Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Щёкина Вера Витальевна
Должность: Ректор
Дата подписания: 22.10.2026 09:55:10
Уникальный программный ключ:
a2232a55157e976551a8999b1190892af53989420420336ffbf573a434e57789

	МИНИСТЕРСТВО ПРОСВЕЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Благовещенский государственный педагогический университет»
	ОСНОВНАЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА **Рабочая программа дисциплины**

УТВЕРЖДАЮ
Декан естественно-географического факультета ФГБОУ ВО «БГПУ»
_____И.А. Трофимцова
«25» мая 2022 г.

Рабочая программа дисциплины
«КОЛЛОИДНАЯ ХИМИЯ»

Направление подготовки
44.03.05 ПЕДАГОГИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ
(с двумя профилями подготовки)

Профиль
«БИОЛОГИЯ»

Профиль
«ХИМИЯ»

Уровень высшего образования
БАКАЛАВРИАТ

Принята на заседании кафедры химии
(протокол № 8 от «25» мая 2022 г.)

Благовещенск 2022

СОДЕРЖАНИЕ

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА 3

2 УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ 4

3 СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ (РАЗДЕЛОВ) 6

4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ (УКАЗАНИЯ) ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ 9

5 ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ 10

6 ДИДАКТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ (САМОКОНТРОЛЯ) УСВОЕННОГО МАТЕРИАЛА 55

7 ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ 61

8 ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ИНВАЛИДАМИ И ЛИЦАМИ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ 62

9 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ 62

10 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА 62

11 ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ И ДОПОЛНЕНИЙ 65

1 ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

1.1 Цель дисциплины: сформировать фундаментальные знания в области коллоидной химии.

1.2 Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Коллоидная химия» относится к дисциплинам предметного модуля по профилю «Химия» части, формируемой участниками образовательных отношений, блока Б1 (Б1.В.02.02).

Для освоения дисциплины «Коллоидная химия» обучающиеся используют знания, умения, сформированные в ходе изучения дисциплин «Неорганическая химия», «Аналитическая химия», «Физическая химия».

1.3 Дисциплина направлена на формирование следующих компетенций: ПК-2:

- ПК-2. Способен осуществлять педагогическую деятельность по профильным предметам (дисциплинам, модулям) в рамках программ основного общего и среднего общего образования, **индикаторами** достижения которой является:

- ПК-2.2 Применяет основы теории фундаментальных и прикладных разделов химии (неорганической, аналитической, органической, физической, химии ВМС, химических основ биологических процессов, химической технологии) для решения теоретических и практических задач.

1.4 Перечень планируемых результатов обучения. В результате изучения дисциплины студент должен

- знать:

- пути поиска информации для использования полученных теоретических и практических знаний в области коллоидной химии;
- основы поиска, критического анализа и синтеза информации, системного подхода для решения поставленных задач в рамках дисциплины коллоидная химия;
- методы и способы обработки информации результатов химического эксперимента, результатов наблюдений и измерений;
- информационные источники справочного, научного, нормативного характера;
- основные современные методы получения дисперсных систем;
- методы и способы обработки информации результатов химического эксперимента, результатов наблюдений и измерений;
- цели и задачи коллоидной химии;
- основные этапы и закономерности развития коллоидной химии, её современное состояние;
- свойства дисперсных систем.

- уметь:

- применять и анализировать основы поиска, критического анализа и синтеза информации, системного подхода для решения поставленных задач;
- сопоставляет разные источники информации с целью выявления их противоречий и поиска достоверных суждений;
- решать задачи, используя принципы и методы коллоидной химии;
- использовать приемы и методы физико-химических измерений;
- обрабатывать, анализировать и обобщать результаты наблюдений и измерений, выявлять связь между физическими и химическими процессами, между строением и свойствами дисперсных систем.

- владеть:

- навыками анализа, применения основ поиска, критического анализа и синтеза информации, системного подхода для решения поставленных задач в рамках дисциплины физическая химия;
- навыками грамотно, логично, аргументированно формировать собственные суждения и оценки;

- навыками делать заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ по коллоидной химии;
- навыками делать заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ по коллоидной химии;
- навыками работы с лабораторным оборудованием и проводить эксперименты с соблюдением правил техники безопасности;
- основными методиками определения и изучения различных дисперсных систем, законами, лежащими в основе методов анализа.

1.5 Общая трудоемкость дисциплины «Коллоидная химия» составляет 3 зачетных единицы (далее – ЗЕ) (108 часов).

Программа предусматривает изучение материала на лекциях и лабораторных занятиях. Предусмотрена самостоятельная работа студентов по темам и разделам. Проверка знаний осуществляется фронтально, индивидуально.

1.6 Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Объем дисциплины и виды учебной деятельности (очная форма обучения)

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр 6
Общая трудоемкость	108	6
Аудиторные занятия	64	
Лекции	26	
Лабораторные работы	38	
Самостоятельная работа	44	
Вид итогового контроля:		Зачет

2 УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ

Учебно-тематический план

№	Наименование тем (разделов)	Всего часов	Аудиторные занятия		Самостоятельная работа
			Лекции	Лабораторные занятия	
I	**Введение**	**14**	**2**	**2**	**10**
1	Введение в коллоидную химию	5	1		4
2	Классификация дисперсных систем, строение мицелл	3	1		2
3	Лабораторная работа Поверхностное натяжение	6		2	4
II	**Методы получения и очистки дисперсных систем**	**14**	**4**	**4**	**6**
1	Получение и очистка дисперсных систем	4	2		2
2	Термодинамика образования дисперсных систем	4	2		2
3	Лабораторная работа Получение лиофобных коллоидных растворов и определение знака заряда коллоидных частиц	6		4	2
III	**Поверхностные явления и адсорбция**	**11**	**2**	**4**	**5**
1	Поверхностные явления	3	1		2
2	Адсорбция на поверхности раздела фаз	3	1		2
3	Лабораторная работа	5		4	1

	Адсорбция уксусной кислоты на поверхности активированного угля				
IV	**Свойства дисперсных систем**	**27**	**8**	**12**	**7**
1	Молекулярно-кинетические свойства	3	2		1
2	Оптические свойства дисперсных систем	3	2		1
3	Реологические свойства	3	2		1
4	Электрокинетические свойства дисперсных систем	3	2		1
5	Лабораторная работа Определение размеров частиц золя турбидиметрическим методом	5		4	1
6	Лабораторная работа Электрофорез	5		4	1
7	Лабораторная работа Определение вязкости коллоидных растворов	6		4	2
V	**Разрушение и устойчивость дисперсных систем**	**12**	**4**	**4**	**4**
1	Разрушение и устойчивость дисперсных систем	6	4		2
2	Лабораторная работа Разрушение и устойчивость дисперсных систем	6		4	2
VI	**Микрогетерогенные системы**	**12**	**2**	**4**	**6**
1	Суспензии. Эмульсии. Пены	5	2		3
2	Лабораторная работа Суспензии. Эмульсии. Пены	7		4	3
VII	**Высокомолекулярные вещества и их растворы. Гели (студни)**	**18**	**4**	**8**	**6**
1	Растворы высокомолекулярных соединений и их свойства	3	2		1
2	Гели (студни)	3	2		1
3	Лабораторная работа Определение критической концентрации мицеллообразования (ККМ) кондуктометрическим методом»	6		4	2
4	Лабораторная работа Определение молекулярной массы полимера вискозиметрическим методом. Исследование процесса набухания желатина в водных раствора	6		4	2
ИТОГО		**108**	**26**	**38**	**44**

Интерактивное обучение по дисциплине

№	**Наименование тем (разделов)**	**Вид занятия**	**Форма интерактивного занятия**	**Кол-во часов**
1.	Введение в коллоидную химию	ЛК	Лекция с ошибками	1
	Классификация дисперсных систем, строение мицелл	ЛК	Лекция с ошибками	1

2.	Получение и очистка дисперсных систем	ЛК	Лекция с ошибками	2
3.	Поверхностные явления	ЛК	Лекция-дискуссия	2
4.	Определение размеров частиц золя турбидиметрическим методом	ЛР	Работа в малых группах	2
5.	Оптические свойства дисперсных систем	ЛК	Лекция с ошибками	2
6.	Реологические свойства	ЛК	Лекция с ошибками	2
7.	Электрокинетические свойства дисперсных систем	ЛК	Лекция с ошибками	2
8.	Разрушение и устойчивость дисперсных систем	ЛР	Работа в малых группах	4
9.	Определение молекулярной массы полимера вискозиметрическим методом	ЛР	Работа в малых группах	2
10.	Растворы высокомолекулярных соединений и их свойства	ЛК	Лекция-беседа	2
ИТОГО				**22**

3 СОДЕРЖАНИЕ ТЕМ (РАЗДЕЛОВ)

I ВВЕДЕНИЕ

Введение в коллоидную химию

Предмет и содержание коллоидной химии. Взаимосвязь коллоидной химии с другими химическими дисциплинами, с физикой, биологией, геологией, медициной. Основные этапы развития коллоидной химии. Вклад в развитие науки русских и советских ученых: М.В. Ломоносова, Д.И. Менделеева, П.П. Веймарна, И.Г. Борщова, Н. П. Пескова, А. В. Думанского, А.Н. Фрумкина, П.А. Ребиндера, Ю.С. Липатова, В.А. Каргина. Роль коллоидной химии в химической промышленности производстве. Новые направления и объекты (наносистемы, микроэмульсии, биоколлоиды, тонкие пленки и др.), изучаемые коллоидной химией. Роль и место коллоидной химии в обучении химии в соответствии с требованиями ФГОС ОО.

Понятие о коллоидном состоянии. Основные характеристики дисперсных систем: дисперсная фаза, дисперсионная среда, степень дисперсности, удельная поверхность.

Признаки объектов коллоидной химии: гетерогенность и дисперсность.

Классификация дисперсных систем, строение мицелл

Классификация дисперсных систем в зависимости от степени дисперсности, агрегатного состояния фаз и кинетических свойств дисперсной фазы (свободнодисперсные и связнодисперсные системы), по топографическому признаку (корпускулярные, фибриллярные и ламинарные), по термодинамической устойчивости и характеру образования фаз (лиофобные и высокомолекулярные вещества).

Мицеллы. Строение мицелл: ядро, адсорбционный слой, диффузный слой, гранула, интермицеллярная жидкость. Мицеллярные формулы.

II МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ И ОЧИСТКИДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Получение и очистка дисперсных систем

Условия получения коллоидных систем.

Термодинамика образования дисперсных систем

Основы термодинамики дисперсных систем. Термодинамика гомогенного и гетерогенного образования коллоидных частиц при фазовых переходах. Образование частиц дисперсной фазы в процессах кристаллизации из растворов, конденсации пересыщенного пара, кипения. Методы регулирования размеров частиц в дисперсных системах. Роль ПАВ в процессах получения дисперсных систем. Использование эффекта Ребиндера для уменьшения работы диспергирования.

Дисперсионные методы получения дисперсных систем. Механическое раздробление

твердых тел. Ультразвуковой метод. Метод электрического распыления. Метод химического диспергирования: самопроизвольное диспергирование, посредственная и непосредственная пептизация.

Конденсационные методы. Методы физической конденсации: метод Рогинского-Шальникова, метод замены растворителя. Методы химической конденсации: метод окисления, метод восстановления, метод обменного разложения, метод гидролиза. Электрический метод.

Методы получения растворов высокомолекулярных веществ: полимеризация и поликонденсация.

Методы очистки: диализ, электродиализ и ультрафильтрация.

III ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЯВЛЕНИЯ И АДСОРБЦИЯ

Поверхностные явления

Поверхность раздела фаз. Свободная поверхностная энергия. Поверхностное натяжение. Поверхностная активность, ее изменение в гомологических рядах ПАВ. Правило Траубе-Дюкло. Адгезия, смачивание и растекание жидкостей. Смачивание и краевой угол. Механизм смачивания. Количественные характеристики когезии и адгезии.

Общая характеристика сорбционных процессов. Адсорбция как самопроизвольное концентрирование на поверхности раздела фаз веществ, снижающих межфазное натяжение. Поверхностно-активные и -инактивные вещества. Уравнение адсорбции Гиббса.

Адсорбция на поверхности раздела фаз. Изотермы адсорбции Фрейндлиха и Лэнгмюра. Правило уравнивания полярностей Ребиндера. Ионообменная адсорбция.

IV СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Молекулярно - кинетические свойства дисперсных систем. Броуновское движение и диффузия в дисперсных системах. Связь между средним сдвигом частиц и коэффициентом диффузии. Закон Эйнштейна-Смолуховского. Осмотическое давление. Мембранное равновесие Доннана. Седиментация. Седиментационный анализ.

Оптические свойства дисперсных систем. Оптическая неоднородность дисперсных систем. Явление рассеяния света. Эффект Фарадея-Тиндаля. Нефелометрия. Турбидиметрия. Ультрамикроскопия. Поглощение света и окраска золей. Оптическая анизотропия.

Реологические свойства дисперсных систем. Основные понятия и идеальные законы реологии. Идеально упругое тело Гука. Идеально пластическое тело Сен-Венона-Кулона. Идеально вязкое тело Ньютона. Моделирование реологических свойств тел (модель Максвелла, модель Кельвина-Фойгта, модель Бингама). Классификация дисперсных систем по структурно-механическим свойствам. Закон Ньютона. Уравнение Пуазейля. Вязкость, аномалии вязкости. Уравнение Эйнштейна. Уравнение Бингама.

Электрокинетические свойства дисперсных систем. Основы теории строения двойного электрического слоя (ДЭС). Строение ДЭС по Гельмгольцу, Гуи и Штерну. Электрокинетический потенциал. Зависимость значения электрокинетического потенцииала от различных факторов. Изоэлектрическое состояние. Открытие электрических явлений. Электрофорез. Электроосмос. Потенциал течения и оседания.

V РАЗРУШЕНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Разрушение и устойчивость дисперсных систем

Кинетическая и агрегативная устойчивость. Термодинамические и кинетические факторы устойчивости дисперсных систем. Теории устойчивости и коагуляции. Адсорбционная теория коагуляции Фрейндлиха. Электростатическая теория коагуляции Мюллера. Теория ДЛФО.

Коагуляция. Кинетика быстрой и медленной коагуляции. Коагуляция под действием электролитов. Порог коагуляции. Критический потенциал. Правило значности (правило Шульце-Гарди). Концентрационная и нейтрализационная коагуляция. Перезарядка золей. Коагуляция смесью электролитов. Явление синергизма, антогонизма и аддитивности. Явление привыкания золей. Коллоидная защита. Взаимная коагуляция коллоидных растворов.

VI МИКРОГЕТЕРОГЕННЫЕ СИСТЕМЫ

Суспензии. Общая характеристика. Классификация суспензий. Высококонцентрированные суспензии (пасты). Методы получения. Механизм стабилизации. Стабилизаторы. Флотация, фильтрация и кольматация. Значение в геологических и почвенных процессах.

Эмульсии и эмульсионные пленки. Общая характеристика. Классификация эмульсий и эмульгаторов. Методы определения типа эмульсии. Жидкие и твердые эмульгаторы. Обращение фаз эмульсии. Теория эмульгирования. Деэмульгирование. Практическое значение.

Пены и пенные пленки. Общая характеристика. Твердые пены. Строение пенной пленки. Кратность и время жизни пен. Причины устойчивости пен. Методы получения. Пенообразователи. Теория пенообразования. Практическое значение пен. Пенная флотация.

Аэрозоли. Общая характеристика. Классификация аэрозолей. Методы получения и разрушения аэрозолей. Особые свойства аэрозолей: термофорез, фотофорез, термопреципитация. Практическое значение аэрозолей.

Порошки. Общая характеристика. Классификация порошков. Способы получения. Свойства порошков: насыпная плотность, слипаемость, сыпучесть (текучесть), гигроскопичносность, смачиваемость, абразивность, удельное электрическое сопротивление, горючесть, взрываемость. Практическое значение.

Поверхностно-активные вещества (ПАВ). Классификация и общая характеристика. Мицеллярные растворы. Критическая концентрация мицеллообразования (ККМ). Солюбилизация. Применение ПАВ.

Синтетические моющие средства (СМС). Моющее действие. Микрокапсулирование. Теория моющего действия. Механизм действия СМС. Состав СМС. Микрокапсулирование. Значение.

VII ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ ВЕЩЕСТВА И ИХ РАСТВОРЫ. ГЕЛИ (СТУДНИ)

Растворы высокомолекулярных соединений и их свойства

Общая характеристика высокомолекулярных веществ (ВМВ). Классификация ВМВ. Свойства ВМВ. Структура и гибкость макромолекул. Природа растворов ВМВ. Набухание и растворение ВМВ. Ограниченное и неограниченное набухание. Степень набухания. Контракция. Давление набухания.

Свойства разбавленных растворов полимеров. Вязкость разбавленных растворов. Приведенная и характеристическая вязкость. Связь характеристической вязкости со средними размерами макромолекул. Вискозиметрический метод определения средневязкостной молекулярной массы полимеров. Уравнение Штаудингера. Осмотическое давление растворов ВМВ. Уравнение Галлера.

Нарушение устойчивости растворов ВМВ. Высаливание. Коацервация.

Растворы полиэлектролитов. Поликислоты, полиоснования, полиамфолиты. Белки как пример амфотерных полиэлектролитов. Свойства растворовполиэлектролитов. Применение полиэлектролитов.

Гели (студни). Общая характеристика. Классификация гелей. Теория строения. Механические свойства гелей. Методы получения. Желатинирование. Факторы, влияющие на процесс желатинирования. Набухание гелей. Факторы, влияющие на набухание. Явление набухания в природе. Тикстропия. Синерезис. Диффузия и электропроводность в студнях. Химические реакции в студнях.

СПИСОК ОСНОВНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Практикум по коллоидной химии: учеб. пособие для студ. (бакалавров, преподавателей) технических спец. вузов / под ред. Гельфмана М.И. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2005. – 256 с. : ил. (20 экз).

2. Новикова, Е. В. Коллоидная химия: учебное пособие / Е. В. Новикова, Н. А. Родионова. –

Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2008. – 92 с.

3. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия : учебник для студ. вузов / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина ; МГУ им. М. В. Ломоносова. - 4-е изд., испр. - М. : Высш. шк., 2006. - 443, [1] с. : ил. - (Классический университетский учебник). (10 экз.)

4 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ (УКАЗАНИЯ) ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Рабочая программа дисциплины призвана помочь студентам в организации самостоятельной работы по освоению курса коллоидной химии. Целью курса «Коллоидная химия» является знакомство студентов с основами науки, изучающей поверхностные явления и вещества в коллоидном состоянии. Именно поверхностные явления определяют характерные свойства дисперсных систем и пути управления этими свойствами. Коллоидная химия – своеобразная пограничная область знания, которая складывается во взаимодействии химии, физики, биологии и других наук. Тесные контакты коллоидной химии со смежными дисциплинами способствовали обогащению ее экспериментальной базы.

В связи с этим главное внимание уделяется рассмотрению таких вопросов, как свойства поверхности раздела фаз и поверхностные явления; пути и условия образования дисперсных систем, их молекулярно-кинетические, оптические и электрические свойства; устойчивость и разрушение дисперсных систем; развитие в них пространственных дисперсных структур со своеобразными реологическими свойствами; управление свойствами дисперсных систем; коллоидно-химические основы охраны окружающей среды.

Большая часть теоретических вопросов представлена в описании лабораторного-практикума, что позволит студенту ознакомиться с сущностью вопросов, обсуждаемых на лабораторном занятии. В разделе «Практикум по дисциплине» подробно описаны лабораторные работы. Экспериментальная часть включает теоретические основы каждой работы, методики выполнения и обработки экспериментальных данных, требования к отчету. Каждая лабораторная работа завершается контрольными вопросами. В разделе «Дидактические материалы для контроля (самоконтроля) усвоеного материала» приведена часть задач, выполнение которых предусмотрено самостоятельно.

Для успешного выполнения задания студентам необходимо предварительно ознакомиться с содержанием соответствующего раздела. При подготовке к занятиям необходимо изучить рекомендуемую литературу. Общий список литературы представлен в отдельном разделе. Приступая к лабораторной работе, внимательно прочесть теоретические положения и ход работы, затем выполнить эксперимент и результаты занести в рабочий журнал. Оформление лабораторных работ предусматривает краткое описание лабораторных опытов, оборудования, написание уравнений реакций и формул мицелл, составление отчета о работе. Студент представляет результаты лабораторной работы в виде таблиц, уравнений и графиков.

Повышению эффективности изучения данного курса способствуют представленные в программе вопросы к коллоквиуму, темы рефератов по актуальным вопросам коллоидной химии, а также варианты контрольной работы (по указанию преподавателя).

Изучение курса завершается зачетом, вопросы к которому предложены в данном рабочей программе.

Рабочая программа дисциплины «Коллоидная химия» ориентирована на оптимизацию методов изучения, совершенствование методик проведения практической и научно-исследовательской работы, поскольку именно эти виды учебной работы студентов в первую очередь готовят их к самостоятельному выполнению профессиональных задач.

