденсационных и кристаллизационных.
6. Гелеобразование — это возникновение пространственной сетки из частиц дисперсной фазы, в петлях которой находится среда.

7. Специфическое свойство коагуляционных структур — способность самопроизвольно восстанавливать связи между частицами, разрушенные при механическом воздействии на систему.

8. Синерезис — явление самопроизвольного уменьшения размеров геля при сохранении его структуры с одновременным выделением из него дисперсионной среды, содержащейся в петлях.

**ВОПРОС 6.1.3.** Проанализируйте приведенные уравнения и обозначения и укажите не точное?

ОТВЕТЫ:

$$1. F = A \cdot \eta \cdot \frac{dU}{dx}$$

- F – сила внутреннего трения (сила вязкостного сопротивления);

- A – площадь слоя (сдвига), к которому приложена сила;

-  $\eta$  – коэффициент пропорциональности – вязкость системы;

- U – объемная скорость течения;

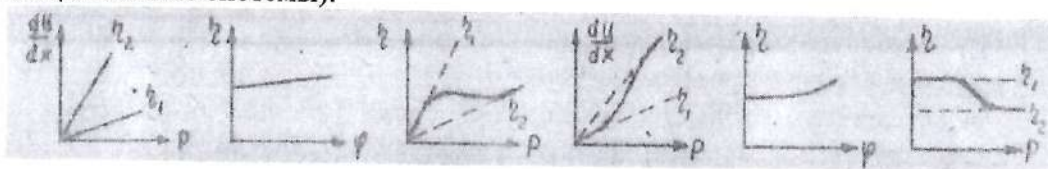
-  $du/dx$  – деформация;

- x – координата, нормальная к потоку, - расстояние между слоями;

-  $P = \frac{F}{A}$  - напряжение сдвига;

-  $\frac{dU}{dx} = \frac{1}{\eta} P$ , где  $1/\eta$  – текучесть, характеризующая подвижность жидкости под влиянием внешних воздействий.

**ВОПРОС 6.1.4.** Изучите приведенные реологические зависимости и найдите график, где дана неверная информация ( $\eta_1 > \eta_2$ )? ( $\varphi$  — объемная доля дисперсной фазы в общем объеме системы).



**ВОПРОС 6.1.5.** Какое из уравнений было предложено Бингамом для дисперсных систем с пластическим течением? (K — константа;  $P_d$  - предельное напряжение сдвига; Q — расход жидкости в единицу времени).

$$1. \eta = \eta_0 (1 + 2,5\varphi)$$

$$2. \frac{dU}{dx} = \frac{1}{\eta} P$$

$$3. \eta - \eta_0 = \eta_0 \cdot K \cdot \varphi$$

$$4. P = \eta \frac{dU}{dx} + P_d$$

$$5. Q = \frac{K}{\eta} P$$

$$6. \eta = 1 + K \cdot \varphi$$

## КОНТРОЛИРУЮЩАЯ ПРОГРАММА 6.2.

**ВОПРОС 6.2.1.** Среди положений, характеризующих структуры и свойства коллоидных систем найдите ошибочное?

ОТВЕТЫ:

**ОТВЕТЫ:**

1. Образование структур в коллоидных системах – результат сцепления, срастания частиц дисперсной фазы под влиянием действующих между ними физических или химических сил.
2. Процесс образования структуры и свойства структурированных систем зависят от свойств поверхности частиц дисперсной фазы, ее неоднородности, химического строения, формы и других.
3. Основные типы структур: коагуляционные, конденсационные и кристаллизационные; различие определяется природой сил сцепления, действующих между частицами дисперсной фазы.
4. Структура, образующаяся в результате срастания коллоидных частиц в сплошной пространственный каркас-сетку под действием Ван-дер-ваальсовых сил называется конденсационной.
5. Коагуляционные структуры возникают в результате понижения агрегативной устойчивости дисперсной системы путем сцепления первичных частиц дисперсной фазы в пространственные каркасы.
6. Если объемный каркас—сетка формируется за счет химических связей атомов, молекул или кристаллических сростков, а дисперсионная среда заключена в ячейках каркаса, то структура системы называется конденсационно—кристаллизационной.
7. Специфическое свойство коагуляционных структур — тиксотропия — способность самопроизвольно восстанавливаться после прекращения механического воздействия.
8. Характерное свойство тиксотропных структур — эластичность. Пластичные тела необратимо изменяют размеры и форму под действием внешних сил; после прекращения воздействия изменения остаются.

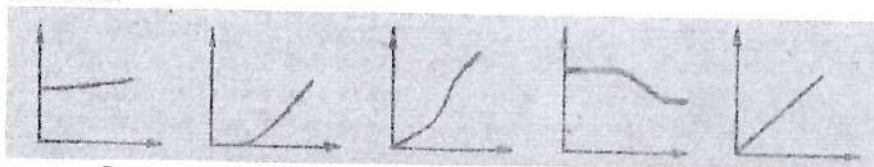
**ВОПРОС 6.2.2.** Проанализируйте определения, характеризующие свойства структур и найдите ошибочное?