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов по дисциплине

№	Наименование раздела (темы)	Формы/виды самостоятельной работы	Количество часов, в соответствии с учебно-тематическим

			планом
1.	Введение	Изучение основной литературы Изучение дополнительной литературы Конспектирование изученных источников	10
2.	Методы получения и очистки дисперсных систем	Изучение основной литературы Изучение дополнительной литературы Оформление лабораторной работы Подготовка отчета по лабораторной работе Решение расчетных задач	6
3.	Поверхностные явления и адсорбция	Изучение основной литературы Изучение дополнительной литературы Оформление лабораторной работы Подготовка отчета по лабораторной работе Решение расчетных задач	5
4.	Свойства дисперсных систем	Изучение основной литературы Изучение дополнительной литературы Оформление лабораторной работы Подготовка отчета по лабораторной работе Решение расчетных задач	7
5.	Разрушение и устойчивость дисперсных систем	Изучение основной литературы Изучение дополнительной литературы Оформление лабораторной работы Подготовка отчета по лабораторной работе	4
6.	Микрогетерогенные системы	Изучение основной литературы Изучение дополнительной литературы Конспектирование изученных источников Подготовка рефератов и презентаций Оформление лабораторной работы	6
7.	Высокомолекулярные вещества и их растворы. Гели (студни)	Изучение основной литературы Изучение дополнительной литературы Оформление лабораторной работы	6
	ИТОГО		44

5 ПРАКТИКУМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

План лабораторных занятий

№ п/п	Тема лабораторной работы	Всего часов
1.	Поверхностное натяжение	2
2.	Получение лиофобных коллоидных растворов и определение знака заряда коллоидных частиц	4
3.	Адсорбция уксусной кислоты на поверхности активированного угля	4
4.	Определение размеров частиц золя турбидиметрическим методом	4
5.	Электрофорез	4
6.	Определение вязкости коллоидных растворов	4
7.	Разрушение и устойчивость дисперсных систем	4
8.	Суспензии. Эмульсии. Пены	4
9.	Определение критической концентрации мицеллообразования (ККМ) кондуктометрическим методом	4
10.	Определение молекулярной массы полимера	4

	вискозиметрическим методом. Исследование процесса набухания желатина в водных растворах	
		38

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 (4 часа)
ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ

Поверхностное натяжение (σ) возникает на границе раздела фаз. Молекулы, находящиеся в поверхностном слое, отличаются от молекул внутри фазы по своему энергетическому состоянию. Молекула внутри фазы окружена себе подобными, и силы межмолекулярного взаимодействия в этом случае скомпенсированы. Когда же молекула находится в поверхностном слое, она вступает в межмолекулярные взаимодействия с молекулами различных фаз, возникает результирующая сила Р, направленная в сторону той фазы, в которой силы межмолекулярного взаимодействия больше. Величину Рчасто называют внутренним давлением. Чтобы переместить молекулу из объема фазы на поверхность, т.е. увеличить поверхность жидкости, надо совершить работу против внутреннего давления. Работа (в Дж), необходимая для увеличения поверхности жидкости на 1 м^2, служит мерой поверхностной энергии и называется коэффициентом поверхностного натяжения или поверхностным натяжением.

Поверхностное натяжение можно рассматривать как работу образования единицы поверхности, а также как силу, которая действует на поверхность, и стремится сократить эту поверхность до минимума.

В зависимости от определения поверхностное натяжение измеряется или в джоулях на квадратный метр, или в ньютонах на метр. Оба измерения численно совпадают.

$$[\sigma] = \text{Дж/м}^2 = \text{Н/м}$$

Поверхностное натяжение пропорционально внутреннему давлению и, следовательно, чем сильнее межмолекулярные взаимодействия, тем выше поверхностное натяжение.

Под влиянием поверхностного натяжения жидкость при отсутствии внешних сил всегда стремится принять форму шара, так как поверхность шара – это наименьшая поверхность, ограничивающая объем, и, следовательно, поверхностная энергия системы при этом будет минимальной.

Поверхностное натяжение – основная термодинамическая характеристика поверхностного слоя жидкости на границе с газовой фазой или другой жидкостью. Поверхностное натяжение различных жидкостей на границе с собственным паром изменяется в широких пределах.

Поверхностное натяжение непосредственно можно измерить только в условиях обратимого изменения поверхности раздела фаз, т.е. при достаточной подвижности этой поверхности, например, на границах жидкость-пар или жидкость-жидкость при невысокой вязкости жидкостей.

Опыт 1. Измерение поверхностного натяжения по методу отрывающейся капли

Цель работы. Ознакомление с измерением поверхностного натяжения методом взвешивания отрывающейся капли.

Краткие теоретические положения. Принцип метода заключается в определении массы капли, вытекающей из капилляра, в момент ее отрыва.

В момент отрыва капли от нижнего конца капилляра вес капли (a) уравновешивается силой (F), которая действует вдоль окружности шейки капли и препятствует ее отрыву, т.е. $a = F$.

$$a = F = 2\pi r\sigma = K\sigma, \quad (1.1)$$

где $K = 2\pi r$ – величина постоянная для данного прибора.

Можно считать, что в момент отрыва капли вес ее уравновешивается поверхностным натяжением. Тогда задача опыта сводится к определению веса капли. Если объем вы-

текающей жидкости равен V,число капель жидкости в объеме V равно n, плотность жидкости ρ, ускорение свободного падения g, то вес одной капли вычисляют по формуле:

$$a = \frac{V\rho g}{n} .(1.2)$$

Тогда $K\sigma = \frac{V\rho g}{n}$.

Отсюда $\sigma = \frac{V\rho g}{nK} .(1.3)$

Для воды, вытекающей из этого же капилляра и в таком же объеме,

$$\sigma_0 = \frac{V\rho_0 g}{n_0 K} ,(1.4)$$

где σ_0 – поверхностное натяжение воды при данной температуре (см. Приложение), ρ_0 – плотность воды; n_0 – число капель.

Разделив уравнение (1.3) на уравнение (1.4), получим:

$$\frac{\sigma}{\sigma_0} = \frac{\rho n_0}{\rho_0 n} . (1.5)$$

Отсюда поверхностное натяжение исследуемой жидкости равно:

$$\sigma = \sigma_0 \cdot \frac{\rho n_0}{\rho_0 n} . (1.6)$$

Приближенное измерение поверхностного натяжения жидкости может быть проведено при помощи прибора, который называется сталагмометр (рис. 1.1).

Сталагмометр состоит из трубки, имеющей расширение 1; выше и ниже расширения находятся начальная и конечная метки А и Б. Через капиллярное отверстие 2 вытекает жидкость в виде капель.

Приборы и реактивы. Сталагмометр; штатив с лапкой; пять стаканов на 100 мл; 1 М растворы спиртов.

Порядок выполнения работы. Сталагмометр укрепляют в штативе в вертикальном положении и засасывают жидкость так, чтобы она стояла выше верхней метки (при этом в трубке не должно быть пузырьков воздуха), затем дают жидкости вытекать из капилляра. Когда уровень жидкости точно совпадет с верхней меткой, начинают счет капель; прекращают счет капель тогда, когда уровень жидкости дойдет до нижней метки. Опыт повторяют несколько раз и берут среднюю величину из наблюдаемых отсчетов (расхождение между отдельными измерениями должно быть не более 1–2 капель).

Определяют указанным методом число капель воды, образующихся при истечении из объема V, азатем число капель n исследуемых растворов из этого же объема. Поверхностное натяжение вычисляют по формуле (1.6).

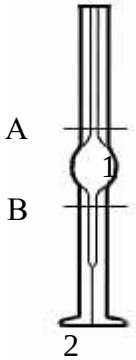


Рис. 1.1. Сталагмометр:

1 – расширение;
2 – отверстие капилляра;
А, В – метки.

Таблица 1.1

Исходные данные и результаты эксперимента

п/п	Спирт	Концентрация	Поверхностное натяжение,

			Дж/м^2 или Н/м
1. 2. 3. 4.	Этанол Бутанол-1 Бутанол-2 Пентанол-2		

Для наблюдения изменения поверхностного натяжения в гомологическом ряду веществ с удлинением углеродной цепи определяют поверхностное натяжение различных растворов; данные вносят в таблицу 1.1.

Опыт 2. Определение зависимости величины поверхностного натяжения жидкости от температуры

Цель работы. Наблюдение влияния температуры на изменение поверхностного натяжения.

Краткие теоретические положения. Величина поверхностного натяжения зависит не только от природы жидкости, но также и от температуры. С повышением температуры поверхностное натяжение уменьшается. Наблюдать эту зависимость удобно при помощи прибора Ребиндера (рис. 1.2).

Прибор состоит из стеклянного сосуда, соединенного боковой трубкой с манометром и аспиратором. Стеклянный сосуд плотно закрывают пробкой, через которую проходит стеклянная трубка с капиллярным концом. Для нагревания жидкости в сосуде до желаемой температуры его погружают в большой стакан с водой (на рисунке не показано), в котором поддерживают требуемую температуру.

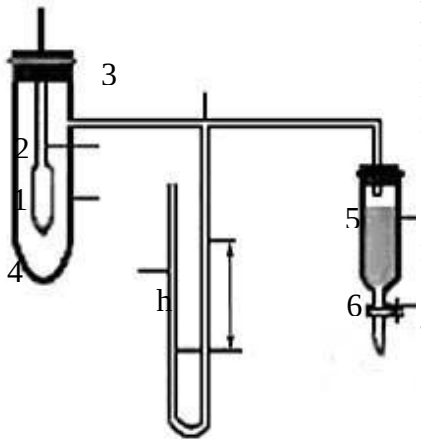


Рис. 1.2. Прибор для измерения поверхностного натяжения по методу Ребиндера:

1 – сосуд;
2 – трубка с капиллярным концом;
3 – боковая трубка;
4 – манометр;
5–аспиратор;
6 – кран.

Измерение поверхностного натяжения по методу П. А. Ребиндера основано на том, что в исследуемую жидкость опускают трубку с капиллярным кончиком, через который продувают воздух.

Измеряют давление *P,* при котором из нижнего конца трубки отделяются пузырьки воздуха. Чем больше поверхностное натяжение испытуемой жидкости, тем большее давление требуется для отделения пузырька воздуха.

Таким образом,

$\sigma = KP$, (1.7)

где σ – величина поверхностного натяжения; *K* – постоянная прибора. Давление в момент отрыва пузырька измеряют манометром.

Чтобы определить константу капилляра, в качестве испытуемой жидкости берут сначала жидкость, поверхностное натяжение которой известно, например дистиллированную воду. Если измерить при этом максимальное давление P_0 в момент отрыва пузырька, то константа прибора будет равна:

$$K = \frac{\sigma_0}{P_0}. (1.8)$$

Вычислив константу, находят величину поверхностного натяжения испытуемой жидкости при различных температурах.

Приборы и реактивы. Аспиратор для создания вакуума; широкая пробирка с боковым отростком и пробкой; спиртовой манометр со шкалой; стакан на 800-1000 мл; стакан на 400-500 мл; термометр; штатив с широкой лапкой для подвешивания аспиратора.

Порядок выполнения работы. Аспиратор наполняют водой и под него подставляют стакан. В начале опыта жидкость в обоих коленах манометра должна находиться на одинаковом уровне. В сосуд 1 наливают дистиллированную воду, вставляют пробку 3 и устанавливают трубку 2 так, чтобы капиллярный конец ее оказался незначительно ниже поверхности воды в сосуде. После этого открывают кран 6 аспиратора настолько, чтобы через капилляр трубки 2 пузырьки воздуха вырывались один за другим со скоростью, допускающей их подсчет. Установив определенную частоту образования пузырьков, производят по манометру не менее трех отсчетов максимальной разности уровней. Выводят среднюю величину из этих отсчетов (P_0). Закрывают кран и проверяют температуру в стакане с нагреваемой водой. Находят в таблице 2 (Приложение) величину поверхностного натяжения воды, соответствующую температуре опыта. По формуле (1.8) вычисляют постоянную K капилляра трубки 2 для данного прибора.

Выливают воду из сосуда 1, высушивают его и трубку 2; наливают в сосуд вместо воды исследуемую жидкость, предварительно ополоснув ею сосуд 1 и трубку 2. Подставляют стакан с горячей водой так, чтобы сосуд 1 был погружен в него на половину своей высоты. Нагревают жидкость в сосуде до нужной температуры, размешивая в нем воду мешалкой. Приводят в действие аспиратор, измеряют разность уровней h в манометре, как и для дистиллированной воды, и, подставив значение K, вычисляют по формуле (1.7) величину поверхностного натяжения для исследуемой жидкости при данной температуре. Опыт повторяют при температуре 30, 40, 60 и 80°С.

Наосновании полученных результатов строят график, откладывая на оси абсцисс значения температуры и на оси ординат – величину поверхностного натяжения.

Форма отчета. Отчет должен содержать название, цель работы, описание хода работы, схемы приборов, расчеты, таблицу, график зависимости величины поверхностного натяжения жидкости от температуры, вывод.

Контрольные вопросы

1. Что такое поверхностное натяжение, в каких единицах оно измеряется?
2. Каковы причины возникновения поверхностного натяжения?
3. На чем основано определение поверхностного натяжения по методу взвешивания отрывающейся капли и сталагмометрическим методом?
4. Для чего необходима стандартная жидкость при определении поверхностного натяжения по методу взвешивания отрывающейся капли?
5. Какая имеется зависимость между поверхностным натяжением и длиной углеродной цепи?
6. Как и почему поверхностное натяжение зависит от температуры?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 (4 часа)
ПОЛУЧЕНИЕ ЛИОФОБНЫХ КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАКА ЗАРЯДА КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ

Коллоидные растворы могут быть получены двумя методами: а) диспергированием (от лат. dispergere – рассеивать), или раздроблением крупных частиц на более мелкие; б) путем агрегации молекул или ионов (от лат. aggregere – присоединять) в более крупные частицы.

Методы получения коллоидов, основанные на раздроблении, получили название дисперсионных методов. Методы, связанные с агрегацией молекул или ионов в более крупные частицы, называются конденсационными.

Получение коллоидных растворов (золей) путем диспергирования осуществляется механическими методами измельчения твердого вещества (в шаровых и коллоидных мельницах), с помощью ультразвука, а также методами химического диспергирования

(самопроизвольным диспергированием и пептизацией).

Конденсационные методы получения дисперсных систем:

1. Физическая конденсация – конденсация молекул одного вещества (будущей дисперсной фазы) в другой (будущей дисперсионной среде).

2. Химическая конденсация – получение коллоидных систем с помощью химических реакций.

3. Электрический метод.

Условия получения коллоидных растворов:

1. Дисперсная фаза должна обладать малой растворимостью в дисперсионной среде; между частицами и средой должно существовать взаимодействие, препятствующее связыванию частиц друг с другом.

2. Реакцию необходимо вести в разбавленном растворе, чтобы скорость роста кристаллических частиц была невелика, тогда частицы получаются мелкие (10^{-7}-10^{-9} м) и система будет седиментационно устойчива.

3. Для получения устойчивой коллоидной системы необходимо присутствие веществ, которые, адсорбируясь на поверхности коллоидных частиц, обеспечивают интенсивное взаимодействие между поверхностью частиц и окружающей их средой. Вещества, обусловливающие устойчивость коллоидных растворов, называются стабилизаторами. Устойчивость коллоидных систем может быть достигнута, если одно из реагирующих веществ взято в избытке.

Опыт 1. Получение коллоидных растворов методами конденсации

Цель работы. Освоение методики получения золей методами конденсации. Построение мицеллярных формул полученных золей.

Краткие теоретические положения. Одним из примеров физической конденсации может быть метод замены растворителя: молекулярный раствор какого-либо вещества постепенно, при перемешивании прибавляют к жидкости, в которой это вещество нерастворимо. При этом происходит конденсация молекул и образование коллоидных частиц. Например, сера или канифоль растворяется в этиловом спирте, образуя истинный раствор. В воде сера и канифоль практически нерастворимы, поэтому при добавлении воды к их спиртовому раствору молекулы конденсируются в более крупные агрегаты.

Коллоидные растворы могут быть получены с помощью реакций различных типов: обмена, окисления, восстановления, гидролиза и других.

Например, реакция взаимодействия нитрата серебра и иодида калия:

$$AgNO_3 + KI = AgI + KNO_3$$

AgI практически не растворим в воде. В разбавленных растворах образуется золь иодида серебра.

Заряд коллоида определяют тем ионом, который в начале образования коллоида имелся в избытке. Следовательно, используя избыток одного из реагентов, можно получить частицы золя AgI с различным знаком заряда. При избытке $AgNO_3$ образующаяся коллоидная частица AgI приобретает положительный заряд, так как в данном случае адсорбируется избирательно ион Ag^+; подобным же образом можно получить и отрицательно заряженные частицы при избытке KI.

При избытке $AgNO_3$ ядро частицы, состоящее из большого числа молекул AgI, адсорбирует ионы Ag^+. Мицеллярная формула выглядит следующим образом:

$$\{[AgI]_m\ n\ Ag^+\ (n\text{-}x)\ NO_3^-\}^{x+}\ x\ NO_3^-.$$

При избытке KI формула мицеллы принимает вид:

$$\{[AgI]_m\ n\ I^-\ (n\text{-}x)\ K^+\}^{x-}\ x\ K^+.$$

Знак заряда коллоидных частиц в окрашенных золях можно определить методом капиллярного анализа. Метод основан на том, что целлюлозные стенки капилляров фильтро-

вальной бумаги заряжаются отрицательно, а пропитывающая бумагу вода положительно. Если на листок бумаги нанести каплю исследуемого золя, то частицы, заряженные положительно, адсорбируются на стенках капилляров, поэтому золь с положительными частицами дает окрашенное в центре и бесцветное по краям пятно. Золь с отрицательно заряженными частицами, не адсорбирующимися на стенках капилляров, образует равномерно окрашенное пятно.

Приборы и реактивы. Электрическая плитка; пипетки на 2 мл; стаканы на 100 мл; мерный цилиндр на 100 мл; воронки для фильтрования; бумажный фильтр; водные растворы 0.5 М $K_4[Fe(CN)_6]$, 0.1 М $FeC1_3$, насыщенный раствор $FeC1_3$, 2% раствор канифоли в этиловом спирте, насыщенный раствор серы в этиловом спирте.

Порядок выполнения работы. Все опыты проводят, используя только тщательно вымытую посуду. Полученные золи сохраняют до конца работы и выливают только с разрешения преподавателя.

1. Получение золя канифоли.

К 20 мл воды добавляют при взбалтывании 10-15 капель 2%-ного раствора канифоли в этаноле. Образуется золь канифоли в воде с отрицательно заряженными коллоидными частицами.

2. Получение золя серы.

К 20 мл воды добавляют при взбалтывании 1 мл насыщенного (без нагревания) раствора серы в этиловом спирте. Образуется голубовато-белый золь серы в воде с отрицательно заряженными коллоидными частицами.

3. Получение золя гидроксида железа(III).

К 50 мл кипящей воды прибавляют 2-3 капли насыщенного раствора $FeC1_3$. При этом энергично протекает гидролиз хлорида железа, и появляющиеся молекулы гидроксида железа конденсируются в коллоидные частицы. Получают коллоидный раствор гидроксида железа(III) интенсивного красно-коричневого цвета.

4. Получение золя берлинской лазури.

а) 0.5 мл 0.5 М раствора $K_4[Fe(CN)_6]$ разбавляют водой до 100 мл. К разбавленному раствору добавляют 1 каплю 0.1 М $FeC1_3$. Образуется прозрачный синего цвета золь берлинской лазури. От двух капель раствора $FeC1_3$ золь еще больше синеет.

б) 0.1 мл насыщенного раствора $FeC1_3$ разбавляют водой до 100 мл. В разбавленный раствор вводят при взбалтывании 1 каплю 0.5 М раствора $K_4[Fe(CN)_6]$. Образуется золь берлинской лазури синего цвета.

Для полученных золей определить знак заряда коллоидных частиц капиллярным методом.

Опыт 2. Получение коллоидных растворов методом диспергирования

Цель работы. Освоение методики получения золей диспергированием (методом пептизации). Построение мицеллярных формул полученных золей.

Краткие теоретические положения. Пептизацией называется процесс получения золей из студней или рыхлых осадков при действии на них веществ, способных хорошо адсорбироваться на поверхности дисперсных частиц и сообщать им способность перехода в золь.

Пептизация делится на непосредственную и посредственную в зависимости от того, что адсорбируется на поверхности частиц перед их разделением: прибавленное вещество (пептизатор), или продукт его взаимодействия с веществом частиц.

Например, пептизация оловянной кислоты. В водных растворах хлорид олова гидролизуется:

$$SnC1_4+4H_2O = 4HCl+Sn(OH)_4,$$
$$Sn(OH)_4 = H_2SnO_3\downarrow+H_2O.$$

Осадок H_2SnO_3 под влиянием щелочей или кислот (пептизаторов) способен переходить в коллоидный раствор. Характерной особенностью пептизации является то, что количество пептизатора во много раз меньше (нередко в 1000 раз) количества пептизируемого вещества.

При добавлении NaOH к H_2SnO_3 образуется станнат натрия:

$$H_2SnO_3 + 2NaOH = Na_2SnO_3 + 2H_2O.$$

В растворе Na_2SnO_3 диссоциирует, образуя отрицательно заряженный ион SnO_3^{2-}, который, адсорбируясь, сообщает агрегату (H_2SnO_3) отрицательный заряд – возникают мицеллы, осадок переходит в золь.

Под действием кислот пептизация оловянной кислоты может протекать следующим образом:

$$H_2SnO_3 + 2HC1 = SnOCl_2 + 2H_2O,$$

$$n\ SnOCl_2 \rightleftarrows n\ SnO^{2+} + 2nC1^{-}.$$

Приборы и реактивы. Электрическая плитка; пипетки; стаканы 100 мл; воронки для фильтрования; бумажный фильтр; водные растворы 1 М $SnCl_4$, 1 М NaOH, 0.1 М HCl, 0.1 М $AgNO_3$.

Порядок выполнения работы.

Получение золя оловянной кислоты методом пептизации.

К 50 мл кипящей воды добавляют по каплям раствор 1 М $SnCl_4$. Образуется осадок. Осадок промывают декантацией горячей дистиллированной водой до исчезновения реакции на ион Cl^- (проверяют реакцией с раствором $AgNO_3$). К промытому осадку добавляют несколько капель NaOH или HCl, сильно разбавляют водой и взбалтывают; образуется золь оловянной кислоты.

Форма отчета. Отчет должен содержать уравнения химических реакций, формулы мицелл получаемых золей, знак заряда коллоидных частиц, вывод.

Отчет о работе

Опыт 1. Получение коллоидных растворов методами конденсации.	
1. Получение золя канифоли.	
метод получения:	
окраска золя:	
устойчивость:	
знак заряда коллоидных частиц:	
2. Получение золя серы.	
метод получения:	
окраска золя:	
устойчивость:	
знак заряда коллоидных частиц:	
3. Получение золя гидроксида железа(III).	
метод получения:	
уравнение реакции:	
строение мицеллы:	
окраска золя	
знак заряда коллоидных частиц:	
4. Получение золя берлинской лазури.	
а) метод получе-	

ния:	
уравнение реакции:	
строение мицеллы:	
окраска золя:	
знак заряда коллоидных частиц:	
б) метод получения:	
уравнение реакции:	
строение мицеллы:	
окраска золя:	
знак заряда коллоидных частиц:	
Опыт 2. Получение коллоидных растворов методом диспергирования Получение золя оловянной кислоты	
метод получения:	
уравнение реакции:	
строение мицеллы:	
пептизатор:	
окраска золя:	
знак заряда коллоидных частиц:	

Вывод:

Контрольные вопросы

1. Какие методы получения коллоидных растворов известны? _____

2. Какие золи в данной работе получены методами:
а) замены растворителя _____;
б) восстановления_____;
в) гидролиза _____;
г) пептизации _____?

3. Каковы условия получения устойчивых золей _____
_____
_____?

4. Способы очистки дисперсных систем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3 (4 часа).
АДСОРБЦИЯ УКСУСНОЙ КИСЛОТЫ НА ПОВЕРХНОСТИ АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ

Теоретическая часть. Тела с очень большой поверхностью при соприкосновении с газообразной или жидкой фазой способны поглощать часть газообразного вещества или

вещества, растворенного в жидкости. Поглощение не всегда имеет одинаковый характер. Так, поглощаемое вещество может диффундировать внутрь поглотителя, как бы растворяясь в нем, или же поглощение может происходить исключительно на поверхности поглотителя.

Явление поглощения одним веществом других веществ называется сорбцией. Сорбция, происходящая только па поверхности тела, называется адсорбцией в отличие от поглощения в толще поглотителя, называемого абсорбцией.

Сорбция связана и с конденсацией газа в капиллярах пористых поглотителей; в этом случае говорят о капиллярной конденсации.

Адсорбция зависит от поглотителя и поглощаемого вещества, от температуры и давления газа или концентрации растворов.

Зависимость адсорбции от давления газа (его концентрации) или содержания адсорбируемого вещества в растворе при данной температуре выражается уравнением изотермы адсорбции Лэнгмюра:

$$\Gamma = \Gamma_\infty \frac{C}{K + C},$$

где Г и Γ_∞ – количества (моль) адсорбированного вещества на 1 $м^2$ поверхности адсорбента (Г – в момент адсорбционного равновесия, Γ_∞ – максимально возможная); С – молярная концентрация раствора адсорбируемого вещества в момент адсорбционного равновесия (равновесная концентрация).

При адсорбции из газовой среды величина С заменяется пропорциональной ей величиной давления:

$$P = K \cdot C,$$

где К – константа, зависящая от химической природы и физического состояния адсорбента и адсорбируемого вещества.

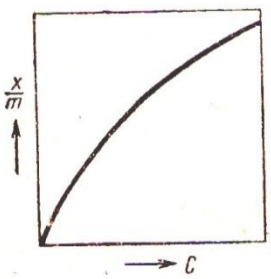
В сравнительно широких пределах концентрации зависимость адсорбции от концентрации (или давления) выражается довольно простым эмпирическим уравнением Фрейндлиха:

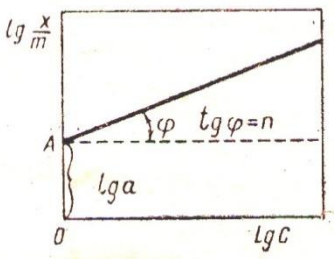
$$\frac{x}{m} = \alpha C^n,$$

где x – количество растворенного вещества, адсорбированного массой т поглотителя и находящегося в равновесии с раствором концентрации С; α и n – константы, характерные для данного процесса адсорбции в определенных пределах, причем n < 1.

Адсорбированное количество вещества нужно было бы относить не к единице массы, а к единице поверхности, но для мелкораздробленных веществ и однородных суспензий (например, взмученный животный уголь) эта поверхность растет пропорционально общей массе.

Если на оси ординат отложить соответствующие значения $\frac{x}{m}$, а па оси абсцисс – С, то получится кривая, изображенная на рисунке 1а. Сначала эта кривая идет почти прямолинейно, так как для очень слабых концентраций величина $\frac{x}{m}$ прямо пропорциональна С, т. е. здесь n = 1. При высоких концентрациях достигается предельное значение $\frac{x}{m}$, т. е. полное насыщение.





а б

Рисунок 1 – а) изотерма адсорбции;
б) логарифмическая изотерма адсорбции

Это наблюдается, когда вся адсорбирующая поверхность покрыта адсорбируемым веществом; в этом случае n = 0. Между этими двумя предельными случаями имеется постепенный переход в области промежуточных концентраций, для которых величина n остается приблизительно постоянной.

Если прологарифмировать уравнение Фрейндлиха, то оно примет вид:

$$\lg \frac{x}{m} = \lg a + n \lg C .$$

Полученное уравнение есть уравнение прямой линии (рисунок 1б). По оси ординат откладывают величины $\lg \frac{x}{m}$, а по оси абсцисс – $\lg C$. Отрезок ОА дает величину $\lg a$.

К адсорбентам (поглотителям) можно отнести уголь, силикагель, глину, коалин, целлюлозу, фильтровальную бумагу, хлопчатобумажную ткань, натуральный шелк, шерсть и другие материалы.

Вещества в очень раздробленном состоянии (коллоидное состояние) обладают значительной адсорбционной способностью вследствие большой поверхности. Адсорбция зависит от природы как адсорбента (поглотителя), так и адсорбируемого вещества вследствие ее избирательности, т. е. из смеси различных веществ адсорбируется преимущественно наиболее поверхностно-активное вещество.

При фильтрации раствора смеси веществ через колонну адсорбента растворимые вещества адсорбируются послойно. На различной адсорбируемости (избирательной адсорбции) и основан так называемый хрома-тографический метод анализа М. С. Цвета. Адсорбируются не только молекулы, но также ионы и коллоидные частицы. Особенно хорошо адсорбируются ионы органических веществ, например красителей. Так, основные красители (метиловый синий и др.) диссоциируют:

$ROH \leftrightarrow R^+ + OH^-$,

а кислые красители (эозин, фуксин) диссоциируют:

$RH \leftrightarrow R^- + H^+$.

Цель работы. Наблюдать адсорбцию на границе жидкой и твердой фаз. Построить изотерму адсорбции. Найти значения α и n в уравнении Фрейндлиха.

Приборы и реактивы. Шесть колб на 250 мл с корковыми пробками; шесть конических колб на 150 мл; пипетка на 50 мл; пипетка на 25 мл; пипетка на 10 мл; пипетка на 5 мл; бюретка на 50 мл с делениями в 0,1 мл; шесть воронок для фильтрования; фильтровальная бумага; активированный уголь; растворы 2 М CH_3COOH; 0,1 М NaOH, фенолфталеин.

Порядок выполнения работы.

Разбавлением 2 М раствора уксусной кислоты готовят в шести колбах растворы примерно следующих концентраций и в количествах, указанных в таблице:

Номер колбы	1	2	3	4	5	6
Количество раствора, мл	150	150	150	125	110	105
Концентрация, моль/л	0,012	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4

Точное содержание уксусной кислоты определяют титрованием 0,1 М раствором NaOH (индикатор – фенолфталеин), причем из колб № 1, 2 и 3 пипеткой отбирают по 50

мл, из колбы № 4 – 25 мл, из колбы № 5 – 10 мл и из колбы № 6 – 5 мл раствора. Таким образом, во всех колбах остается по 100 мл раствора. В каждую колбу вносят по 3 г активированного угля. Затем тщательно взбалтывают все колбы в течение 10 минут. Отфильтровывают отдельно содержимое каждой колбы через бумажные фильтры. Отобрав из фильтратов пробы пипеткой в таких же количествах, какие были взяты для первоначального титрования, определяют титрованием концентрацию уксусной кислоты. Разность между результатами первого титрования и второго (после пересчета на 100 мл) дает количество уксусной кислоты x, поглощение 3 г угля из 100 мл раствора.

Титрованием раствора уксусной кислоты до добавления угля определяют ее первоначальную концентрацию C в пересчете на миллилитры 0,1 М раствора гидроксида натрия, а титрованием фильтрата – ее концентрацию C_1 после адсорбции:

$$x = C - C_1 .$$

Результаты наносят на график, причем на оси абсцисс наносят значение C_1, а на оси ординат – значение $\frac{x}{m}$, где m – масса поглотителя. Полученная кривая есть изотерма адсорбции. Для графического определения значения a и n, как было указано выше, откладывают на оси абсцисс, значения $\lg C_1$ – на оси ординат $\lg \frac{x}{m}$. Найденные точки должны лежать на прямой линии.

Измеряют величину тангенса угла наклона прямой к оси абсцисс, что дает величину n. Расстояние точки пересечения прямой с осью ординат от начала координат соответствует значению величины $\lg a$. Полученные результаты занести в таблицу.

№ колбы	Приблизительная концентра-	C	C_1	x = C – C_1	$\frac{x}{m}$	$\lg C_1$	$\lg \frac{x}{m}$
1							
2							
3							
4							
5							
6							

Требования к отчету. Наименование работы, цель работы, краткое описание методики, оборудования и хода работы, результаты измерений и вычислений (формулы, графики), выводы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 (4 часа)
ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ ЗОЛЯ ТУРБИДИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Турбидиметрия – метод исследования, основанный на измерении интенсивности проходящего через дисперсную систему света. Турбидиметрический метод позволяет определять размеры частиц и их концентрацию по мутности коллоидных растворов с помощью фотоэлектроколориметра.

Для определения размеров частиц сферической формы, радиус которых не превышает 1/20 длины волны падающего света, может быть использовано уравнение Рэлея:

$$I_p = I_o \frac{24\pi^3}{\lambda^4}\left(\frac{n_1^{\ 2} - n_0^{\ 2}}{n_1^{\ 2} + 2n_0^{\ 2}}\right)^2 C_{об.}V \text{ ,(3.1)}$$

где λ – длина волны падающего света; n_1 – показатель преломления дисперсной фазы; n_0 – показатель преломления дисперсионной среды; $C_{об}$ – объемная доля дисперсной фазы; V – объем частицы.

С увеличением размеров частиц закон Рэлея перестает соблюдаться, и интенсивность рассеянного света становится обратно пропорциональной длине волны в степени меньшей, чем четвертая. Если размер (диаметр) частиц составляет от 1/10 до 1/3 длины световой волны и показатели преломления частиц и среды не сильно различаются, для описания светорассеяния можно воспользоваться уравнением Геллера:

$$D = k\lambda^{-n} \text{ ,(3.2)}$$

где D – оптическая плотность; k – константа, не зависящая от длины волны; λ – длина волны падающего света.

Необходимым условием использования уравнений (3.1) и (3.2) является отсутствие поглощения света, поэтому уравнения Рэлея и Геллера применимы только для «белых» золей, т.е. неокрашенных дисперсных систем.

Опыт 1. Определение размеров частиц дисперсных систем, не подчиняющихся уравнению Рэлея

Цель работы. Ознакомление с турбидиметрическим методом анализа; определение размера частиц золя с помощью уравнения Геллера.

Краткие теоретические положения. Зависимости lg$D$ (или lgτ) от lgλв соответствии с уравнением Геллера:

$$D = k\lambda^{-n} \text{ ,(3.2)}$$

представляют собой прямую линию, тангенс угла наклона которой равен показателю степени -n. Значение показателя n в уравнении (3.2) зависит от величины Z – соотношения между размером частицы и длиной волны падающего света:

$$Z = \frac{8\pi r}{\lambda}.$$

С увеличением Z значение n будет уменьшаться. При малых значениях Z соблюдается уравнение Рэлея и $n = 4$. Значения n для Z от 2 до 8 приведены в таблице (3.1).

Показатель степени n в уравнении (3.2) находят на основе турбидиметрических данных. Для этого экспериментально измеряют оптическую плотность системы при различных длинах волн (в достаточно узком интервале λ) и строят график в координатах lg$D$–lgλ. Показатель n определяют по тангенсу угла наклона полученной прямой. По значению n находят соответствующее значение параметра Z (по табл. 3.2), а затем рассчитывают средний радиус частиц исследуемой дисперсной системы:

$$r = \frac{Z\lambda}{8\pi} \text{ .(3.7)}$$

Таблица 3.2

Показатель степени n в уравнении Геллера
в зависимости от параметра Z

n	Z	n	Z
3.812	2.0	2.807	5.5
3.686	2.5	2.657	6.0
3.573	3.0	2.533	6.5
3.436	3.5	2.457	7.0
3.284	4.0	2.379	7.5
3.121	4.5	2.329	8.0
3.060	5.0		

Приборы и реактивы. Фотоэлектроколориметр, высокодисперсный золь (поли-

стирольный латекс, золь сульфата бария).

Порядок выполнения работы. Сначала измеряют оптическую плотность золя с помощью фотоэлектроколориметра, используя светофильтр № 3. Значение оптической плотности золя должно находиться в пределах 0.70-0.95. Если значение D образца меньше или больше указанных, следует соответственно увеличить или уменьшить концентрацию дисперсной фазы. Затем определяют оптическую плотность золя при различных длинах волн падающего света (светофильтры № 3-9). При каждой длине волны оптическую плотность измеряют три раза и определяют среднее значение D. Значение длин волн, соответствующих светофильтрам, составляют:

№ светофильтра 3 456 7 8 9

$\lambda_{вак}$, нм40044048354058262062 5

Далее находят значения $\lg\lambda_{вак}$ и $\lg D_{ср.}$, строят график в координатах $\lg D_{ср.}$–$\lg\lambda_{вак}$ и определяют показатель степени n в уравнении (3.2). По данным таблицы (3.2) предварительно строят график в координатах Z–nи находят значение параметра Z, соответствующее ранее определенному n. Полученные результаты записывают в таблицу (3.3).

По уравнению (3.7) рассчитывают радиус частиц золя. При расчете r в уравнение (3.7) нужно подставить среднее значение длин волн $\lambda_{ср.}$ в том интервале, в котором определялся показатель степени n. Величину $\lambda_{ср.}$ находят по соотношению:

$$\lambda_{ср.} = \frac{\lambda_{вак.макс.} + \lambda_{вак.мин.}}{2} \quad (3.8)$$

Найденное значение r соответствует среднему радиусу частиц золя.

Форма отчета. Отчет должен содержать название и описание цели работы, краткие теоретические положения, порядок выполнения эксперимента, заполненную таблицу, график в координатах Z–n по данным таблицы (3.2), график в координатах $\lg D$–$\lg\lambda$, найденный из результатов опыта радиус частицы, вывод по результатам работы.

Таблица 3.3

Экспериментальные данные для расчета размеров частиц дисперсных систем, не подчиняющихся уравнению Рэлея

Номер светофильтра	$\lambda_{вак.}$, нм	$\lg\lambda$	D	$D_{ср.}$	$\lg D_{ср.}$	n	Z

Контрольные вопросы

1. Какие оптические явления наблюдаются при падении луча светана дисперсную систему?
2. Какие оптические методы используются для определения размеров частиц дисперсных систем?
3. В чем сущность турбидиметрического метода анализа?
4. Какие золи называют «белыми»? Какая связь между оптической плотностью и мутностью золей?
5. Какие дисперсные системы можно исследовать, используя уравнения Рэлея и Геллера?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 (4 часа)
ЭЛЕКТРОФОРЕЗ

Цель работы. Ознакомление с явлением электрофореза. Определение скорости движения частиц в электрическом поле. Определение знака заряда и величины электрокинетического потенциала золя берлинской лазури.

Краткие теоретические положения. При движении твердой частицы двойной электрический слой (ДЭС) разрывается по плоскости (границе) скольжения с образованием заряженной коллоидной частицы и диффузных противоионов. Величина заряда коллоидной частицы характеризуется величиной электрокинетического потенциала. Все электрокинетические явления в лиофобных золях (электроосмос, электрофорез, потенциал те-

чения, потенциал седиментации) определяются величиной и знаком ζ-потенциала. Эта величина во многом определяет устойчивость коллоидного раствора, которую определяют обычно на основе электрофоретических измерений.

Если в коллоидный раствор опустить электроды и на них создать постоянную разность потенциалов, то коллоидные частицы и диффузные противоионы будут двигаться к противоположно заряженным электродам.

Движение частиц дисперсной фазы относительно дисперсионной среды под действием внешнего электрического поля называется электрофорезом.

Электрофорез обнаруживается экспериментально по выделению на одном из электродов (или около него) дисперсной фазы, а также по смещению границы раздела «коллоидный раствор – дисперсионная среда» к одному из электродов.

Значение ζ-потенциала (в вольтах) рассчитывается из измеренной в ходе опыта скорости движения частиц по уравнению Гельмгольца-Смолуховского:

$$\varsigma = \frac{4\pi\eta U}{\varepsilon H} 300^2 \text{, (4.1)}$$

где η и ε – вязкость и диэлектрическая проницаемость среды на границе скольжения; H– градиент потенциала внешнего электрического поля ($H = E/L$, где E– приложенная разность потенциалов на электродах, В, L – расстояние между электродами); U– скорость электрофореза; 300^2 – переводной множитель для вычисления ζ-потенциала в вольтах.

Значения η и ε, подставляемые в уравнение Гельм-гольца-Смолуховского, берутся обычно для дисперсионной среды. При этом допускается некоторая ошибка, так как, благодаря повышенной концентрации ионов, значения η и ε в двойном электрическом слое отличаются от соответствующих значений для дисперсионной среды. Для воды при комнатной температуре можно принять, что $\varepsilon = 80.1$, $\eta = 0.001$ Па·с. Эти значения используются при расчете ζ-потенциала в данной работе.

Скорость электрофореза определяют, используя метод передвигающейся границы. Он заключается в том, что окрашенный коллоидный раствор помещают в электрофоретическую ячейку, сверху наливают контактную (боковую) жидкость и наблюдают за скоростью перемещения границы раздела золь–боковая жидкость под действием приложенной к электродам разности потенциалов (E). В одном колене ячейки граница раздела поднимается, так как коллоидные частицы переходят в боковую жидкость, в другом – опускается, поскольку коллоидные частицы движутся вглубь коллоидного раствора.

Контактная жидкость необходима для создания границы раздела, она должна быть близка по своему составу к дисперсионной среде золя, и иметь одинаковую с золем электропроводность.

Приборы и реактивы. Электрофоретическая ячейка; источник постоянного тока (напряжения) до 300 В; колбы на 200 мл – 6 шт.; цилиндр на 150 мл; стаканы на 50 мл – 2 шт.; пипетки – 2 шт.; 0.5 М $K_4[Fe(CN)_6]$; насыщенный на холоде раствор $FeCl_3$; 0.1 М КС1; дистиллированная вода.

Порядок выполнения работы. ВНИМАНИЕ! На ячейку подается высокое напряжение! Во избежание поражения током все подготовительные и регулировочные операции на ячейке проводят только при отключенном напряжении. То же касается разборки ячейки для мытья. Запрещается касаться оголенных частей электродов, соприкасать их, а также укладывать электроды вне изолированных гнезд.

Приготовление золя берлинской лазури. Берлинскую лазурь (гексацианоферрат(II) железа(III)) получают в результате химической реакции:

$$3\ K_4[Fe(CN)_6] + 4\ FeCl_3 = Fe_4[Fe(CN)_6]_3 + 12\ KCl.$$

1. Получение золя берлинской лазури с отрицательно заряженными коллоидными частицами. В колбу наливают 150 мл дистиллированной воды и добавляют 10 капель 0.5 М раствора $K_4[Fe(CN)_6]$. Затем при интенсивном перемешивании приливают по 1 капле

насыщенного раствора $FeCl_3$. Получают золь берлинской лазури, стабилизированный $K_4[Fe(CN)_6]$, мицелла которого имеет вид:

$$\{[Fe_4[Fe(CN)_6]_3]_m n\ [Fe(CN)_6]^{4-}\ (n-4x)K^+\}^{4x-}\ 4xK^+.$$

2. Получение золя берлинской лазури с положительно заряженными коллоидными частицами. В колбу наливают 150 мл дистиллированной воды и в каждую добавляют по 3 капли раствора $FeCl_3$. Затем при интенсивном перемешивании добавляют 1-2 капли раствора $K_4[Fe(CN)_6]$. Получают золь берлинской лазури, стабилизированный $FeCl_3$, мицелла которого имеет вид:

$$\{[Fe_4[Fe(CN)_6]_3]_m nFe^{3+}\ (n-3x)Cl^-\}^{3x+}\ 3xCl^-.$$

Полученные золи оставляют на 5-10 мин и в течение этого времени проверяют знак заряда коллоидных частиц с помощью фильтровальной бумаги (см. работу № 2). Для дальнейшей работы используют один из золей по указанию преподавателя.

*Подготовка прибора к работе.*Опустив зажимы, снимают и промывают стеклянные части прибора дистиллированной водой.