**ОТВЕТЫ:**

1. Образование структуры, охватывающей весь объем дисперсной системы, возможно только при определенной концентрации частиц дисперсной фазы, достаточной для построения цельного каркаса.
2. Связь между вязкостью коллоидной системы и содержанием дисперсной фазы описывается уравнением  $\eta = \eta_0(1 + K \cdot \varphi)$ , где  $\eta$  и  $\eta_0$  – вязкость системы и среды;  $K$  – константа, определяемая формой частиц;  $\varphi$  – объемная доля дисперсной фазы в объеме системы.
3. Течение вязких тел описывается законом  $P = \eta \frac{dU}{dx}$ , где  $P$  – напряжение сдвига;  $U$  – линейная скорость течения;  $x$  – координата, нормальная к потоку;  $\eta$  – вязкость среды.
4. Вязкость дисперсных систем — непостоянная величина. Ее значение зависит от условий определения, от скорости течения.
5. Вязкость тела отличаются от пластичных тем, что текут при любых напряжениях. Наличие структуры изменяет характер течения.

**ВОПРОС 6.2.3.** На каком из графиков представлена характерная зависимость вязкости от напряжения сдвига для связно-дисперсной структурированной системы?

**ОТВЕТЫ:**



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

## 6. УЧЕБНО – МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1. 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. Воюцкий С.С. Курс коллоидной химии: учебник 2-е изд. - М.: Химия, 1976. - 512 с.	1976	102	
2.Фридрихсберг Д.А. Курс коллоидной химии: учебник. – Л.:, 2010. -416 с.	2010	86	
3. Марков В. Ф. Маскаева Л. Н. Брусницына Л. А. Алексеева Т. А. Коллоидная химия: примеры и задачи: Учебное пособие - 2-е изд., стер. - М.:Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 188 с.	2017		<a href="http://znanium.com/catalog/product/948402">http://znanium.com/catalog/product/948402</a>
4.Ольшевский М.В., Дорофеева И.Б. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы. Рейтинговая система организации и оценки самостоятельной работы студента/ Учеб. пособие. ВлГУ, Владимир. – 2003. -70 с.	2003		<a href="http://dspace.www1.vlsu.ru/handle/123456789/562">http://dspace.www1.vlsu.ru/handle/123456789/562</a>
5.Практические работы по коллоидной химии. Шиляева Л.П., Судакова Н.Н., Белоусова В.Н., Минакова Т.С., Мамонтов Г.В. Учебное пособие. 2015. 244 стр.	2015		<a href="https://e.lanbook.com/book/68308">https://e.lanbook.com/book/68308</a>
Дополнительная литература			
1.Родин В.В. Физическая и коллоидная химия: учебное пособие. — Ставрополь: АГРУС, 2013. — 156 с.	2013	10	
2. Кириченко О. А. Практикум по коллоидной химии: Учебно-методическое пособие - М.:МПУ, 2012. - 110 с.	2012		<a href="http://znanium.com/catalog/product/757805">http://znanium.com/catalog/product/757805</a>
3. Францева Н. Н. Безгина Ю. А. Романенко Е. С. Волосова Е. В. Коллоидная химии: учебное пособие. - Ставрополь: Параграф, 2013. - 52 с.	2013		<a href="http://znanium.com/catalog/product/514197">http://znanium.com/catalog/product/514197</a>

### 6.2. Периодические издания

1. Вода: химия и экология.
2. Сорбционные и хроматографические процессы.
3. Environ Technol.

4. Восточно – Европейский журнал передовых технологий

### 6.3. Интернет – ресурсы

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
2. <http://www.chemport.ru/>
3. <http://www.xumuk.ru/>
4. <http://elibrary.ru/>
5. <http://sci-hub.org/>

### 7. МАТЕРИАЛЬНО – ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Лабораторные и лекционные занятия проводятся в ауд. 331-1 «Физическая и коллоидная химия».

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения Windows 7, Microsoft Office 2010.

Рабочую программу составил д.х.н. проф. Кухтин Б.А.

(ФИО, подпись)

Рецензент

(представитель работодателя) генеральный директор ООО «БМТ» к.т.н. Поворов А.А.

(место работы, должность, ФИО, подпись)

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры химии

Протокол № 10 от 25.06.2021 года

Заведующий кафедрой д.х.н. проф. Кухтин Б.А.

(ФИО, подпись)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии  
направления 04.03.01 «Химия»

Протокол № 10 от 25.06.2021 года

Председатель комиссии д.х.н. проф. Кухтин Б.А.

(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 \_\_\_\_\_

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

в рабочую программу дисциплины

*Поверхностные явления и дисперсные системы*

ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ 04.03.01 Химия

«Химический анализ, химическая и экологическая экспертиза объектов окружающей среды»

бакалавриат

Номер изменения	Внесены изменения в части/разделы рабочей программы	Исполнитель ФИО	Основание (номер и дата протокола заседания кафедры)
1			
2			

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
Подпись / ФИО