Готовят контактную жидкость, для этого наливают в колбу 100 см^3 дистиллированной воды, добавляют 10 капель 0.1 М раствора KCl, содержимое тщательно перемешивают. Заливают боковую жидкость до половины колен трехколенной ячейки 1 (рис. 4.1) и устанавливают ячейку вертикально на основании штатива. Вставляют электроды 4 в крайние колена ячейки 1.

Вспомогательный сосуд 2 и пипетку 3 заполняют исследуемым золем без пузырей и устанавливают его с закрытым зажимом 5 на штативе так, чтобы носик пипетки не доходил до дна сосуда 3-5 мм. Осторожно открывая зажим 5, вводят золь в ячейку так, чтобы подъем жидкости в коленах происходил без перемешивания. Когда электроды 4 окажутся погруженными в жидкость на 5-7 мм, зажим закрывают. В крайних коленах при этом должна быть четкая граница между золем и боковой жидкостью. После этого включают источник питания и подают на электроды 4 напряжение 250 В.

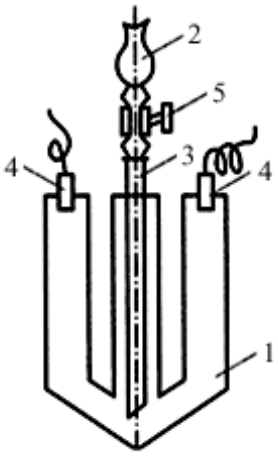


Рис. 4.1. Прибор для наблюдения электрофореза:

1 – электрофоретическая ячейка;
2 – вспомогательный сосуд;
3 – пипетка;
4 – электроды;
5 – зажим.

Поддерживая напряжение на электродах на постоянно заданном уровне, через каждые 5 мин в течение получаса записывают положение границы золя в каждом из крайних колен. Данные наблюдений заносят в таблицу 4.1.

Таблица 4.1

Экспериментальные данные электрофоретических измерений

№	t, мин	Положение границы в правом колене, см	Положение границы в левом колене, см
1	5		
2	10		
3	15		
4	20		
5	25		

6	30		

Наблюдают появление пузырьков водорода на одном из электродов. Закончив наблюдения, выключают источник питания и отключают от него электроды.

По данным таблицы строят график в координатах перемещения границы *h*– время для правого и левого колена. Для расчета величины ζ-потенциала используют линейный участок графика:

$$\varsigma = \frac{\Delta h \eta L}{\varepsilon \varepsilon_0 E \tau}, \quad (4.2)$$

где $\eta = 0.001$ Па·с – вязкость воды; Δh – взятое с линейной части графика смещение границы золя за время t, см; $\varepsilon = 80.1$ – диэлектрическая проницаемость воды при 20°С, $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ ф/м – электрическая постоянная; *E*– разность потенциалов на электродах, В; *L* – расстояние между электродами, измеренное вдоль колен и дуги ячейки, см.

После подстановки постоянных величин и переводных множителей уравнение упрощается:

$$\varsigma = 2.35 \frac{\Delta h L}{E \tau}. \quad (4.3)$$

В окончательном уравнении Δh и *L* подставляются в сантиметрах, *t* – в минутах; $\Delta h/t$ – скорость перемещения границы золя, см/мин.

Рассчитывают ζ-потенциал по данным скорости движения плоскости скольжения в правом и левом коленах. По результатам наблюдений и расчетов делают вывод о величине и знаке ζ-потенциала.

Форма отчета. Отчет должен содержать название работы, описание ее цели, краткий конспект теоретической части, краткую методику проведения опыта, схематический рисунок прибора для наблюдения скорости электрофореза, заполненную таблицу, графики, вычисление ζ-потенциала, выводы.

Контрольные вопросы

1. Перечислите электрокинетические явления и объясните, чем они обусловлены.
2. Что называют электрокинетическим потенциалом? Какие факторы влияют на ζ-потенциал?
3. Что называется электрофорезом?
4. Напишите строение мицелл берлинской лазури, стабилизированных $FeCl_3$ и $K_4[Fe(CN)_6]$.
5. Как рассчитать величину электрокинетического потенциала на основе электрофоретических измерений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 (4 часа)
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ КОЛЛОИДНЫХ РАСТВОРОВ

Цель работы. Определение вязкости коллоидных растворов с помощью капиллярного вискозиметра. Изучение влияния на вязкость концентрации растворов, температуры и электролитов.

Краткие теоретические положения. Группу свойств дисперсных систем составляют реологические свойства. Реология – это наука о деформации и течении материалов. К свойствам относят вязкость т текучесть.

Вязкость - внутреннее трение между слоями данной жидкости, движущимися относительно друг друга.

Текучесть - свойство, противоположное вязкости. Величина, обратная величине вязкости, называется текучестью.

Вязкость является результатом межмолекулярного взаимодействия. Чем больше силы молекулярного притяжения, тем больше вязкость.

Для жидкостей характерны два основных типа течения: ламинарное и турбулентное. Ламинарным называют течение жидкости в виде параллельных слоев, не перемешивающихся между собой. Турбулентное течение – это бурное течение, сопровождающееся вза-

имным перемешиванием слоев жидкости. Рассматриваемые законы вязкости будут относиться только к ламинарному течению. Ламинарное течение слоев жидкости может быть вызвано бесконечно малой силой, но действующей достаточно длительное время.

Если внутри жидкости взять два слоя, то, согласно закону Ньютона, сила внутреннего трения F, равная по значению, но обратная по направлению силе, приложенной извне, пропорциональна площади слоя S, к которому приложена эта сила, и градиенту скорости движения $d\upsilon / dx$ между слоями:

$$F = \eta S \frac{d\upsilon}{dx}, \qquad (1)$$

где η – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом вязкости (или вязкостью).

$$[\eta] = \text{Н·с / м}^2 = \text{кг / м·с} = \text{Па·с}.$$

Приборы для измерения вязкости называются вискозиметрами. Чаще используются капиллярные вискозиметры (рис. 1). Капиллярный вискозиметр представляет собой две сообщающиеся стеклянные трубки 1 и 2, одна из которых имеет капилляр 3. На трубке 3 имеются метки А и В.

На основании экспериментальных данных по измерению скорости вытекания жидкостей из капилляров Пуазейль получил уравнение:

$$V = \frac{\pi r^4 P t}{8 l \eta}, \qquad (2)$$

где V – объем жидкости, вытекающей из капилляра; r – радиус капилляра; P – давление, под действием которого жидкость продавливается через капилляр; l – длина капилляра; t – время наблюдения; η – вязкость жидкости.

Отсюда следует:

$$\eta = \frac{\pi r^4 P t}{8 l V}. \qquad (3)$$

Для данного вискозиметра величины V, r, l постоянны, поэтому можно принять:

$$K = \frac{\pi r^4 P t}{8 l V}. \qquad (4)$$

Отсюда формула (5.3) принимает вид:

$$\eta = KPt. \qquad (5)$$

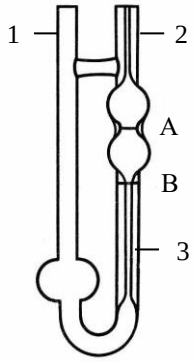


Рис. 1. Капиллярный вискозиметр:

1, 2 – сообщающиеся трубки;
3 – капиллярная трубка;
А, В – метки.

Отношение вязкости исследуемой жидкости к вязкости воды называется относительной вязкостью:

$$\eta_{отн.} = \frac{\eta}{\eta_0}. \qquad (6)$$

Относительная вязкость с учетом уравнения (5) равна:

$$\eta_{отн.} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{KPt}{K_0 P_0 t_0} = \frac{Pt}{P_0 t_0}, \qquad (7)$$

где η_0, P_0, t_0 относятся к воде, а η, P, t – к исследуемой жидкости.

При одинаковой высоте столбов жидкостей давление прямо пропорционально плотности этих жидкости (ρ и ρ_0). Тогда отношение давлений можно заменить отношением плотностей:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{\rho t}{\rho_0 t_0}.$$

Отсюда:

$$\eta = \eta_0 \frac{\rho t}{\rho_0 t_0}.$$

Вязкость воды принимают равной 1 с·Пуаз, тогда:

$$\eta = \frac{\rho t}{\rho_0 t_0}. \qquad (8)$$

Определив время истечения для воды и исследуемой жидкости, находят вязкость исследуемой жидкости.

На вязкость растворов оказывают влияние концентрация, природа растворенного вещества и растворителя, заряд частиц, количество и природа добавляемых электролитов и др.

Приборы и реактивы. Вискозиметр; секундомер; 1% и 0.5% раствор желатина; золь гидроксида железа(III); 1 М KI; 1 М K_2SO_4.

Порядок выполнения работы. Перед работой вискозиметр необходимо промыть хромовой смесью и дистиллированной водой, а затем просушить в сушильном шкафу.

Для определения вязкости вискозиметр устанавливают вертикально в штативе. В широкое колено трубки 1 наливают жидкость, которую затем засасывают с помощью резиновой груши в трубку 2 выше метки А. Затем жидкости дают свободно вытекать, отмечая по секундомеру время прохождения от метки А до метки В. Повторяют определение несколько раз. При этом сначала находят время истечения воды через капилляр (при определенной температуре), а затем время истечения исследуемой жидкости.

Опыт 1. Измерение вязкости золей гидроксида железа(III) и желатина

При постоянной температуре (18-20ºС) определяют относительную вязкость лиофобных и лиофильных золей. Измерения проводят не меньше трех раз. Сравнивают полученные результаты.

Опыт 2. Влияние концентрации раствора на вязкость

Из горячего 1%-ного золя желатина готовятся растворы следующей концентрации:

Состав	№ раствора				
	1	2	3	4	5
1% раствор желатина, мл	1	2.5	5	7.5	10
Дистиллированная вода, мл	9	7.5	5	2.5	0
Концентрация раствора, %	0.1	0.25	0.5	0.75	1

Охлаждают приготовленные растворы до комнатной температуры. Измеряют вязкость полученных растворов. Строят график зависимости вязкости от концентрации.

Опыт 3. Влияние температуры на вязкость

0.5% раствор желатина наливают в вискозиметр, погружают в широкое колено вис-

козиметра термометр и помещают прибор в стакан со смесью воды и льда. Определяют время истечения раствора при 0ºС. Затем помещают вискозиметр в стакан с водой соответствующей температуры, нагревают и проводят измерения при 20, 40 и 60ºС. Перед каждым определением раствор просасывают через капилляр 2-3 раза. Строят график зависимости вязкости от температуры.

Опыт 4. Влияние солей на вязкость

В три пробирки наливают по 5 мл 1% раствора желатина. Затем в первую пробирку приливают 5 мл 1 М KI, во вторую – 5 мл 1 М K_2SO_4, в третью – 5 мл дистиллированной воды. Тщательно перемешивают и оставляют приблизительно на 1 час. Затем определяют вязкость. На основании полученных данных делают выводы о влиянии анионов на вязкость золя.

Форма отчета. Отчет должен содержать расчеты вязкости, график в координатах η–$\omega(\%)$ (опыт 2), график в координатах η–T (опыт 3), выводы по результатам работы.

Отчет о работе:

Опыт 1. Измерение вязкости золей гидроксида железа(III) и желатина.
Полученные результаты занести в таблицу:

Раствор	t_1, с	t_2, с	t_3, с	$t_{ср}$, с	ρ, г/см^3	η, Па·с
Вода						
Золь гидроксида железа						
Золь желатина						

Расчеты:
Вывод:

Опыт 2. Влияние концентрации раствора на вязкость.

Полученные результаты занести в таблицу:

Раствор	t_1, с	t_2, с	t_3, с	$t_{ср}$, с	η, Па·с
Вода					
1					
2					
3					
4					

Расчеты:
График зависимости вязкости от концентрации раствора.

Вывод:

Опыт 3. Влияние температуры на вязкость.

Полученные результаты занести в таблицу:

Раствор	t_1, с	t_2, с	t_3, с	$t_{ср}$, с	η, Па·с
Вода					
Золь желатина (20°)					
Золь желатина (40°)					
Золь желатина (60°)					

Расчеты:

График зависимости вязкости от температуры.

Вывод:

Опыт 4. Влияние солей на вязкость.
Полученные результаты занести в таблицу:

Раствор	t_1, с	t_2, с	t_3, с	$t_{ср}$, с	η
Вода					
1% - ный раствор желатина					
1% - ный раствор желатина + KJ					
1% - ный ра					

створ желатина + K_2SO_4					

Расчеты:

Вывод:

Контрольные вопросы

1. Что такое вязкость? Что называют относительной вязкостью?
2. Объясните принцип действия капиллярного вискозиметра. Напишите уравнение Пуазейля для объемной скорости движения жидкости в капилляре.
3. Почему отдельные анионы оказывают влияние на вязкость?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 (4 часа)
РАЗРУШЕНИЕ И УСТОЙЧИВОСТЬ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Коллоидные растворы – термодинамически неустойчивые системы. Причина неустойчивости – большая межфазная поверхность. В результате этого коллоидные системы обладают избытком поверхностной энергии Гиббса. Поэтому в коллоидных растворах самопроизвольно протекают процессы агрегации (слипания), приводящие к уменьшению поверхности и, следовательно, поверхностной энергии Гиббса.

Устойчивость дисперсных систем – это их способность сохранять свое состояние и свойства с течением времени. Устойчивость системы зависит от размеров частиц дисперсной фазы, агрегатного состояния и вязкости дисперсионной среды, присутствия примесей.

Различают два вида устойчивости: кинетическую (седиментационную) и агрегативную устойчивость.

Кинетическая (седиментационная) устойчивость – характеризует способность частиц дисперсной фазы оставаться во взвешенном состоянии. При нарушении кинетической устойчивости происходит отделение дисперсной фазы от дисперсионной среды.

Агрегативная устойчивость – характеризует способность частиц дисперсной фазы противостоять агрегации (т.е. способность сохранять степень дисперсности).

При нарушении этого вида устойчивости в системе самопроизвольно идут процессы укрупнения частиц путем их слипания или слияния.

Процесс укрупнения (слипания) коллоидных частиц в результате потери их агрегативной устойчивости называется коагуляцией.

Любое внешнее воздействие при достаточной интенсивности вызывает коагуляцию.

Опыт 1. Определение порога коагуляции золя гидроксида железа(III)

Цель работы. Определение порога коагуляции золя гидроксида железа(III); изучение зависимости величины порога коагуляции от заряда коагулирующего иона.

Краткие теоретические положения. Одним из наиболее важных способов изменения агрегативной устойчивости дисперсных систем, особенно золей, является введение электролитов.

Электролиты могут изменить структуру двойного электрического слоя, уменьшить или увеличить ζ-потенциал и следовательно, увеличить или уменьшить электростатическое отталкивание.

Лиофобные золи очень чувствительны к электролитам. Ничтожные добавки солей ведут к выпадению дисперсной фазы этих золей в осадок. Все электролиты, добавленные в определенных количествах, способны вызвать коагуляцию, в том числе и электролиты-стабилизаторы.

Минимальная концентрация электролита, при которой данный электролит вызывает

коагуляцию, называют порогом коагуляции (C_K) (ммоль/л). Порог коагуляции вычисляют по формуле:

$$C_K = \frac{V_{эл.} \cdot C_{эл.} \cdot 1000}{V_{золя}}, \qquad (9)$$

где $C_{эл.}$ – концентрация электролита, моль/л; $V_{эл.}$ – объем раствора электролита, мл; $V_{золя}$ – объем золя, мл.

Величина, обратная порогу коагуляции, называется коагулирующей способностью:

$$V_K = \frac{1}{C_K}.$$

Коагуляция золей электролитами подчиняется правилу Шульце-Гарди (или правило значности): коагулирующим действием обладает тот ион электролита, который имеет заряд, противоположный заряду гранулы; коагулирующее действие тем сильнее, чем выше заряд иона-коагулятора.

По коагулирующему действию ионы в зависимости от заряда располагаются в последовательности 4 > 3 > 2 > 1.

Приборы и реактивы. Пробирки – 12 шт.; 5 М раствор KCl; 0.01 М раствор K_2SO_4; 0.001 М раствор $K_3[Fe(CN)_6)]$; золь гидроксида железа(III) $Fe(OH)_3$.

Порядок выполнения работы. Коллоидные частицы золя гидроксида железа(III) $Fe(OH)_3$ заряжены положительно:

$$\{[Fe(OH)_3]_m\ nFeO^+(n\text{-}x)Cl^-\}^{x+}xCl^-,$$

поэтому коагулирующим действием обладают анионы электролита-коагулятора.

Двенадцать чистых пробирок размещают в штативе в три ряда. Во все пробирки наливают по 5 мл золя гидроксида железа (III). Затем в первый ряд приливают указанные в таблице 1 объемы дистиллированной воды и 5 М раствора KCl (электролит добавляют в последнюю очередь). Повторяют аналогично для второго и третьего рядов с добавлением соответствующих электролитов: 0.01 М раствора K_2SO_4 и 0.001 М раствора $K_3[Fe(CN)_6)]$. Содержимое пробирок хорошо перемешивают и через 1 ч отмечают в каких пробирках наблюдается явная коагуляция (помутнение, изменение цвета) и седиментация.

Порог коагуляции рассчитывают по пробирке, содержащей минимальное количество электролита, где наблюдается коагуляция.

Таблица 1

Исходные данные эксперимента

	№ пробирки			
	1	2	3	4
Золь гидроксида железа(III), мл	5	5	5	5
Дистиллированная вода, мл	4.5	4	3	1
Раствор электролита, мл	0.5	1	2	4

В случае если во всех пробирках произойдет коагуляция, то повторяют опыт с менее концентрированными растворами электролитов (в 2-5 раз). Вычисляют порог коагуляции для каждого электролита.

Отметить, в каких пробирках наблюдается явная коагуляция (помутнение, изменение цвета) и седиментация. Данные занести в таблицу отчета.

Опыт 2. Взаимная коагуляция золей иодида серебра

Цель работы. Наблюдение взаимной коагуляции смеси двух золей.

Краткие теоретические положения. Взаимная коагуляция золей наблюдается при смешивании золей с разноименно заряженными частицами. При перекрывании ДЭС коллоидных частиц, имеющих разные знаки, происходит электростатическое притяжение и быстрая агрегация частиц. Наиболее полно взаимная коагуляция двух золей с противоположно заряженными частицами происходит в том случае, если суммарный заряд частиц

одного золя нейтрализует суммарный заряд другого. При других соотношениях образуются новые мицеллы, частицы которых будут иметь тот заряд, который окажется в избытке.

Приборы и реактивы. Пробирки – 11 шт.; мерные пипетки на 5 мл – 3 шт.; золи иодида серебра; фильтровальная бумага.

Порядок выполнения работы. Золь иодида серебра получают в результате химической реакции:

$$AgNO_3 + KI = AgI + KNO_3.$$

1. Получение золя иодида серебра с отрицательно заряженными коллоидными частицами. В стакан наливают 20 мл 0.05 М KI и затем медленно при интенсивном перемешивании приливают по 16 мл 0.05 М $AgNO_3$. Получают золь иодида серебра, стабилизированный KI, мицелла которого имеет вид:

$$\{[AgI]_m\ n\ I^-\ (n\text{-}x)\ K^+\}^{x-}\ x\ K^+.$$

2. Получение золя иодида серебра с положительно заряженными коллоидными частицами. В стакан наливают 20 мл 0.05 М $AgNO_3$ и затем медленно при интенсивном перемешивании приливают 16 мл 0.05 М KI. Получают золь иодида серебра, стабилизированный $AgNO_3$, мицелла которого имеет вид:

$$\{[AgI]_m\ n\ Ag^+\ (n\text{-}x)\ NO_3^-\}^{x+}\ x\ NO_3^-.$$

Приготавливают одиннадцать сухих пробирок и наливают в каждую из них отрицательно заряженный коллоидный раствор золя иодида серебра в соответствии с таблицей 2. Затем добавляют во все пробирки коллоидный раствор иодида серебра, частицы которого заряжены положительно, в таком количестве, чтобы общий объем жидкости в каждой пробирке равнялся 5 мл. После добавления противоположно заряженного золя содержимое пробирки необходимо встряхнуть.

Таблица 2

Взаимная коагуляция золей

	№ пробирки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Золь с отрицательно заряженными частицами, мл	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
Золь с положительно заряженными частицами, мл	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0

Таким образом, первая и одиннадцатая пробирки представляют собой контрольные, а в остальных наблюдают процесс коагуляции.

Результаты наблюдений записывают в таблицу.

Форма отчета. Отчет должен содержать расчеты порога коагуляции, таблицы с результатами эксперимента, выводы.

Отчет о работе

Опыт 1. Определение порога коагуляции золя гидроксида железа(III).

Электролит	Коагулирующий ион	№ пробирки				Порог коагуляции, ммоль/л
		1	2	3	4	
KCl						
K_2SO_4						
$K_3[Fe(CN)_6)]$						

Вывод:

Опыт 2. Взаимная коагуляция золей иодида серебра.

	№ пробирки										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Заряд частиц после смешивания											

Вывод:

Контрольные вопросы

1. Что понимают под агрегативной и седиментационной устойчивостью?
2. Какое явление называется коагуляцией? Назовите причины коагуляции.
3. Какие стадии можно выделить при коагуляции?
3. Что называется порогом коагуляции?
4. Какие ионы – положительные или отрицательные обладают коагулирующим действием по отношению к золю: а) с отрицательно заряженными частицами; б) с положительно заряженными частицами?
5. Каковы причины взаимной коагуляции золей?
6. В чем сущность защитного действия высокомолекулярных веществ при коагуляции лиофобных золей?
7. Какое явление называется сенсибилизацией? В чем причина этого явления?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 (4 часа)
СУСПЕНЗИИ. ЭМУЛЬСИИ. ПЕНЫ

Цель работы. Ознакомление с методикой исследования кинетики седиментации суспензий. Выяснение влияния разных факторов на агрегативную устойчивость суспензий.

Краткие теоретические положения. Суспензии – микрогетерогенные системы с твердой дисперсной фазой и жидкой дисперсионной средой.

Классификация суспензий:

1. В зависимости от размеров частиц дисперсной фазы:

а) грубые (более 10^{-4} м);

б) тонкие (от 10^{-4} м до $0.5 \cdot 10^{-6}$ м);

в) мути (от $0.5 \cdot 10^{-6}$ м до 10^{-7} м).

2. В зависимости от концентрации дисперсной фазы:

а) разбавленные;

б) концентрированные (пасты).

Получение суспензий возможно несколькими путями:

1. Дисперсионные методы. Производится дробление, перетирание сырья с последующим растворением в соответствующих растворителях.

2. Конденсационные методы:

а) методы физической конденсации – связаны с осаждением частиц в результате коагуляции лиофобных золей. В результате упаривания раствора или частичной замены растворителя (снижение растворимости) образуется суспензия;

б) методы химической конденсации – связаны с проведением химических реакций.

Свойства суспензий.

1. Особые свойства суспензий: флотация, фильтрация и кольматация.

Флотация – процесс, при котором гидрофобные частицы в жидкой среде не тонут под действием флотационной силы, направленной вверх, против силы тяжести; тогда как для смачиваемых частиц эта сила направлена вниз и вместе с силой тяжести втягивает ча-

стицу в глубину.

Фильтрация – процесс, который приводит к разделению суспензий на твердую и жидкую фазы.

Кольматация – процесс, используемый для уменьшения водопроницаемости грунтов (гидротехнических сооружений – дамб, плотин), путем вмывания в них высокодисперсных глин или ила, которые проникают в поры грунта и закупоривают их.

2. Молекулярно-кинетические свойства. Броуновское движение, диффузия и осмотическое давление у суспензий практически отсутствуют из-за больших размеров частиц дисперсной фазы.

3. Оптические свойства. Прохождение света через суспензию не вызывает опалесценции, а проявляется в виде мутности, так как лучи не рассеиваются, а преломляются и отражаются частицами суспензии.

4. Электрокинетические свойства. На границе раздела фаз возможно образование ДЭС.

5. Суспензии – кинетически неустойчивые системы: частицы дисперсной фазы оседают под действием собственной силы тяжести. Скорость оседания (седиментации) зависит от размеров частиц, разности плотностей дисперсной фазы и дисперсионной среды, вязкости и температуры. Кинетическую устойчивость повышают увеличением вязкости и плотности дисперсионной среды.

Изучение седиментации суспензий связано, в первую очередь, с получением кривых накопления осадка:

$$m = f(t) \text{ или } V = f(t),$$

где m – масса; V – объем осадка; t– время.

Установлено, что вид кривых седиментации зависит от агрегативной устойчивости суспензии.

В агрегативно устойчивых суспензиях частицы во время седиментации при столкновении не слипаются, поэтому их размеры остаются такими же, как в исходной суспензии. На кривой седиментации отсутствует перегиб. Оседание частиц происходит значительно медленнее, чем в агрегативно неустойчивых суспензиях с такой же степенью дисперсности. Формируется очень плотный осадок.

Таким образом, объем осадка в агрегативно устойчивой суспензии небольшой. Предельное время оседания t_∞ достаточно велико.

В агрегативно неустойчивых суспензиях оседание частиц происходит значительно быстрее, так как оно сопровождается образованием рыхлых агрегатов. Выделяющийся осадок занимает гораздо больший объем, так как частицы сохраняют случайное взаимное расположение, в котором они оказались при первом же контакте. Образовавшийся осадок имеет коагуляционную структуру. Объем седиментационного осадка перестает меняться через относительно малое время (t_∞ невелико); предельный объем осадка V_∞большой, при этом осадок рыхлый и легко взбалтывается.

Различие седиментационных объемов агрегативно устойчивых и неустойчивых систем наиболее четко проявляется, если частицы имеют средние размеры. Если частицы крупные, то, несмотря на то, что суспензия агрегативно неустойчивая, осадок получается более плотным из-за значительной силы тяжести, преобладающей над силами сцепления между частицами. Если частицы очень мелкие, то и в агрегативно устойчивой системе из-за малой силы тяжести образуется подвижный осадок.

Разрушение суспензий является весьма насущной проблемой, так как очистка сточных вод от твердых частиц – это фактически разрушение суспензий. Существует множество методов разрушения суспензий. Обычно их подразделяют на четыре группы:

1) механические;
2) термические;
3) химические;
4) электрохимические.

Рассмотрим химические методы разрушения суспензий. Они основаны на использовании химических реагентов, которые способны снижать агрегативную устойчивость суспензии. В зависимости от факторов устойчивости, которые реализовывались в данной суспензии, и стабилизаторов, которые в ней присутствовали, подбирают необходимые химические реагенты.

Если главный фактор устойчивости суспензии – электростатический, т. е. обусловлен наличием на поверхности твердой частицы ДЭС и ζ-потенциала (например, суспензия стабилизирована низкомолекулярным неорганическим электролитом), то необходимо использовать химические реагенты, уменьшающие абсолютное значение ζ-потенциала частицы вплоть до нуля. В качестве таких химических реагентов используются индифферентные электролиты.

Если суспензия стабилизирована амфолитным полиэлектролитом, то эффективным является приближение pH среды к изоэлектрической точке.

Для разрушения суспензий, частицы которых имеют заряд, широко используется гетерокоагуляция – слипание разнородных частиц. Если в исходной суспензии частицы были положительно заряжены, то в нее целесообразно добавить многозарядные анионы (в виде хорошо растворимых солей).

В том случае, когда в исходной суспензии присутствуют только отрицательно заряженные частицы дисперсной фазы, эффективным является добавление солей алюминия или железа(III), например, сульфата алюминия или хлорида железа(III). В результате гидролиза этих солей образуются положительно заряженные золи гидроксидов алюминия или железа, которые вызывают взаимную коагуляцию взвешенных отрицательных частиц суспензии.

Эффективным методом понижения агрегативной устойчивости суспензий является сенсибилизация. Для этого обычно используются флокулянты – линейные полимеры, несущие полярные группы на обоих концах цепи (например, полиакриламид, поливиниловый спирт). Длинная молекула полимера присоединяется двумя концами к двум разным частицам дисперсной фазы, скрепляя их углеводородным мостиком – образуются флокулы – рыхлый хлопьевидный осадок.

Необходимая концентрация флокулянта в суспензии зависит от концентрации в ней взвешенных частиц. Количество флокулянта должно составлять 0.01-2 % от массы твердой фазы, в противном случае может быть достигнут противоположный эффект – произойдет коллоидная защита взвешенных частиц.

Применение суспензий:

1. В производстве строительных материалов и керамических изделий (кирпич, бетон).

2. В сельском хозяйстве (суспензии ядохимикатов, пестицидов, минеральных удобрений).

3. В медицине (лекарственные суспензии).

Приборы и реактивы. Технические весы; секундомер; цилиндры с притертыми пробками на 100 мл – 4 шт.; пипетки на 2 мл; порошок мел; дисперсионная среда: 0.1 моль/л Na_2CO_3; 0.3 моль/л $CaC1_2$; 0.2 моль/л $FeCl_3$; 3% раствор желатина.

Порядок выполнения работы. Готовят 4 суспензии. Для этого в четыре цилиндра наливают по 50 мл дисперсионной среды, насыпают по 15 г порошка мела (порошок мела взвешивают на технических весах).

В I цилиндр добавляют с помощью мерной пипетки 1.5 мл дистиллированной воды; во II цилиндр – 1.5 млраствора $CaC1_2$; в III цилиндр – 1.5 мл раствора $FeCl_3$; в IV цилиндр –1.5 мл раствора желатина.

Цилиндры плотно закрывают пробками, выдерживают в течение 10 мин., затем содержимое цилиндров тщательно перемешивают. Поставив цилиндры в ряд, измеряютобъемы седиментационных осадков через определенные промежутки времени до тех пор, пока объем седиментационного осадка не перестанет изменяться (достигнет предельного

значения V_∞). Результаты измерений записывают в таблицу.

Кинетика седиментации суспензий

№	Время от начала опыта, мин	Объем седиментационного осадка, мл				
		1	2	3	4	5
1	1					
2	2					
3	3					
4	4					
	…					
	t_∞					

По экспериментальным данным строят кривые кинетики седиментации $V= f(t)$ и находят V_∞и t_∞.

По типу седиментационной кривой и предельному объему седиментационного осадка V_∞оценивают сравнительную агрегативную устойчивость исследованных суспензий и объясняют причину их поведения.

Форма отчета. Отчет должен содержать название и описание цели работы, краткий конспект теоретической части, краткую методику проведения опыта, заполненную таблицу, графики $V= f(t)$, вывод.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается агрегативная устойчивость суспензии?
2. Почему объем седиментационного осадка агрегативно неустойчивой суспензии значительно больше, чем объем осадка агрегативно устойчивой суспензии?
3. Какие вещества используются в качестве стабилизаторов суспензий?
4. Перечислите методы разрушения суспензий.
5. Как понизить агрегативную устойчивость суспензии глины (ее частицы несут отрицательный заряд)?

ЭМУЛЬСИИ

Цель работы. Ознакомление со свойствами эмульсий, их классификацией, методами определения типа эмульсии, закономерностями образования и разрушения.

Краткие теоретические положения. Эмульсии – микрогетерогенные системы, в которых дисперсная фаза и дисперсионная среда представляют собой несмешивающиеся жидкости (молоко, сметана, сливочное масло, яичный желток, млечный сок растений, нефть). Размеры частиц (капелек жидкости) от 10^{-4} до 10^{-6} м.

Классификация эмульсий:

1. В зависимости от концентрации дисперсной фазы:

а) разбавленные ($\omega_{д.ф.}$< 1 %);

б) концентрированные ($\omega_{д.ф.}$< 74 %);

в) высококонцентрированные (желатинированные) ($\omega_{д.ф.}$> 74 %). При концентрации свыше 90 % эмульсии приобретают свойства гелей. Дисперсионная среда приобретает вид тонких прослоек – эмульсионных пленок. Они не обладают текучестью и не способны к седиментации. Высококонцентрированные эмульсии, в которых достигнута максимально возможная концентрация дисперсной фазы, называют предельными или предельно концентрированными.

2. В зависимости от природы дисперсной фазы и дисперсионной среды:

а) прямые эмульсии (эмульсии первого рода, масло/вода);

б) обратные эмульсии (эмульсии второго рода, вода/масло).

Здесь «вода» - любая полярная жидкость, «масло» – неполярная (бензол, анилин, керосин, масло и др.).

При определенных условиях наблюдается обращение фаз эмульсий, то есть эмульсия одного типа превращается в эмульсию противоположного типа. Обращение фаз эмульсий можно вызвать изменением соотношения объемов дисперсной или эмульгиро-

ванной фазы, перемешиванием, добавлением эмульгатора, стабилизирующего эмульсию противоположного типа, изменением pH среды. Например, сбивание сливок ведет к получению масла, при этом эмульсия типа М/В (сливки) переходит в эмульсию типа В/М (масло) со сравнительно малым содержанием воды в виде дисперсной фазы. Но наиболее эффективным методом является действие химическими реагентами. Например, при добавлении раствора хлорида кальция прямая эмульсия, стабилизированная олеатом натрия, переходит в эмульсию обратного типа:

$$2\ RCOONa + CaCl_2 \rightarrow \text{расслоение эмульсии} \rightarrow$$
$$\rightarrow (RCOO)_2Ca + 2\ NaCl.$$

Установить тип эмульсий можно, определив свойства ее дисперсионной среды. Наиболее часто используются следующие методы:

1. Метод смешения. Эмульсия легко смешивается с жидкостью, которая составляет ее дисперсионную среду. Каплю эмульсии и каплю воды помещают рядом на предметное стекло. Наклоняют стекло так, чтобы капли соприкоснулись. Если капли сольются, то значит дисперсионной средой в эмульсии служит вода (эмульсия М/В), если не сольются – эмульсия относится к типу В/М.

2. Метод смачивания гидрофобной поверхности. Если капля эмульсии, нанесенная на парафиновую пластину, растекается, следовательно дисперсионной средой служит масло, а эмульсия относится к типу В/М, если не растекается – М/В.

3. Метод окрашивания непрерывной среды. Эмульсии легко окрашиваются красителями, растворимыми в дисперсионной среде.

Эмульсия М/В равномерно окрашивается водораство-римым красителем (метиловый оранжевый, метиловый голубой и т. д.).

Эмульсия В/М окрашивается маслорастворимым красителем (судан III).

4. Метод измерения электрической проводимости. Электропроводность прямых эмульсий намного выше обратных.

Получение эмульсий:

1. Механическое диспергирование (эмульгирование). Осуществляется путем медленного прибавления диспергируемого вещества в дисперсионную среду в присутствии эмульгатора при постоянном перемешивании, встряхивании. Для этого используются специальные эмульсаторы, мешалки, коллоидные мельницы, ультразвук.

В качестве эмульгаторов применяются различные по природе вещества: ПАВ, молекулы которых содержат ионогенные полярные группы (например, мыла), неионогенные ПАВ, ВМС, а также твердые порошкообразные материалы (гидрофильные – глины, мел, гипс, стекло, гидрофобные – сажа, сульфиды и иодиды свинца и ртути).

По правилу Банкрофта молекулы или частицы эмульгатора должны располагаться преимущественно со стороны дисперсионной среды, то есть на наружной поверхности капель эмульсии.

Способность эмульгатора обеспечивать устойчивость эмульсии определенного типа зависит от его взаимодействияс полярной и неполярной средами. Эту способность характеризуют специальным числом – гидрофильно-липофильным балансом (ГЛБ). Например, если число ГЛБ лежит в переделах 3-6, образуется эмульсия В/М. Эмульгаторы с числом 8-13 дают эмульсию М/В.

2. Самопроизвольное диспергирование (эмульгирование). Играет существенную роль в процессах пищеварения и усвоения пищи организмом. Например, при попадании в кишечник жира сначала происходит самодиспергирование жира под действием ПАВ (холевых кислот), содержащихся в желчи, а затем полученная высокодисперсная эмульсия всасывается через стенку кишечника в организм.

Кроме того, грубые эмульсии переводят (гомогенизируют) в более тонкие.

Эмульсии – кинетически и агрегативно неустойчивые системы. В эмульсиях самопроизвольно протекает процесс слияния капель – коалесценция. Со временем эмульсии самопроизвольно разрушаются (деэмульгирование). На практике иногда возникает необ-

ходимость ускорить разрушение эмульсий.

Методы разрушения эмульсий:

1. Химическое разрушение (например, разрушение мыльной пленки действием минеральной кислоты).

2. Прибавление эмульгатора, способного вызвать обращение фаз эмульсии и снижающего этим прочность защитной пленки.

3. Адсорбционное замещение эмульгатора другим ПАВ, но не обладающим способностью образовывать достаточно прочные пленки.

4. Термическое разрушение – расслоение эмульсий нагреванием.

5. Механическое разрушение стабилизированных пленок (сбивание сливок в масле).

6. Действие электрического тока или электролитов.

Практическое значение и использование эмульсий:

1. В парфюмерной промышленности (кремы, лосьоны).

2. В пищевой промышленности. Природные эмульсии – молоко (сырье для получения молочных продуктов), яичный белок, а также маргарин, майонез, различные соусы.

3. В сельском хозяйстве (средства борьбы с вредителями и сорняками).

4. В медицине (лекарства в виде эмульсий). При этом, как правило, для приема лекарств внутрь применяют эмульсии 1 рода, для наружного применения – эмульсии 2 рода.

Приборы и реактивы. Микроскоп; штатив для пробирок; пробирки с пробками – 3 шт.; колба на 250 м; предметное стекло; предметное стекло, покрытое парафином; мерные пипетки на 2 мл; стеклянные палочки; ацетон; подсолнечное масло; стеарат натрия (2%); насыщенный раствор $CaC1_2$; красители: судан III, метиловый оранжевый; дистиллированная вода.

Порядок выполнения работы

Опыт 1. Получение эмульсии путем понижения растворимости.

0.5 мл растительного масла, подкрашенного суданом III, растворяют в 5 мл ацетона и при интенсивном перемешивании вливают в 100 мл воды. Расслаивается ли полученная эмульсия? Определите тип полученной эмульсии методами смешения, смачивания гидрофобной поверхности и окрашивания непрерывной среды.

Опыт 2. Получение концентрированной эмульсии путем диспергирования.

В пробирку № 1 вливают 2 мл воды и 2 мл масла, закрывают пробкой и интенсивно встряхивают 2 мин., с одним перерывом в 30 с. Помещают пробирку в штатив и наблюдают расслоение.

В пробирку № 2 вливают 2 мл раствора стеарата натрия и 2 мл масла, подкрашенного суданом III. После интенсивного встряхивания в течение 2 мин. с одним перерывом в 30 с пробирку помещают в штатив и наблюдают, расслаивается ли эмульсия. Объясните наблюдения. Определите тип полученной эмульсии методами смешения, смачивания гидрофобной поверхности и окрашивания непрерывной среды.

Пробирку № 2 оставить для 3-го опыта.

Опыт 3. Разрушение и обращение эмульсии.

К устойчивой эмульсии из пробирки № 2 (опыт 2) добавляют 2 капли $CaC1_2$. Наблюдается расслоение. В пробирку с расслоившейся смесью добавляют еще 7 капель $CaC1_2$ и интенсивно встряхивают в течение 2 мин. с перерывом в 30 с. Пробирку помещают в штатив и наблюдают образование двух слоев: нижнего – воды и верхнего – эмульсии. Пипеткой осторожно отбирают из верхнего слоя 1-2 капли, помещают на предметное стекло и наблюдают под микроскопом. Сделайте вывод о типе полученной эмульсии.

Опыт 4. Получение эмульсии второго рода.

В чистую пробирку вливают 2 мл стеарата натрия и 15 капель $CaC1_2$. На стенках пробирки образуется осадок стеарата кальция. Жидкость из пробирки сливают, а к осадку приливают 2 мл подкрашенного масла. Перемешивают стеклянной палочкой до растворения в масле осадка. К содержимому пробирки приливают 2 мл воды. После интенсивного

встряхивания в течение 2 мин. с перерывом в 30 с пробирку помещают в штатив и наблюдают, расслаивается ли полученная эмульсия. Определите тип полученной эмульсии.

Форма отчета. Отчет должен содержать название работы, описание ее цели, краткие теоретические положения, порядок выполнения эксперимента и наблюдения. По результатам эксперимента необходимо сделать выводы о типе и устойчивости получаемых эмульсий, о роли эмульгатора. От каких факторов зависит тип эмульсии? Назовите, какими способами были получены и разрушены эмульсии. Укажите роль хлорида кальция в наблюдаемых превращениях.

Контрольные вопросы

1. Какие дисперсные системы называются эмульсиями, по каким признакам они классифицируются?
2. Назовите методы определения типа эмульсии.
3. Что называется обращением фаз эмульсии? Какие факторы его вызывают?
4. Какие типы эмульгаторов известны?
5. От каких факторов зависит тип образующейся эмульсии?
6. Назовите методы разрушения эмульсий.

ПЕНЫ

Цель работы. Получение пен дисперсионными методами в присутствии различных пенообразователей. Изучение влияния различных факторов на устойчивость пены.

Краткие теоретические положения. Пены –грубодисперсные (от нескольких мм до нескольких см) высококонцентрированные (концентрация дисперсной фазы более 74% (об.)) гетерогенные системы, в которых дисперсная фаза состоит из пузырьков газа, а дисперсионная среда (жидкая или твердая) между ними образует тонкие пленки.

Благодаря избытку газовой фазы и взаимному сдавливанию, пузырьки газа имеют не сферическую форму, а представляют собой полиэдрические ячейки. Если пена монодисперсна (все пузырьки газа имеют одинаковые размеры), то каждый пузырек газа имеет форму правильного двенадцатигранника, любая сторона которого представляет собой правильный пятиугольник (рис. 1). Частицы (пузырьки газа) разделены тонкими прослойками дисперсионной среды, устойчивость которых обусловлена двойным рядом ориентированных слоев ПАВ, между которыми находится дисперсионная среда (рис. 2).

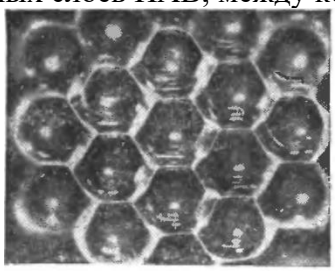
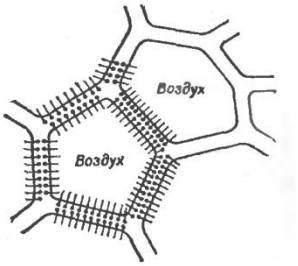


Рис. 1. Пенообразная система.



Строение пен

Рис. 2. Схема строения пен.

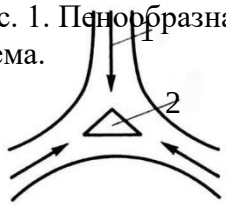


Рис. 3. Поперечное сечение канала Плато:

1 – пленка жидкости;
2 – канал.

В зоне соприкосновения трех пленок, принадлежащих трем соприкасающимся пузырькам, образуется канал Плато (рис.3) – по имени известного бельгийского ученого Ж. Плато, занимавшегося исследованием устойчивости дисперсных систем.

1 правило Плато: так как натяжение пленок одинаково, силы натяжения ихв одной плоскости могут уравновеситься только при одинаковых углах между пленками, равных 120°.

2 правило Плато: в каждой вершине многогранника (ячейки) сходятся 4 канала, образуя угол, равный 109°28'. Место пересечения каналов называется узлом.

Каналы пронизывают всю структуру пены, представляя собой цельную систему.

Получается пространственная конструкция, в разрезе похожая на пчелиные соты. Такая пена характеризуется минимальной поверхностной энергией, а, следовательно, наибольшей устойчивостью.

Если пена полидисперсна (пузырьки газа имеют разные размеры), форма правильного двенадцатигранника нарушается и это приводит к снижению устойчивости.

Если концентрация дисперсной фазы меньше 74%, то пузырьки газа имеют сферическую форму, толщина жидких прослоек соизмерима с размерами газовых пузырьков. Такие системы являются газовыми эмульсиями (газированная вода, шампанское и т. д.). Газовые эмульсии, в отличие от пен, являются бесструктурными системами.

Несмотря на то, что пузырьки газа могут иметь макроразмеры, пена является микрогетерогенной системой. Это объясняется тем, что дисперсионная среда (жидкость) хотя и является непрерывной, представляет собой тонкие пленки, имеющие микроразмеры (пленки часто обнаруживают интерференцию – радужную окраску, что показывает, что толщина пленки соизмерима с длиной световой волны). Поэтому П. А. Ребиндер определил пену как пластинчато-диспергированную жидкость в газе.

Установлено, что образование устойчивой пены в чистой жидкости невозможно. Пену можно получить только в присутствии специального вещества – стабилизатора (пенообразователя).

Важную роль играет концентрация пенообразователя. Для пенообразователей – коллоидных ПАВ максимальная пенообразующая способность достигается в определенном интервале концентраций, при дальнейшем росте концентраций она остается постоянной или даже снижается. В случае высокомолекулярных пенообразователей с увеличением концентрации возрастает и пенообразующая способность.

Кроме того, для пенообразователей – белков важно значение pH среды. Они проявляют максимальную пенообразующую способность в изоэлектрической точке.

Методы получения пен:

I. Дисперсионные методы – основаны на дроблении газа на пузырьки при подаче его в раствор пенообразователя, например, при продувании газа через трубку, опущенную в жидкость. В промышленности обычно используют следующие методы диспергирования:

1. Прохождение струй газа через жидкость в аэрационных и барботажных установках, в аппаратах с «пенным слоем», в пеногенераторах с сеткой, орошаемой раствором пенообразователя. (Барботирование (франц. barbotage) – перемешивание – пропускание через слой жидкости пузырьков газа или пара, который диспергируют в барботерах – трубах с мелкими отверстиями, тарелках с отверстиями, колпачками и т. п.).

2. Действием движущихся устройств на жидкость или движущейся жидкости на преграду (в технических аппаратах с быстроходными мешалками; при взбивании, встряхивании, переливании растворов).

3. Эжектирование (франц. éjection– выбрасывание) воздуха движущейся струей раствора в пеногенераторах.

В настоящее время в технике пены готовят, в основном, дисперсионными методами.

II. Конденсационные методы. Газовая фаза вначале присутствует в виде отдельных молекул, из которых затем образуются пузырьки. Конденсационный способ пенообразования можно осуществить следующими методами:

1. Изменение параметров физического состояния системы: понижая давление пара над раствором или повышая температуру раствора.

В этом случае газ, растворенный в жидкости, сразу начнет выделяться из нее и, если жидкость содержит пенообразователь, образуется пена. Стойкость пены зависит от свойств и концентрации пенообразователя.

Например, лимонад почти не содержит веществ, которые могут играть роль пенообразователей, поэтому, когда мы наливаем его из бутылки в стакан, возникающая на по-

верхности жидкости пена почти мгновенно разрушается, тогда как пиво содержит много пенообразователей. Аналогично роль пенообразователей можно наблюдать при кипячении жидкостей (например, воды и молока).

2. Проведение химической реакции, сопровождающейся выделением газа. Например, взаимодействие соды с кислотой, пероксида водорода с перманганатом калия, разложение карбоната аммония. Химическая реакция используется при приготовлении пресного теста, когда в качестве «разрыхлителя» добавляют питьевую соду $NaHCO_3$ или карбонат аммония $(NH_4)_2CO_3$:

$$2NaHCO_3 \overrightarrow{[H^+]} Na_2CO_3 + H_2O + CO_2$$

$$(NH_4)_2CO_3 \overrightarrow{[H^+]} 2NH_3 + H_2O + CO_2$$

Эти реакции протекают в кислой среде, поэтому в муку добавляют лимонную кислоту или смешивают с ней разрыхлитель, готовя так называемый пекарский порошок.

3. Использование микробиологических процессов, которые сопровождаются выделением газов (чаще всего CO_2). Таким путем получают дрожжевое тесто. Под действием дрожжей идет спиртовое брожение:

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{дрожжи}} 2CO_2 + 2C_2H_5OH.$$

Выделяющийся углекислый газ обусловливает разрыхление теста, оно увеличивается в объеме в несколько раз. При производстве пива углекислый газ также образуется в результате микробиологического процесса.

4. Использование электрохимических процессов. При электролизе воды на катоде выделяется водород, а на аноде – кислород. За счет пузырьков газа в присутствии ПАВ, вводимого в раствор, образуется пена. Этот метод применяется при электрофлотации.

Конденсационные методы широко применяются в пищевой промышленности, при производстве пенопластмасс, в бытовых огнетушителях, в технологии производства пенобетона.

Пены характеризуются кратностью, дисперсностью и устойчивостью.

Кратность пены β определяют как отношение объема пены к объему исходного раствора пенообразователя:

$$\beta = \frac{V_{\text{пены}}}{V_{\text{ПАВ}}}.$$

Кратность пены показывает, сколько объемов пены можно получить из одного объема жидкости. Если кратность пены ($\beta \leq 10$), то пены называют жидкими; если кратность пены ($\beta = 10\text{-}1000$), то пены называют сухими.

Дисперсность. Для определения дисперсности пены используют следующие понятия:

– средний радиус пузырька;

– максимальное расстояние между противоположными стенками пузырька (условный диаметр);

– удельная поверхность раздела газ-жидкость.

Устойчивость пен. Пены являются термодинамически неустойчивыми системами. Их образование сопровождается увеличением свободной энергии. Избыточная энергия вызывает самопроизвольные процессы, которые ведут к уменьшению дисперсности и ее разрушению. Минимальное значение свободной энергии достигается при полном разделении пены на две сплошные фазы: жидкость и газ.

Факторы, влияющие на устойчивость пены.

1. Факторы, связанные с наличием пенообразователя. В качестве пенообразователей обычно используются:коллоидные ПАВ (чаще анионные) и ВМС (особенно полиэлектролиты).

2. Факторы, связанные со свойствами дисперсионной среды.

– вязкость, чем больше вязкость, тем устойчивее пена;

– pH среды (определяется типом пенообразователя);

– наличие в жидкости низкомолекулярных электролитов. В жесткой воде (т. е. в

присутствии большого количества солей) кратность и устойчивость пен невысока, а в морской воде она совсем низкая.

3. Факторы, связанные с внешними воздействиями:

– испарение жидкости из пены;

– повышение температуры – усиливает десорбцию молекул пенообразователя, ускоряет испарение жидкости из пленки, понижает вязкость жидкости в пленке. Однако для некоторых пен, стабилизированных ВМС (тесто, белковая пена), термическая обработка приводит к переходу жидкой дисперсионной среды в твердообразную, образуется твердая устойчивая пена;

– механическое воздействие – перемешивание, ветер и т. д. При этом происходит механическое разрушение структуры пены и усиливается испарение жидкости из пленки.

Устойчивость пен определяют:

1. По времени существования пены, т.е. времени, которое прошло с момента образования пены до момента ее полного разрушения. Иногда определяют время разрушения половины объема пены $t_{½}$;

2. При пропускании с заданной скоростью через вспениваемую жидкость пузырьков воздуха и установлении при этом равновесного столба пены. Постоянная высота столба пены устанавливается в тот момент, когда скорость разрушения пены равна скорости образования пены и поэтому служит мерой устойчивости пены;

3. По времени жизни отдельного газового пузырька на поверхности жидкости, граничащей с воздухом. Для этого пузырек воздуха выдавливают в жидкость с помощью капилляра с загнутым концом. Пузырек всплывает и, достигнув поверхности, задерживается там на некоторое время, прежде, чем лопнет. Это время жизни пузырька обычно пропорционально времени существования столба пены в целом.

В ряде случаев пенообразование является нежелательным процессом. Для предупреждения пенообразования используют химические способы, т. е. применяют вещества, препятствующие образованию пены. Кроме того, удаляют из технологических растворов, содержащих ПАВ, стабилизаторы пен. При этом устойчивость пены резко снижается и она самопроизвольно разрушается.

Разрушение пен можно вызвать введением пеногасителей. Методы разрушения пен делятся на химические и нехимические.

1. Химические методы разрушения пен основаны на введении пеногасителей.

Все пеногасители можно разделить на две группы. К первой группе относятся вещества, вступающие в реакцию с пенообразователем и меняющие его природу. Например, если к пене, стабилизированной олеатом натрия, добавить HCl, то произойдет реакция

$$C_{17}H_{33}COONa + HCl = C_{17}H_{33}COOH + NaCl$$

и пенообразователь из сильного электролита ($C_{17}H_{33}COONa$) превратится в слабый ($C_{17}H_{33}COOH$), что значительно уменьшит электростатический фактор устойчивости пены и приведет к разрушению пены.

Ко второй группе относятся вещества, обладающие высокой поверхностной активностью, но не способные образовывать прочные адсорбционные пленки. К ним относятся средние гомологи спиртов, например, октиловый спирт, кетоны, полиамиды жирных кислот, пропиленгликоли, сложные эфиры и т. д. Они вытесняют пенообразователи из поверхностного слоя, делают его менее прочным и способствуют разрыву стенок пузырьков пены (например, при добавлении ацетона к пене, стабилизированной желатином).

2. Нехимические способы разрушения пен делятся на физические и механические:

а) физические способы пеногашения: термические, электрические, ультразвук;

б) механические способы пеногашения: использование диспергаторов, сетки и крыльчатки, струи пара или воздуха, вакуумные устройства и т. д.

Применение пен.

1. Обогащение руд и минералов (пенная флотация).

2. В текстильной промышленности (процесс стирки тканей).

3. В пищевой промышленности (кремы, муссы, торты, конфеты, взбитые сливки, коктейли, мороженое и др.). При производстве сухого картофельного пюре, кофе, овощных и фруктовых пюре, соков, порошков для приготовления шипучих напитков, кормовых дрожжей и т. д. используется пеносушка – сушка с предварительным вспениванием.

4. Противопожарные пены.

5. Твердые пены (пеностекло, пенобетон, пенопласт). Они характеризуются малой объемной массой, высокими звуко- и теплоизолирующими свойствами. Используются для теплоизоляции холодильников, жилых домов.

6. Лекарственные препараты.

Приборы и реактивы. Мерные цилиндры с притертой пробкой на 50-100 мл; мерные колбы на 50 мл – 5 шт.; пипетка на 25 мл; пипетка на 10 мл; пипетка на 5 мл; пипетка на 1 мл; секундомер; 1% раствор желатина; 0.02 моль/л раствор стеарата натрия; 0.01 моль/л KCl; концентрированный раствор HCl; ацетон.

Порядок выполнения работы

Опыт 1.Зависимость устойчивости пены от концентрации пенообразователя – коллоидного ПАВ.

В качестве пенообразователя (коллоидного ПАВ) используется 0.02 моль/мл раствор стеарата натрия ($C_{17}H_{35}COONa$). Из исходного раствора стеарата натрия в мерных колбах на 50 мл путем последовательного разбавления вдвое готовят 5 растворов.

В цилиндр емкостью 50-100 мл с помощью пипетки вносят 10 мл приготовленного раствора (оставшийся раствор сохраняют для опыта 2), закрывают пробкой. Встряхивают содержимое цилиндра в течение 20 с. После прекращения встряхивания включают секундомер, одновременно отмечая объем содержимого цилиндра Vи объем оставшейся жидкости под слоем пены $V_{ост}$. Максимальный объем пены $V_П$вычисляется по уравнению:

$V_П = V - V_{ост.}$ (12.1)

Отмечают время, за которое максимальный объем пены уменьшится вдвое $t_{½}$. Затем опыт повторяют с каждым из приготовленных растворов. Результаты записывают в таблицу 12.1.

Рассчитывают кратность пены β по уравнению:

$\beta = \frac{V_П}{V_Ж}$,(12.2)

где $V_П$– максимальный объем пены; $V_Ж = V_0 - V_{ост.}$, V_0 –исходный объем жидкости (V_0 = 10 мл).

Значения вносят в таблицу 12.1. По результатам опыта строят графики:

1) зависимости максимального объема пены от концентрации стеарата натрия;

2) зависимости кратности пены от концентрации стеарата натрия;

3) зависимости $t_{½}$ от концентрации стеарата натрия.

Делают вывод о влиянии концентрации коллоидного ПАВ на устойчивость пены.

Опыт 2. Влияние электролита на устойчивость пены, стабилизированной коллоидным ПАВ.

Для проведения данного опыта используют растворы стеарата натрия, оставшиеся от предыдущего опыта.

В цилиндр емкостью 50-100 мл с помощью пипетки вносят 9 мл раствора стеарата натрия и 1 мл 0.01 моль/лраствора KCl. Далее опыт проводят как предыдущий.

Результаты записывают в таблицу 12.2. Данные таблицы 12.2 сравнивают с данными таблицы 12.1. Делают вывод о влиянии сильного электролита наустойчивость пены, стабилизированной ионогенным коллоидным ПАВ.

Зависимость устойчивости пены от концентрации стеарата натрия

№	Концентрация стеарата натрия, моль/л	V, мл	$V_{ост.}$, мл	$V_П$, мл	$t_{½}$, с	β
1						

2						
3						
4						
5						

Влияние сильного электролита на пенообразующую способность стеарата натрия

№	Концентрация стеарата натрия, моль/л	Концентрация KCl, моль/л	V, мл	$V_{ост.}$, мл	$V_П$, мл	$t_{½}$, с	β
1							
2							
3							
4							
5							

Опыт 3. Зависимость устойчивости пены от концентрации пенообразователя-полимера.

В качестве пенообразователя используется 1%-ный раствор желатина.

В цилиндр на 50-100 мл с помощью пипетки вносят 10 мл исходного раствора желатина. Закрывают пробкой и встряхивают в течение 20 с. После прекращения встряхивания включают секундомер, одновременно отмечая объем содержимого цилиндра Vи объем оставшейся жидкости $V_{ост}$. Отмечают время, за которое объем пены уменьшится вдвое – $t_{½}$,.

Аналогично проводят опыты с растворами другой концентрации пенообразователя. Результаты записывают в таблицу.

По результатам эксперимента строят графики:

1) зависимости максимального объема пены от концентрации желатина;

2) зависимости кратности пены от концентрации желатина;

3) зависимости $t_{½}$ пены от концентрации желатина.

Зависимость устойчивости пены от концентрации желатина

№	Объем раствора желатина	Объем дистиллированной воды	Концентрация желатина, %	V, мл	$V_{ост.}$, мл	$V_П$, мл	$t_{½}$, c	β
1								
2								
3								
4								
5								

Делают вывод о влиянии концентрации полимера на устойчивость пены.

Опыт 4.Проведение гашения пен с использованием пеногасителей.

В два чистых пронумерованных цилиндра объемом 50-100 мл вносят 10 мл0.02 моль/л раствора стеарата натрия, одновременно встряхивают оба цилиндра в течение 20 с. Определяют максимальный объем пены $V_П$. Затем в один цилиндр добавляют 3 капли концентрированной НС1, а во второй – 3 капли ацетона. Отмечают время, прошедшее от момента добавления пеногасителя до полного разрушения пены.

Аналогично проводят гашение пены, стабилизированной 1%-ным раствором желатина. Данные заносят в таблицу.

Делают вывод об эффективности пеногасителей. Объясняют механизм разрушения пены концентрированной НС1 и ацетоном.

По результатам наблюдений делают вывод о влиянии различных факторов (указывают их) на устойчивость пены.

Исследование влияния природы пеногасителя

на устойчивость пены

№	Пенообразователь	V, мл	$V_{ост.}$, мл	$V_{П}$,мл	Пеногаситель	t, с
1	10 мл 0.02 моль/л раствора стеарата натрия					
2	10 мл 0.02 моль/л раствора стеарата натрия					
3	10 мл 1 % раствора желатина					
4	10 мл 1 % раствора желатина					

Форма отчета. Отчет должен содержать название работы и описание цели ее выполнения, краткий конспект теоретической части, краткое описание методики проведения опытов, заполненные таблицы, графики и выводы.

Контрольные вопросы

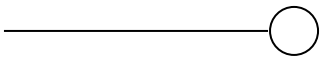
1. Какие системы называются пенами? Какую структуру имеют пены?
2. Назовите методы получения пен.
3. Какими свойствами обладают пены?
4. Являются ли пены термодинамически устойчивыми системами?
5. Как повысить устойчивость пен? Какие вещества используют в качестве пенообразователей?
6. Назовите методы разрушения пен.
7. Где применяются пены?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 (4 часа)
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ МИЦЕЛЛООБРАЗОВАНИЯ (ККМ) КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Цель работы. Изучение кондуктометрического метода определения критической концентрации мицеллообразования (ККМ). Определение критической концентрации мицеллообразования ионогенного коллоидного ПАВ.

Краткие теоретические положения. Вещества, способные снижать поверхностное натяжение растворов, называют поверхностно-активными веществами (ПАВ). По отношению к водным растворам поверхностно-активными являются спирты, жирные кислоты и их соли, амины и другие вещества, имеющие дифильное строение, т. е. полярную часть (функциональную группу) и неполярную часть (углеводородный радикал). Полярная группа является гидрофильной (лиофильной), неполярная часть – гидрофобной (лиофобной).

Молекулы ПАВ изображают так:



неполярная частьполярная группа
(«хвост»)(«голова»).

Особый интерес представляют коллоидные ПАВ. Именно они в первую очередь понимаются под термином ПАВ.

Коллоидные ПАВ – это вещества, которые снижают поверхностное натяжение на границе раздела фаз, а также при определенных концентрациях способны к самопроизвольному мицеллообразованию, т. е. образованию новой фазы.

Мицеллы коллоидных ПАВ формируют дисперсную фазу, при этом образуется граница раздела фаз между мицеллами и дисперсионной средой.

Такие растворы характеризуются свойствами коллоидных растворов – дисперсностью и гетерогенностью – и называются лиофильными коллоидными растворами.

При малых концентрациях коллоидные ПАВ образуют истинный раствор, при этом часть молекул ПАВ адсорбируется на границе раздела фаз. При увеличении концентрации раствора в нем самопроизвольно происходит образование сферических мицелл – мицелл Гартли, при этом раствор становится гетерогенным. Мицелла Гартли – это ассоциат дифильных молекул, лиофильные группы которых обращены к растворителю, а лиофобные группы соединяются друг с другом, образуя ядро (рис. 7.1).

Концентрация ПАВ в растворе, при которой истинный раствор ПАВ переходит в коллоидный, называется критической концентрацией мицеллообразования (ККМ).

ККМ – важнейшая отличительная особенность коллоидных ПАВ. Величина ККМ лежит обычно в пределах 10^{-3}-10^{-6} моль/л.

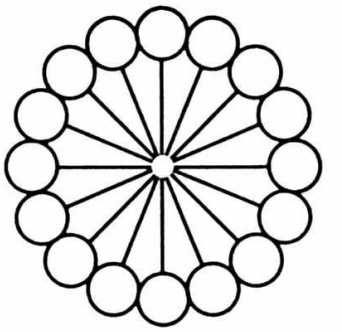


Рис. 7.1. Мицелла Гартли.

При концентрации выше ККМ в растворе увеличивается число мицелл и изменяется их форма. Сферические мицеллы стремятся принять пластинчатую, цилиндрическую, дискообразную и палочкообразную формы.

Факторы, влияющие на величину ККМ:

– строение и длина углеводородного радикала ПАВ;

– характер полярной группы ПАВ;

– наличие в растворе электролитов;

– температура.

Методы определения критической концентрации мицеллообразования основаны на регистрации резкого изменения физико-химических свойств растворов ПАВ при переходе от истинного раствора к коллоидному.

Для определения ККМ используются следующие методы:

1) кондуктометрический метод;

2) метод, основанный на измерении поверхностного натяжения растворов ПАВ;

3) спектрофотометрический метод;

4) метод фотонефелометрии и др.

Кондуктометрическое определение ККМ основано на измерении концентрационной зависимости электрической проводимости растворов ионогенных коллоидных ПАВ. При концентрациях раствора ПАВ ниже ККМ зависимости удельной и молярной электрических проводимостей соответствуют аналогичным зависимостям для растворов средних по силе электролитов, так как происходит их диссоциация, например

$$n\ RCOONa \rightarrow n\ RCOO^- + n\ Na^+$$

(гидролизом соли пренебрегают).

Образование сферических мицелл

$$n\ RCOO^- + n\ Na^+ \Leftrightarrow (RCOO^-)_n + n\ Na^+$$

приводит к уменьшению их подвижностей по сравнению с подвижностями отдельных ионов. Кроме того, значительная часть противоионов находится в плотном слое коллоидной частицы мицеллы и, значит, не участвует в переносе электричества, что замедляет рост проводимости раствора.

Зависимость удельной электрической проводимости χ от концентрации коллоидно-

го ПАВ представлена на рис. 7.2. Точка перегиба, при которой наблюдается замедление роста удельной проводимости, соответствует ККМ.

Так как молярная электрическая проводимость зависит от подвижностей ионов, находящихся в растворе, то по мере образования мицелл и увеличения их размеров молярная электрическая проводимость раствора уменьшается. Это падение продолжается до тех пор, пока не установится постоянная величина подвижностей ионов, т. е. пока раствор не перейдет в мицеллярное состояние.

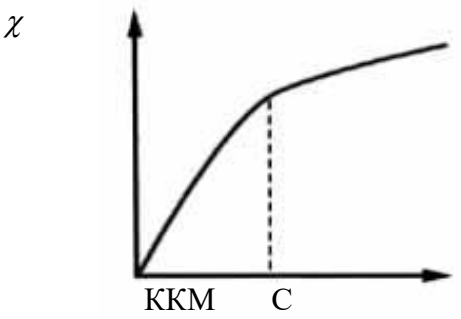


Рис. 7.2. Зависимость удельной электрической проводимости от концентрации коллоидного ПАВ.

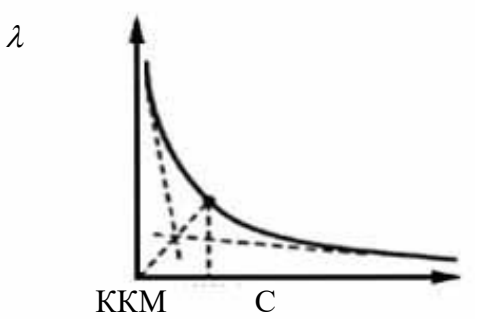


Рис. 7.3. Зависимость молярной электрической проводимости от концентрации коллоидного ПАВ.

Точка перегиба на кривой зависимости молярной электрической проводимости от концентрации раствора коллоидного ПАВ соответствует величине ККМ (рис. 7.3).

Приборы и реактивы. Кондуктометр; кондуктометрическая ячейка с платиновыми электродами; стакан на 50 мл; пипетки на 20 мл; раствор ионогенного коллоидного ПАВ (например, 0.02 моль/л раствор стеарата натрия); 0.02 моль/л KCl.

Порядок выполнения работы. Предварительно определяют константу кондуктометрической ячейки, используя раствор KCl концентрации 0.02 моль/л и 0.01 моль/л, полученный разбавлением исходного раствора. В ячейку наливают столько раствора, чтобы электроды были полностью погружены в него. Константу ячейки вычисляют по формуле:

$$K = \frac{\chi}{L}, \quad (7.1)$$

где χ – значения удельной электрической проводимости раствора KCl, соответствующей концентрации при температуре эксперимента (см. Приложение), См·см$^{-1}$; L – электрическая проводимость раствора KCl соответствующей концентрации, измеренная на кондуктометре, См.

После измерения проводимости раствора KCl ячейку тщательно промывают дистиллированной водой.

20 мл исходного раствора ионогенного коллоидного ПАВ выливают в кондуктометрическую ячейку и измеряют проводимость. Затем готовят следующий раствор путем разбавления вдвое предыдущего раствора. Для этого отбирают мерной пипеткой 10 мл исходного раствора коллоидного ПАВ и добавляют 10 мл дистиллированной водой. Приготовленный раствор тщательно перемешивают и измеряют проводимость. Таким же образом готовят остальные растворы (всего 8) и измеряют их электрические проводимости. Все растворы готовят непосредственно перед измерением для того, чтобы предотвратить процесс гидролиза коллоидного ПАВ.

Удельную электрическую проводимость вычисляют по формуле

$$\chi = K_{ср.} \cdot L, \quad (7.2)$$

где $K_{ср}$– среднее арифметическое значение констант, полученных для растворов КС1 концентраций 0.01 и 0.02 моль/л; L – электрическая проводимость коллоидных ПАВ, измеренная на кондуктометре, См.

Молярную электрическую проводимость вычисляют по формуле:

$$\lambda = \frac{\chi \cdot 1000}{C}, (7.3)$$

где C – концентрация раствора коллоидного ПАВ, моль/л.

Результаты вычислений записывают в таблицу 7.1.

Затем строят графики зависимости удельной и молярной электрической проводимости от концентрации $\chi = f(C_{ПАВ})$ и $\lambda = f(C_{ПАВ})$. Из графиков определяют критическую концентрацию мицеллообразования исследуемого коллоидного ПАВ.

Таблица 7.1

Результаты кондуктометрических измерений и вычислений

$C_{ПАВ}$, моль/л	L, См	χ, См·см$^{-1}$	λ, См·см^2·моль$^{-1}$

Форма отчета.Отчет должен содержать название и цель работы, краткие теоретические положения, описание хода работы, таблицу экспериментальных данных, графики на миллиметровой бумаге, вывод.

Контрольные вопросы

1. Что называется критической концентрацией мицеллообразования (ККМ)?
2. От каких факторов зависит величина ККМ?
3. В чем состоит сущность кондуктометрического метода определения ККМ?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10 (4 часа)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНОЙ МАССЫ ПОЛИМЕРА ВИСКОЗИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАБУХАНИЯ ЖЕЛАТИНА В ВОДНЫХ РАСТВОРА

Цель работы. Изучение зависимости вязкости раствора от концентрации полимера. Определение молекулярной массы полимера.

Краткие теоретические положения. Важной количественной характеристикой высокомолекулярных соединений (ВМС) является молекулярная масса полимера.

Все методы определения молекулярных масс полимеров могут быть разделены на четыре группы:

1. Химические методы (основаны на определении количества реакционных групп макромолекул).
2. Термодинамические методы (осмометрия, криоскопия, эбулиоскопия).
3. Оптический метод (метод светорассеяния).
4. Молекулярно-кинетические методы (вискозиметрия, диффузионный метод, ультрацентрифугирование).

Наиболее простым, хотя и менее точным, является вискозиметрический метод, основанный на измерении зависимости вязкости от концентрации раствора.

Вязкость растворов, содержащих макромолекулы, обычно выше вязкости растворов низкомолекулярных веществ и коллоидных растворов тех же концентраций. Вязкость растворов высокомолекулярных веществ сравнивают с вязкостью растворителя. Для растворов ВМС различают относительную, удельную, приведенную и характеристическую вязкость.

Относительная вязкость ($\eta_{отн.}$) – это отношение вязкости раствора η к вязкости растворителя η_0:

$$\eta_{отн.} = \frac{\eta}{\eta_0}. (8.1)$$

Из уравнения Пуазейля следует:

$$\eta = \frac{\pi r^4 Pt}{8lV} = KPt \text{, где } K = \frac{\pi r^4}{8lV}.$$

Давление прямо пропорционально плотности жидкости, следовательно

$$\eta = K\rho t.$$

Так как плотность разбавленного раствора и плотность растворителя практически одинаковы, то

$$\eta = Kt.$$

Тогда для относительной вязкости получают

$$\eta_{отн.} = \frac{\eta}{\eta_0} = \frac{t}{t_0}, (8.2)$$

где t и t_0 – время истечения раствора и растворителя.

Удельная вязкость ($\eta_{уд.}$) – относительное изменение вязкости растворителя при введении в него полимера

$$\eta_{уд.} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \frac{\eta}{\eta_0} - 1 = \eta_{отн.} - 1. (8.3)$$

Приведенная вязкость ($\eta_{прив.}$) – это отношение удельной вязкости к единице концентрации раствора

$$\eta_{прив.} = \frac{\eta_{уд.}}{C}. (8.4)$$

Характеристическая вязкость $[\eta]$ – представляет собой приведенную вязкость при бесконечно большом разбавлении раствора

$$[\eta] = \lim_{C \to 0} \frac{\eta_{уд.}}{C}.$$

Для разбавленных растворов полимеров характеристическая вязкость может быть определена графическим методом (рис.8.1). По оси ординат откладывают значения приведенной вязкости, определенные экспериментально для разбавленных растворов полимера различной концентрации, а по оси абсцисс – соответствующие концентрации. Отрезок, отсекаемый полученной прямой на оси ординат, соответствует характеристической вязкости.

Характеристическая вязкость связана с молекулярной массой полимера уравнением Марка-Хаувинка

$$[\eta] = KM^{\alpha}, (8.5)$$

где K и α– константы, зависящие от природы растворителя и полимера (значения констант для некоторых полимеров приведены таблице 8.1.

Для расчета молекулярной массы уравнение (8.4) записывают в логарифмической форме:

$$\lg [\eta] = \lg K + \alpha \lg M.$$

Отсюда

$$\lg M = \frac{\lg [\eta] - \lg K}{\alpha}$$

или

$$\lg M = \frac{\lg ([\eta]/K)}{\alpha}. (8.6)$$

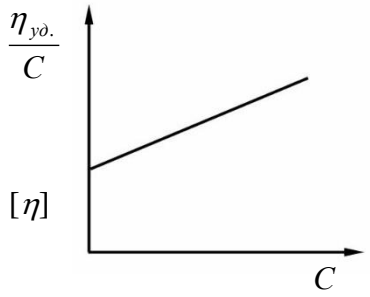


Рис. 8.1. График для определения характеристической вязкости.

Таблица 8.1

Константы K и α в уравнении Марка-Хаувинка

Полимер	Растворитель	Температура, °С	$K \cdot 10^{-4}$	α
крахмал	вода	25	1.32	0.68
полистирол	бензол толуол	25 25	4.17 1.18	0.6 0.72
поливиниловый спирт	вода	25	5.95	0.63
поливинилацетат	ацетон	25	1.88	0.69

Взяв антилогарифм, рассчитывают значение молекулярной массы полимера.

Приборы и реактивы. Вискозиметр; секундомер; химический стакан, мерная колба на 100 мл; электрическая плитка; 1% раствор крахмала; дистиллированная вода.

Порядок выполнения работы. Получают 1%-ный раствор крахмала. Для этого 1 г крахмала тщательно смешивают с 10 мл дистиллированной воды, прибавляют еще 90 мл дистиллированной воды и при постоянном перемешивании доводят до кипения. Полученный раствор крахмала охлаждают до комнатной температуры.

Затем из исходного раствора разбавлением готовят растворы различных концентраций (табл. 8.2).

Определение вязкости проводят с помощью капиллярного вискозиметра (см. лабораторную работу № 5, рис. 5.1).

При определении молекулярного веса полимера вискозиметрическим методом измеряют время истечения растворителя и растворов через вискозиметр, рассчитывают

Таблица 8.2

Исходные данные, результаты измерений и расчетов

№	Объем исходного раствора полимера, мл	Объем воды, мл	Концентрация раствора, %	Время, сек			$t_{ср.}$, сек	$\eta_{отн.}$	$\eta_{уд.}$	$\eta_{уд.}/C$
				1	2	3				
1	0	20	–							
2	5	15	0.25							
3	10	10	0.5							
4	15	5	0.75							
5	20	0	1.0							

$\eta_{отн.}$, $\eta_{уд.}$ и $\eta_{прив.}$ для растворов различной концентрации. Строят график зависимости $\eta_{прив.}$ от концентрации. Определяют по графику [η] и, используя уравнение (8.6), рассчитывают молекулярную массу высокомолекулярного вещества (значения K и α находят в таблице 8.1).

Исходные данные и результаты вносят в таблицу 8.2.

Форма отчета. Отчет должен содержать название и цель работы, краткие теоретические положения, описание хода работы, таблицу экспериментальных данных, график $\eta_{прив.} = f(C)$, расчет молекулярной массы полимера, вывод.

Контрольные вопросы

1. Какие соединения называются высокомолекулярными?
2. В чем заключается метод вискозиметрии?
3. Что такое относительная, удельная, приведенная и характеристическая вязкость?
4. Какое уравнение связывает характеристическую вязкость и молекулярную массу полимеров?

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАБУХАНИЯ ЖЕЛАТИНА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ

Цель работы. Изучение влияния pH растворов и природы растворенных веществ на набухание желатина.

Краткие теоретические положения. Большинство коллоидных растворов ВМС (агар-агар, желатин), а также некоторые коллоидные растворы (золи гидроксида железа(III), кремниевой кислоты) способны при определенных условиях целиком переходить в особое твердое состояние без видимого разделения на фазы. При этом образуются гели (студни).

Гели (студни) – дисперсные системы с жидкой дисперсионной средой, в которых частицы дисперсной фазы образуют пространственную структурную сетку. Представляют собой твердообразные («студенистые») тела, способные сохранять форму, обладающие упругостью (эластичностью) и пластичностью.

Гели образуются из лиофобных коллоидных растворов. Студни получают из растворов ВМС или в результате ограниченного набухания ВМС.

Способы получения студней могут быть разделены на 2 группы:

1. Желатинирование растворов.
2. Набухание сухих веществ в жидких средах.

Желатинирование (застуденевание) – это процесс перехода золя или раствора полимера в студень. Желатинирование является своеобразной коагуляцией, при которой дисперсионная среда выпадает в осадок одновременно с дисперсной фазой.

Желатинирование происходит при сильном связывании частиц золя с дисперсионной средой. Отдельные удлиненные мицеллы, сталкиваясь между собой, соединяются лиофобными участками. В результате образуется рыхлая сетка (каркас), которая охватывает весь объем раствора, что приводит к утрате подвижности системы (рис. 9.1). Связи между частицами дисперсной фазы могут также образовываться за счет взаимодействия полярных и ионогенных групп макромолекул.

Соединение частиц дисперсной фазы в сетку может быть непрочным, поэтому при встряхивании происходит разрушение структуры студня и получается раствор, который при стоянии может опять застыть. Это явление называется тиксотропией.

Набухание – процесс одностороннего поглощения или адсорбции низкомолекулярных жидкостей (или их паров) полимером, сопровождающийся увеличением его массы, объема и изменением структуры.

Различают неограниченное и ограниченное набухание.

Неограниченное – набухание полимера, самопроизвольно переходящее в растворение (равномерное распределение молекул ВМС по всему объему растворителя).

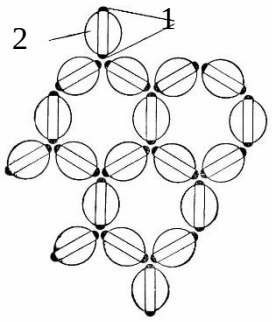


Рис. 9.1. Схема структуры студня:

1 – лиофобные участки;
2 – сольватная оболочка.

Растворение– самопроизвольный процесс образования термодинамически устойчивой и гомогенной (однофазной) системы.

Ограниченное– набухание, не сопровождающееся растворением. Наблюдается при невысоком термодинамическом сродстве полимера и растворителя, а также характерно для полимеров, макромолекулы которых соединены прочными поперечными связями в пространственную сетку.

Количественной мерой набухания является степень набухания α, которая характеризует увеличение массы или объема полимера в результате его набухания.

Массовое набухание:

$$\alpha = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%,$$

объемное набухание:

$$\alpha = \frac{V - V_0}{V_0} \cdot 100\%,$$

где m_0, V_0 – начальная масса и объем полимера; m, V – масса и объем набухшего полимера.

Анализ изменения степени набухания в различных условиях позволяет судить о структуре полимера и его свойствах.

Факторы, влияющие на степень набухания:

1. Природа полимера и растворителя – полярные полимеры набухают в полярных жидкостях (белок в воде), неполярные – в неполярных (каучук в бензоле).

2. Жесткость полимерных цепей. У жестких полимеров со сшитой структурой степень набухания мала. Например, эбонит (сильно вулканизированная резина) практически не набухает в бензоле ($\alpha \approx 0$), тогда как каучуки (сшитая структура) в бензоле набухают неограниченно.

3. Присутствие электролитов. По способности влиять на процесс набухания анионы (при одном и том же катионе) могут быть расположены в лиотропный ряд:

$$SO_4^{2-} > C_6H_5O_7^{3-} \text{ (цитрат)} > C_4H_4O_6^{2-} \text{ (тартрат)} >$$
$$> CH_3COO^- > Cl^- > (H_2O) > NO_3^- > Br^- > I^- > SCN^-.$$

При этом ионы левее H_2O увеличивают степень набухания, а правее – замедляют или прекращают набухание (например, SCN^-).

4. pH среды. Минимальное набухание студни обнаруживают в изоэлектрической точке (например, для желатина при pH = 4.7). Изоэлектрическая точка – значение pH, при котором частицы находятся в нейтральном состоянии. В изоэлектрическом состоянии макромолекулы не заряжены, степень гидратации полярных групп минимальна и гибкая макромолекула сворачивается в клубок. При повышении pH или понижении pH степень набухания увеличивается (рис. 9.2).

5. Температура. При увеличении температуры набухание из ограниченного может переходить в неограниченное (например, желатин в холодной воде ограниченно набухает, в горячей – происходит неограниченное набухание).

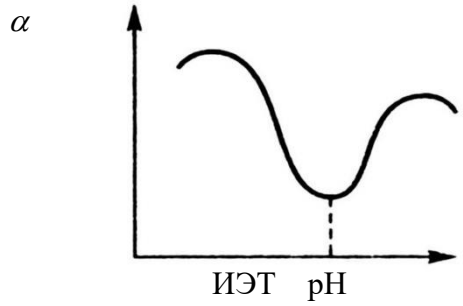


Рис. 9.2. Зависимость степени набухания от величины pH.

Опыт 1. Зависимость степени набухания желатина от pH раствора

Приборы и реактивы. Шесть мерных цилиндров на 10 мл; карандаш для стекла; пипетки на 10 мл; измельченный сухой желатин; 0.1 моль/л CH_3COOH; 0.1 моль/л CH_3COONa; дистиллированная вода.

Порядок выполнения работы. В сухие мерные цилиндры насыпают по 1 мл порошка желатина, нумеруют их и вливают компоненты ацетатной буферной смеси в соответствии с таблицей 9.1. Содержимое цилиндров перемешивают встряхиванием и оставляют, изредка перемешивая. Через 1 час измеряют объем набухшего желатина.

Вычисляют степень набухания по формуле (9.2) и строят график зависимости степени набухания от pH растворов. Результаты работы записывают в таблицу 9.1.

Влияние pH на набухание желатина

№	Состав буферной смеси		pH	Объем желатина		Степень набухания, α
	CH_3COOH	CH_3COONa		до набухания	после набухания	
1	9	1				
2	7	3				
3	5	5				
4	3	7				
5	1	9				
6	10 мл дистиллированной воды					

Влияние природы растворителя на степень набухания

Измеряемые величины	Электролиты					
	K_2SO_4	CH_3COOK	KCl	H_2O	KI	KSCN
Объем желатина до набухания						
Объем желатина после набухания						
Степень набухания, %						

Опыт 2. Влияние электролитов на степень набухания желатина

Приборы и реактивы. Шесть мерных цилиндров на 10 мл; карандаш для стекла; пипетки на 10 мл; измельченный сухой желатин; 1 моль/л растворы: K_2SO_4; CH_3COOK; KCl, KI, KSCN; дистиллированная вода.

Порядок выполнения работы. В сухие мерные цилиндры насыпают по 1 мл порошка желатина и нумеруют их. В первую пробирку добавляют 10 мл дистиллированной воды, в остальные – по 10 мл растворов электролитов. Содержимое цилиндров тщательно перемешивают и оставляют, изредка перемешивая. Через 1 час измеряют объем набухшего желатина и рассчитывают степень набухания по формуле (9.2). Полученные данные заносят в таблицу 9.2.

Форма отчета. Отчет должен содержать название, цель работы, краткие теоретические положения, порядок выполнения эксперимента, расчеты степени набухания, график $\alpha = f$(pH),выводы по результатам работы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение гелям (студням). Какие способы получения гелей (студней) известны?
2. Что называется набуханием, и от каких факторов оно зависит?
3. Какое влияние оказывает pH среды на процесс набухания?
4. Каким образом электролиты влияют на степень набухания?

6 ДИДАКТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ (САМОКОНТРОЛЯ) УСВОЕННОГО МАТЕРИАЛА

6.1 Оценочные средства, показатели и критерии оценивания компетенций

Индекс компетенции	Оценочное средство	Показатели оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций
ПК-2	Отчет по лабораторной работе	Низкий – неудовлетворительно	ставится, если допущены существенные ошибки (в ходе эксперимента, в объяснении, в оформлении работы, по технике безопасности, в работе с веществами и приборами), которые не исправляются даже по указанию преподавателя.
		Пороговый – удовлетворительно	ставится, если допущены одна-две существенные ошибки (в ходе эксперимента, в объяснении, в оформлении работы, по технике безопасности, в работе с веществами и приборами), которые исправляются с помощью преподавателя.
		Базовый – хорошо	а) работа выполнена правильно, без существенных ошибок, сделаны выводы; б) допустимы: неполнота проведения или оформления эксперимента, одна-две несущественные ошибки в проведении или оформлении эксперимента, в правилах работы с веществами и приборами
		Высокий – отлично	а) работа выполнена полно, правильно, без существенных ошибок, сделаны выводы; б) эксперимент осуществлен по плану с учетом техники безопасности и правил работы с веществами и приборами; в) имеются организационные навыки (поддерживается чистота рабочего места и порядок на столе, экономно используются реактивы).
ПК-2	Коллоквиум	Низкий – неудовлетворительно	- незнание программного материала; - при ответе возникают ошибки; - затруднения при выполнении практических работ.
		Пороговый – удовлетворительно	- усвоение основного материала; - при ответе допускаются неточности; - при ответе недостаточно правильные формулировки; - нарушение последовательности в изложении программного материала; - затруднения в выполнении практических заданий.
		Базовый – хорошо	- знание программного материала; - грамотное изложение, без существен-

			ных неточностей в ответе на вопрос; - правильное применение теоретических знаний; - владение необходимыми навыками при выполнении и практических задач.
		Высокий – отлично	- глубокое и прочное усвоение программного материала; - полные , последовательные , грамотные и логически излагаемые ответы при видоизменении задания; - свободно справляющиеся с поставленными задачами, знания материала; - правильно обоснованные принятые решения; - владение разносторонними навыками и приемами выполнения практических работ.
	Контрольная работа	Низкий – неудовлетворительно	допустил число ошибок и недочетов превосходящее норму, при которой может быть выставлена оценка «3»
		Пороговый – удовлетворительно	если студент правильно выполнил не менее половины работы или допустил: не более двух грубых ошибок; или не более одной грубой и одной негрубой ошибки и одного недочета; или не более двух-трех негрубых ошибок; или одной негрубой ошибки и трех недочетов; или при отсутствии ошибок, но при наличии четырех-пяти недочетов.
		Базовый – хорошо	студент выполнил работу полностью, но допустил в ней: не более одной негрубой ошибки и одного недочета или не более двух недочетов
		Высокий – отлично	работа выполнена без ошибок, указаны все расчетные формулы, единицы измерения, без ошибок выполнены математические расчеты
ПК-2	Тест	Низкий – до 60 баллов (неудовлетворительно)	за верно выполненное задание тестируемый получает максимальное количество баллов, предусмотренное для этого задания, за неверно выполненное – ноль баллов. После прохождения теста суммируются результаты выполнения всех заданий. Подсчитывается процент правильно выполненных заданий теста, после чего этот процент переводится в оценку, руководствуясь указанными критериями оценивания.
		Пороговый – 61-75 баллов (удовлетворительно)	
		Базовый – 76-84 баллов (хорошо)	
		Высокий – 85-100 баллов (отлично)	
	Реферат	Низкий – неудовлетворительно	тема реферата не раскрыта, обнаруживается существенное непонимание проблемы.

		Пороговый – удовлетворительно	имеются существенные отступления от требований к реферированию. В частности: тема освещена лишь частично; допущены фактические ошибки в содержании реферата или при ответе на дополнительные вопросы; во время защиты отсутствует вывод.
		Базовый – хорошо	основные требования к реферату и его защите выполнены, но при этом допущены недочёты. В частности, имеются неточности в изложении материала; отсутствует логическая последовательность в суждениях; не выдержан объём реферата; имеются упущения в оформлении; на дополнительные вопросы при защите даны неполные ответы.
		Высокий – отлично	выполнены все требования к написанию и защите реферата: обозначена проблема и обоснована её актуальность, сделан краткий анализ различных точек зрения на рассматриваемую проблему и логично изложена собственная позиция, сформулированы выводы, тема раскрыта полностью, выдержан объём, соблюдены требования к внешнему оформлению, даны правильные ответы на дополнительные вопросы.
	Учебные задачи	Низкий – неудовлетворительно	допустил число ошибок и недочетов превосходящее норму, при которой может быть выставлена оценка «3»
		Пороговый – удовлетворительно	студент правильно выполнил не менее половины работы или допустил: не более двух грубых ошибок; или не более одной грубой и одной негрубой ошибки и одного недочета; или не более двух-трех негрубых ошибок; или одной негрубой ошибки и трех недочетов; или при отсутствии ошибок, но при наличии четырех-пяти недочетов.
		Базовый – хорошо	студент выполнил работу полностью, но допустил в ней: не более одной негрубой ошибки и одного недочета или не более двух недочетов
		Высокий – отлично	работа выполнена без ошибок, указаны все расчетные формулы, единицы измерения, без ошибок выполнены математические расчеты

6.2 Промежуточная аттестация студентов по дисциплине

Промежуточная аттестация является проверкой всех знаний, навыков и умений студентов, приобретённых в процессе изучения дисциплины. Формой промежуточной аттестации по дисциплине является зачет.

Для оценивания результатов освоения дисциплины применяется следующие критерии оценивания.

Критерии оценивания устного ответа на зачете

Оценка «зачтено» выставляется студенту, если:

1) вопросы раскрыты, изложены логично, без существенных ошибок;
2) показано умение иллюстрировать теоретические положения конкретными примерами;
3) продемонстрировано усвоение ранее изученных вопросов, сформированность компетенций, устойчивость используемых умений и навыков.

Допускаются незначительные ошибки.

Оценка «не зачтено» выставляется, если:

1) не раскрыто основное содержание учебного материала;
2) обнаружено незнание или непонимание большей или наиболее важной части учебного материала;
3) допущены ошибки в определении понятий, которые не исправлены после нескольких наводящих вопросов;
4) не сформированы компетенции, умения и навыки.

Вопросы к зачету

1. Признаки объектов коллоидной химии.
2. Классификация дисперсных систем.
3. Строение мицеллы. Мицеллярные формулы.
4. Дисперсионные методы получения дисперсных систем.
5. Конденсационные методы получения дисперсных систем.
6. Броуновское движение и диффузия коллоидных частиц.
7. Рассеяние света в дисперсных системах.
8. Электрокинетические свойства дисперсных систем.
9. Вязкость коллоидных систем. Измерение вязкости.
10. Виды устойчивости дисперсных систем.
11. Коагуляция дисперсных систем. Определение порога коагуляции.
12. Взаимная коагуляция золей.

6.3 Оценочные средства для проверки уровня сформированности компетенций: ПК-2

Тесты содержат следующие типы заданий

Тип задания	№ задания	Вес задания (балл)	Результат оценивания (баллы, полученные за выполнение задания / характеристика правильности ответа)
задания закрытого типа с выбором одного правильного (1 из 4)	1, 2, 3	1 балл	1 б - полное правильное соответствие; 0 б - остальные случаи
задания закрытого типа с выбором нескольких правильных ответов (3 из 6)	4, 5, 6, 7	2 балла	2 б – полное правильное соответствие (последовательность вариантов ответа может быть любой); 1 б – если допущена одна ошибка / ответ правильный, но не полный; 0 б – остальные случаи
задания закрытого типа на установление соответствия (4 на 4)	8, 9	2 балла	2 б – полное правильное соответствие; 1 б – если допущена одна ошибка / ответ правильный, но не полный; 0 б – остальные случаи
задание закрытого типа на установление	10, 11	2 балла	2 б – полное правильное соответствие; 1 б – если допущена одна ошибка / ответ пра-

последовательности			вильный, но не полный; 0 б – остальные случаи
задания открытого типа с кратким ответом	12, 13	3 балла	3 б – полное правильное соответствие; 0 б – остальные случаи.
задания открытого типа с развернутым ответом	14, 15	5 баллов	5 б – полное правильное соответствие; если допущена одна ошибка/неточность / ответ правильный, но не полный - 3 балла; если допущено более одной ошибки / ответ неправильный / ответ отсутствует – 0 баллов

Формируемая компетенция	Индикаторы сформированности компетенции
ПК-2. Способен осуществлять педагогическую деятельность по профильным предметам (дисциплинам, модулям) в рамках программ основного общего и среднего общего образования, **индикаторами** достижения которой являются:	• ПК-2.2 Применяет основы теории фундаментальных и прикладных разделов химии (неорганической, аналитической, органической, физической, химии ВМС, химических основ биологических процессов, химической технологии) для решения теоретических и практических задач.

Задание 1. Какая из перечисленных систем относится к лиофобным золям?
1. Раствор сахарозы в воде
2. Раствор желатина в теплой воде
3. Золь гидроксида железа(III) в воде
4. Раствор поливинилового спирта

Ответ: 3

Задание 2. Какой метод получения золей основан на замене растворителя, в котором вещество хорошо растворимо, на другой, где его растворимость резко падает?
1. Метод электрического распыления
2. Метод пептизации
3. Метод окисления
4. Метод замены растворителя

Ответ: 4

Задание 3. Согласно правилу Шульце-Гарди, коагулирующая способность иона-коагулянта зависит в первую очередь от:
1. Его полярности
2. Его размера
3. Его валентности
4. Его поляризуемости

Ответ: 3

Задание 4. Какие из перечисленных методов относятся к конденсационным методам получения золей?
1. Восстановление
2. Диализ
3. Замена растворителя
4. Пептизация
5. Гидролиз
6. Механическое диспергирование

Ответ: 1, 3, 5

Задание 5. Какие из перечисленных факторов способствуют агрегативной устойчивости лиофобных золей?
1. Наличие на частицах двойного электрического слоя
2. Высокая температура
3. Наличие адсорбционно-сольватного барьера
4. Высокая концентрация электролита
5. Броуновское движение
6. Коллоидная защита

Ответ: 1, 3, 6

Задание 6. Какие из перечисленных систем являются связнодисперсными?
1. Гели
2. Золи
3. Пасты
4. Аэрозоли
5. Порошки
6. Суспензии

Ответ: 1, 3, 5

Задание 7. Какие из перечисленных величин используются для описания реологических свойств дисперсных систем?
1. Вязкость
2. Электрокинетический потенциал
3. Предел текучести
4. Удельная поверхность
5. Пластичность
6. Порог коагуляции

Ответ: 1, 3, 5

Задание 8. Установите соответствие между типом дисперсной системы и ее описанием:
Эмульсия : Дисперсная система с жидкой дисперсной фазой и жидкой дисперсионной средой
Аэрозоль : Дисперсная система с твердой дисперсной фазой и газообразной дисперсионной средой
Пена : Дисперсная система с газообразной дисперсной фазой и жидкой дисперсионной средой
Суспензия : Дисперсная система с твердой дисперсной фазой и жидкой дисперсионной средой

Задание 9. Установите соответствие между методом исследования и свойством дисперсной системы, которое он характеризует:
Ультрамикроскопия : Наблюдение броуновского движения
Электрофорез : Определение электрокинетического потенциала
Вискозиметрия : Определение молекулярной массы ВМС
Нефелометрия : Определение размера и формы частиц по рассеянию света

Задание 10. Восстановите последовательность стадий процесса набухания ВМС:
1 : Сольватация поверхностных групп полимера
2 : Проникновение молекул растворителя в полимер
3 : Раздвижение макромолекул

4 : Образование гомогенного раствора (в случае неограниченного набухания)

Задание 11. Восстановите последовательность операций при очистке золя методом диализа:
1 : Приготовление золя
2 : Помещение золя в диализатор (мешок из полупроницаемой мембраны)
3 : Погружение диализатора в сосуд с дистиллированной водой
4 : Регулярная смена воды для удаления низкомолекулярных примесей

Задание 12. Процесс самопроизвольного диспергирования, приводящий к образованию коллоидного раствора, называется _____.
Ответ: пептизацией

Задание 13. Упруго-вязкие свойства гелей, проявляющиеся в способности разжижаться при механическом воздействии и застудневать в покое, называются _____.
Ответ: тиксотропией

Задание 14. Опишите механизм моющего действия синтетических моющих средств (СМС) с точки зрения коллоидной химии.
Ответ: Механизм моющего действия СМС включает несколько стадий:
1. *Смачивание:* Молекулы ПАВ снижают поверхностное натяжение воды, способствуя ее проникновению в поры загрязнения и отрыву его от поверхности.
2. *Эмульгирование и пептизация:* ПАВ способствуют диспергированию жировых и твердых загрязнений в воде с образованием эмульсий и стабилизированных золей.
3. *Солюбилизация:* Нерастворимые в воде загрязнения (например, жиры) растворяются в мицеллах ПАВ.
4. *Стабилизация:* Адсорбируясь на частицах загрязнения, ПАВ создают электростатический и/или стерический барьер, препятствующий их повторному осаждению на ткань.

Задание 15. Каковы основные причины устойчивости пен и эмульсий?
1. *Наличие адсорбционных слоев стабилизатора* на поверхности раздела фаз, которые снижают поверхностное натяжение и создают структурно-механический барьер, препятствующий коалесценции (слиянию пузырьков или капель).
2. *Наличие двойного электрического слоя*, вызывающего электростатическое отталкивание между каплями или пузырьками.
3. *Увеличение вязкости дисперсионной среды*, замедляющее процессы расслоения.

7 ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ

Информационные технологии – обучение в электронной образовательной среде с целью расширения доступа к образовательным ресурсам, увеличения контактного взаимодействия с преподавателем, построения индивидуальных траекторий подготовки, объективного контроля и мониторинга знаний студентов.

В образовательном процессе по дисциплине используются следующие информационные технологии, являющиеся компонентами Электронной информационно-образовательной среды БГПУ:

- Официальный сайт БГПУ;
- Система электронного обучения ФГБОУ ВО «БГПУ»;
- Система тестирования на основе единого портала «Интернет-тестирования в сфере образования www.i-exam.ru»;
- Система «Антиплагиат.ВУЗ»;
- Электронные библиотечные системы;

- Мультимедийное сопровождение лекций и практических занятий.

8 ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ ИНВАЛИДАМИ И ЛИЦАМИ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

При обучении лиц с ограниченными возможностями здоровья применяются адаптивные образовательные технологии в соответствии с условиями, изложенными в разделе «Особенности реализации образовательной программы для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья» основной образовательной программы (использование специальных учебных пособий и дидактических материалов, специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования, предоставление услуг ассистента (помощника), оказывающего обучающимся необходимую техническую помощь и т. п.) с учётом индивидуальных особенностей обучающихся.

9 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

9.1 Литература

1. Щукин, Е. Д. Коллоидная химия : учебник для студ. вузов / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина ; МГУ им. М. В. Ломоносова. - 4-е изд., испр. - М. : Высш. шк., 2006. - 443, [1] с. : ил. (10 экз.)
2. Новикова, Е. В. Коллоидная химия: учебное пособие / Е. В. Новикова, Н. А. Родионова. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2008. – 90 с. (29 экз.)
3. Новикова, Е. В. Практикум по коллоидной химии : учеб. пособие для студ. вузов / Е. В. Новикова ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федеральное агентство по образованию, БГПУ. - Благовещенск : Изд-во БГПУ, 2007. - 115 с. (20 экз.)
4. Практикум по коллоидной химии: учеб. пособие для студ. (бакалавров, преподавателей) технических спец. вузов / под ред. Гельфмана М.И. – СПб. ; М. ; Краснодар : Лань, 2005. – 256 с. : ил. (20 экз.)
5. Балезин, С.А. Основы физической и коллоидной химии / С.А. Балезин. – М. : Просвещение, 1975. – 398 с. (13 экз.)
6. Балезин, С.А. Практикум по физической и коллоидной химии / С.А. Балезин. – М. : Просвещение, 1980. – 272 с. (21 экз.)
7. Фридрихсберг, Д.А. Курс коллоидной химии. — СПб. : «Лань», 2010. – 416 с. (5 экз.)
8. Мягченков, В.А. Поверхностные явления и дисперсные системы : учеб. пособие для студ. вузов / В.А. Мягченков. - 2-е изд., перераб. – М. : КолосС, 2010. – 184, [3] с. : ил. (5 экз.)
9. Практикум и задачник по коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы : учеб. пособие для студ. вузов / В.В. Назарова [и др.] ; под ред. В.Н. Назарова, А.С. Гродского. – М. : Академкнига, 2007. – 372 с. : ил. (5 экз.)

9.2 Базы данных и информационно-справочные системы

1. Сайт о химии http://www.xumuk.ru/
2. Каталог образовательных интернет-ресурсов http://www.edu.ru
3. Популярная библиотека химических элементов https://web.archive.org/web/20161021151915/http://n-t.ru/ri/ps/
4. Электронная библиотека по химии МГУ http://www.chem.msu.su/rus/elibrary/

9.3 Электронно-библиотечные ресурсы

1. Polpred.com Обзор СМИ/Справочник http://polpred.com/news.
2. ЭБС «Юрайт» https://urait.ru/.

10 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА

Для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используются аудитории, оснащённые учебной мебелью, аудиторной доской, компьютером(рами) с установленным лицензионным специализированным программным обеспечением, комму-

татором для выхода в электронно-библиотечную систему и электронную информационно-образовательную среду БГПУ, мультимедийными проекторами, экспозиционными экранами, учебно-наглядными пособиями (таблицы, мультимедийные презентации). Для проведения практических занятий также используется:

Ауд. 445 «А». Лаборатория физической химии

- Стол лабораторный 2-мест. (10 шт.)
- Стул (20 шт.)
- Стол преподавателя (1 шт.)
- Стул преподавателя (1 шт.)
- Пюпитр (1 шт.)
- Аудиторная доска (1 шт.)
- Компьютер с установленным лицензионным специализированным программным обеспечением (3 шт.)
- Мультимедийный проектор (1 шт.)
- Принтер лазерный (2 шт.)
- Экспозиционный экран (навесной) (1 шт.)
- ЯМР-спектрометр низкого разрешения «Спин Трэк» (1 шт.)
- Аквадистиллятор ДЭ-10 (1 шт.)
- Весы GF-300 (1 шт.)
- Весы торсионные ВТ-100 (1 шт.)
- Вискозиметр (4 шт.)
- Иономер (3 шт.)
- Кондуктометр анион-4120 (3 шт.)
- КФК-2 (1 шт.)
- Люксмер (1 шт.)
- Мешалка магнитная П-Э-6100 (2 шт.)
- Модуль «Термический анализ» (3 шт.)
- Модуль «Термостат» (3 шт.)
- Модуль «Универсальный контроллёр» (3 шт.)
- Модуль «Электрохимия» (3 шт.)
- Модуль универсальный (6 шт.)
- Набор сит КП-131(1 шт.)
- Поляриметр (1 шт.)
- Потенциометр (1 шт.)
- Центрифуга лабораторная ОПН-8 (с ротором) (1 шт.)
- Штатив для электродов (2 шт.)
- Эксикатор с краном (1 шт.)
- Модуль «Общелабораторный» (1 шт.)
- Спектрофотометр (1 шт.)
- Спектрофотометр КФК-3КМ (1 шт.)
- Комплект ариометров (1 шт.)
- Метроном (1 шт.)
- Мост реохордный с сосудом
- Термостат ТС-1/80 СПУ (1 шт.)
- Учебно-наглядные пособия - слайды, таблицы, мультимедийные презентации по дисциплине «Коллоидная химия»
- Штативы для пробирок, нагревательные приборы, лабораторная посуда
- Химические реактивы по тематике лабораторных работ

Ауд. 118 «А». Лаборатория естественно-научной направленности педагогического

технопарка «Кванториум-28» им. С.В. Ланкина

- Доска 1-элементная меловая магнитная (1 шт.)
- Парта лабораторная с надстройкой и выдвижным блоком (2 шт.)
- Письменный стол (4 шт.)
- Стол пристенный химический (3 шт.)
- Стол для преподавателя (угловой) правосторонний (1 шт.)
- Стеллаж книжный, 12 ячеек (1 шт.)
- Полка навесная, белая (1 шт.)
- Пуф 80*80 (2 шт.)
- Пуф 52*52 (2 шт.)
- Диван трёхместный (1 шт.)
- Кресло для руководителя Директ плюс (1 шт.)
- Тумба с мойкой накладной для кухонного гарнитура (белая) (2 шт.)
- Кулер Silver Arrow 130 (1 шт.)
- Ноутбук (4 шт.)
- МФУ принтер Brother DCP-L5500 (1 шт.)
- Аппарат Киппа (2 шт.)
- Стерилизатор для лабораторной посуды воздушный (1 шт.)
- Лабораторное оборудование по химии (6 шт.)
- Магнитная мешалка (1 шт.)
- Цифровая лаборатория по химии «Releon» (6 шт.)
- Цифровая лаборатория по физике «Releon» (6 шт.)
- Цифровая лаборатория по биологии «Releon» (6 шт.)
- Учебно-исследовательская лаборатория биосигналов и нейротехнологий (6 шт.)
- Учебная лаборатория точных измерений (6 шт.)

Микроскоп учебный «Эврика» (6 шт.)

Самостоятельная работа студентов организуется в аудиториях оснащенных компьютерной техникой с выходом в электронную информационно-образовательную среду вуза, в специализированных лабораториях по дисциплине, а также в залах доступа в локальную сеть БГПУ, в лаборатории психолого-педагогических исследований и др.

Используемое программное обеспечение: Microsoft®WINEDUperDVC AllLng Upgrade/SoftwareAssurancePack Academic OLV 1License LevelE Platform 1Year; Microsoft®OfficeProPlusEducation AllLng License/SoftwareAssurancePack Academic OLV 1License LevelE Platform 1Year; Dr.Web Security Suite; Java Runtime Environment; Calculate Linux.

Разработчик: Родионова Н.А., кандидат химических наук, доцент кафедры химии.

11 ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ И ДОПОЛНЕНИЙ

Утверждение изменений и дополнений в РПД для реализации в 2023/2024 уч. г.

Рабочая программа дисциплины пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2023/2024 учебном году на заседании кафедры (протокол № 9 от 28 июня 2023 г.).

Утверждение изменений и дополнений в РПД для реализации в 2024/2025 уч. г.

Рабочая программа дисциплины пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2024/2025 учебном году на заседании кафедры (протокол № 8 от 30 мая 2024 г.). В РПД внесены следующие изменения и дополнения:

№ изменения: 2 № страницы с изменением: 62	
В Раздел 9 внесены изменения в список литературы, в базы данных и информационно-справочные системы, в электронно-библиотечные ресурсы. Указаны ссылки, обеспечивающие доступ обучающимся к электронным учебным изданиям и электронным образовательным ресурсам с сайта ФГБОУ ВО «БГПУ».	

Утверждение изменений и дополнений в РПД для реализации в 2025/2026 уч. г.

Рабочая программа дисциплины пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2025/2026 учебном году на заседании кафедры (протокол № 6 от 26 марта 2025 г.).

Утверждение изменений и дополнений в РПД для реализации в 2026/2027 уч. г.

Рабочая программа дисциплины пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026/2027 учебном году на заседании кафедры (протокол № 8 от 13 мая 2026 г.). В РПД внесены следующие изменения и дополнения:

№ изменения: № страницы с изменением:	
Исключить:	Включить: