

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
Сыктывкарский лесной институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
имени С. М. Кирова» (СЛИ)

Кафедра «Общая и прикладная экология»

## **Поверхностные явления и дисперсные системы**

Учебно-методический комплекс по дисциплине  
для студентов направления подготовки 240000 «Химическая и биотехнологии»  
специальности 240406 «Технология химической переработки древесины»  
всех форм обучения

*Самостоятельное учебное электронное издание*

СЫКТЫВКАР 2012

УДК 544  
ББК 24.5  
П42

Рекомендован к изданию в электронном виде кафедрой «Общая и прикладная экология»  
Сыктывкарского лесного института

Утвержден к изданию в электронном виде советом технологического факультета  
Сыктывкарского лесного института

**Составители:**

кандидат геолого-минералогических наук, доцент **Г.Г. Зайнуллин**  
преподаватель **Т.В. Шахова**

**Отв. редактор:**

кандидат технических наук, доцент **О.А. Конык**

**Поверхностные явления и дисперсные системы** [Электронный ресурс] : учеб.-метод. комплекс по дисциплине для студ. направления подготовки 240000 «Химическая и биотехнологии» специальности 240406 «Технология химической переработки древесины» всех форм обучения : самост. учеб. электрон. изд. / Сыкт. лесн. ин-т ; сост.: Зайнуллин Г.Г., Шахова Т.В. – Электрон. дан. – Сыктывкар : СЛИ, 2012. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>. – Загл. с экрана.

В издании помещены материалы для освоения дисциплины «Поверхностные явления и дисперсные системы». Приведены рабочая программа курса, сборник описаний лабораторных работ и методические указания к самостоятельной работе студентов.

УДК 544  
ББК 24.5

---

*Самостоятельное учебное электронное издание*

Составители: **Зайнуллин Геннадий Габдулович**  
**Шахова Татьяна Валериевна**

**Поверхностные явления и дисперсные системы**

Электронный формат – pdf. Объем 3,2 уч.-изд. л.

Сыктывкарский лесной институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова» (СЛИ),

167982, г. Сыктывкар, ул. Ленина, 39, [institut@sfi.komi.com](mailto:institut@sfi.komi.com), [www.sli.komi.com](http://www.sli.komi.com)

Редакционно-издательский отдел СЛИ.

© СЛИ, 2012

© Зайнуллин Г.Г., Шахова Т.В., 2012

## Содержание

I. Рабочая программа для специальности 240406 «Технология химической переработки древесины»	4
II. Методические указания по выполнению лабораторных работ	16
III. Методические указания к самостоятельной работе студентов	36
IV. Контроль знаний студентов	47
V. Библиографический список	52

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Сыктывкарский лесной институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет имени С. М. Кирова»  
(СЛИ)

«СОГЛАСОВАНО»  
Декан технологического факультета  
\_\_\_\_\_ А.А. Самородницкий  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

«УТВЕРЖДАЮ»  
Зам. директора по учебной и научной  
работе \_\_\_\_\_ Л.А. Гурьева  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2012 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

По дисциплине: «Поверхностные явления и дисперсные системы»

### Обязательная

Для направления подготовки дипломированного специалиста  
240000 «Химическая и биотехнологии»  
Специальность 240406 «Технология химической переработки древесины»  
Квалификация: Инженер

### Кафедра «Общая и прикладная экология»

	Очная	Заочная	Заочная (сокращ.)
Курс	4	3	4
Семестр	7	-	-
Всего часов	134	134	134
В том числе аудиторных	66	18	18
Из них:			
Лекции	34	10	10
Лабораторные работы	32	8	8
Самостоятельная работа	68	116	116
Экзамен	7 семестр	3 курс	4 курс
Контрольная работа		3 курс	4 курс

Сыктывкар 2012

Рабочая программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению: 240000 – «Химическая и биотехнологии» по специальности 240406 – «Технология химической переработки древесины».

Программу составил: к.г.-м.н., доцент \_\_\_\_\_ Г.Г. Зайнуллин

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры «Общей и прикладной экологии»

Протокол № 9 от «\_20\_» июня 2012 г.

Заведующий кафедрой, к.т.н., доцент \_\_\_\_\_ О.А. Конык

Рабочая программа рассмотрена и одобрена методической комиссией технологического факультета.

Протокол № 10 от «\_21\_» июня 2012 г.

Председатель комиссии: декан ТФ \_\_\_\_\_ А.А. Самородницкий

Библиографический список рабочей программы полностью соответствует сведениям о книгообеспеченности образовательного процесса СЛИ.

Зав.кафедрой ОиПЭ \_\_\_\_\_ О.А. Конык

Бумажная версия рабочей программы соответствует ее электронной версии

Зав.кафедрой ОиПЭ \_\_\_\_\_ О.А. Конык

## 1. Цель и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

### 1.1. Цель преподавания дисциплины

Целью преподавания дисциплины «Поверхностные явления и дисперсные системы» является знакомство студентов специальности 240406 «Технология химической переработки древесины» с основными разделами курса и обеспечение теоретической подготовки, необходимой для того, чтобы полноценно ориентироваться в процессах протекающих в природных и технологических системах с целью снижения их техногенного воздействия на окружающую среду. Знания и практические навыки, полученные в курсе «Поверхностные явления и дисперсные системы» должны помочь будущим специалистам – инженерам в их практической работе.

### 1.2. Задачи изучения дисциплины

В результате изучения курса «Поверхностные явления и дисперсные системы» студент должен **иметь представление:**

- о коллоидных системах (признаки, классификация, значение в природе и технике);
- об оптических свойствах коллоидных систем (светорассеяние, светопоглощение, применение данных свойств при изучение дисперсных систем);
- о молекулярно-кинетических свойствах (диффузия, седиментационная устойчивость и седиментационный анализ, осмос);
- о поверхностных явлениях и адсорбции (природа адсорбционного взаимодействия, теории мономолекулярной и полимолекулярной адсорбции, поверхностно-активные и инактивные вещества, поверхностная активность, строение и свойства адсорбционных слоев);
- о электрических свойствах дисперсных систем (образование и строение ДЭС, теории ДЭС, ЭКП и влияние различных факторов на ЭКП, электрокинетические явления);
- о способах получения, очистки и свойствах дисперсных систем (конденсационные и диспергационные методы, строение коллоидных мицелл);
- об агрегативной устойчивости и коагуляции дисперсных систем (виды устойчивости, факторы устойчивости, кинетика коагуляции, особые явления при коагуляции);
- о структурообразовании в дисперсных системах (возникновение и особенности структур, структурная вязкость);
- о системах с жидкой, газообразной и твердой дисперсионной средой;

**знать и уметь использовать:**

основные принципы формирования коллоидных систем, их свойства и способы изучения;

методы количественного и качественного анализа (седиментационный, оптические методы, химический) для оценки качественных показателей как сырья, так и производимого продукта.

### 1.3. Перечень дисциплин и тем, усвоение которых студентами необходимо для изучения данной дисциплины

Для полноценного усвоения учебного материала по дисциплине «Поверхностные явления и дисперсные системы» студентам необходимо иметь прочные знания общеобразовательного курса химии и физики, а также по дисциплинам: общая и неорганическая химия, физическая химия, аналитическая химия.

## 1.4. Нормы Государственного стандарта 2000 года

### **ЕН.Ф.04. Поверхностные явления и дисперсные системы:**

Требования к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы по специальности 240000 «Химическая и биотехнологии»

Специальность 240406 «Технология химической переработки древесины»:

Термодинамика поверхностных явлений; адсорбция, смачивание и капиллярные явления (адсорбция на гладких поверхностях и пористых адсорбентах, капиллярная конденсация); адгезия и смачивание; поверхностно-активные вещества; механизмы образования и строение двойного электрического слоя; электрокинетические явления; устойчивость дисперсных систем (седиментация в дисперсных системах, термодинамические и кинетические факторы агрегативной устойчивости); мицеллообразование; оптические явления в дисперсных системах; системы с жидкой и газообразной дисперсионной средой; золи, эмульсии, пены, пасты; структурообразование в коллоидных системах.

## 2. Содержание дисциплины

### 2.1. Содержание, объем в часах лекционных занятий

<b>Раздел 1. Дисперсные системы</b> Понятие о коллоидных системах и определение коллоидной химии как науки. Признаки коллоидных систем. Мера дисперсности. Гетерогенность коллоидных систем как основное отличие их от молекулярных растворов. Влияние дисперсности на свойства дисперсных систем. Классификация коллоидных и микрогетерогенных систем по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды. Классификация коллоидных и микрогетерогенных систем по взаимодействию дисперсной фазы и дисперсионной среды. Классификация коллоидных и микрогетерогенных систем по взаимодействию между частицами. Значение коллоидных систем и коллоидных процессов в природе и технике.	<b>2 часа</b>
<b>Раздел 2. Поверхностная энергия</b> Некомпенсированность сил молекулярного взаимодействия на границе раздела фаз. Поверхностное натяжение – удельная энергия Гиббса поверхности. Пути снижения энергии Гиббса на границе раздела фаз. Поверхностные явления и их классификация.	<b>1 час</b>
<b>Раздел 3. Оптические свойства коллоидных систем</b> Явления, наблюдающиеся при прохождении луча света через дисперсные системы. Светорассеяние и светопоглощение, эффект Тиндаля. Уравнение Рэлея, границы его применимости и его анализ. Определение размеров коллоидных частиц белых золь оптическими методами. Оптические методы исследования коллоидных систем.	<b>4 часа</b>
<b>Раздел 4. Молекулярно-кинетические свойства коллоидных систем</b> Диффузия в истинных растворах и в коллоидных системах. Уравнение Эйнштейна и уравнение Эйнштейна – Смолуховского. Осмос. Осмотическое давление. Особенности осмотического давления лиозолей. Седиментационная устойчивость коллоидных систем. Седиментационный анализ полидисперсных систем. Закон Стокса и границы его применимости. Интегральная и дифференциальная кривые седиментации	<b>3 часа</b>
<b>Раздел 5. Адсорбция на границе твердое тело – газ</b> Физическая адсорбция и хемосорбция. Природа адсорбционного взаимодействия. Количественное выражение адсорбции. Основы теории мономолекулярной адсорбции. Уравнение Ленгмюра и его анализ. Теория полимолекулярной адсорбции Поляни. Уравнение изотермы полимолекулярной адсорбции по теории БЭТ. Эмпирическое уравнение изотермы адсорбции Фрейндлиха, область его применимости.	<b>3 часа</b>
<b>Раздел 6. Адсорбция на границе жидкость (раствор) – газ</b> Поверхностное натяжение растворов. Поверхностно-активные и инактивные вещества. Адсорбционное уравнение Гиббса и его анализ. Поверхностная активность. Правило Траубе. Уравнение Шишковского. Связь между уравнениями Гиббса, Ленгмюра и Шишковского. Строение и свойства адсорбционных слоев. Ориентация дифильных молекул. Весы Ленгмюра.	<b>3 часа</b>
<b>Раздел 7. Адсорбция на границе жидкость (раствор) – твердое тело</b> Молекулярная адсорбция из растворов, влияние природы адсорбента, растворителя и растворенного вещества. Правило Траубе для адсорбции на твердой поверхности. Ориентация молекул ПАВ в поверхностном слое. Адсорбция из растворов электролитов. Правило Фаянса – Панета.	<b>2 часа</b>



<b>Раздел 8. Адгезия и когезия</b> Виды адгезии. Термодинамические основы адгезии. Работа адгезии. Адгезия на границе твердое тело – жидкость. Смачивание. Краевой угол смачивания. Уравнение Юнга. Влияние ПАВ на смачивание. Гидрофилизация и гидрофобизация поверхности. Практическое значение адгезии и смачивания (флотация).	<b>2 часа</b>
<b>Раздел 9. Электрические свойства дисперсных систем</b> Образование и строение двойного электрического слоя на границе раздела фаз. Потенциал поверхности. Распределение потенциала двойного электрического слоя. Теория Гельмгольца – Перрена. Теория Гуи – Чэпмена. Теория Штерна. Электрокинетический потенциал. Влияние различных факторов на электрокинетический потенциал. Изменение двойного электрического слоя и электрокинетического потенциала под действием электролитов. Количественное выражение электрофореза и электроосмоса. Электрокинетические явления, их практическое применение.	<b>4 часа</b>
<b>Раздел 10. Получение и свойства дисперсных систем</b> Методы получения коллоидных систем. Строение коллоидных мицелл. Методы очистки коллоидных систем	<b>2 часа</b>
<b>Раздел 11. Агрегативная устойчивость и коагуляция дисперсных систем</b> Виды устойчивости дисперсных систем. Лиофильные и лиофобные дисперсные системы. Факторы устойчивости дисперсных систем (электростатический, адсорбционно-сольватный, энтропийный, структурно-механический). Кинетика коагуляции. Быстрая и медленная коагуляция. Теория Смолуховского. Основы теории ДЛФО. Коагуляция электролитами, ее основные закономерности. Особые явления при коагуляции электролитами: явление неправильных рядов, антогонизм и синергизм электролитов.	<b>4 часа</b>
<b>Раздел 12. Структурообразование в дисперсных системах</b> Возникновение и особенности структур в коллоидных системах. Коагуляционные и конденсационно-кристаллизационные структуры. Структурная вязкость. Уравнение Бингама. Зависимость вязкости коллоидных систем от концентрации дисперсной фазы. Уравнение Эйнштейна.	<b>2 часа</b>
<b>Раздел 13. Системы с жидкой, газообразной и твердой дисперсионной средой</b> Общая характеристика аэрозолей, пен и порошков. Их классификация и свойства. Агрегативная устойчивость, методы получения и способы их разрушения. Практическое значение аэрозолей, пен, порошков.	<b>2 часа</b>
<b>Всего:</b>	<b>34 часа</b>

## 2.2. План лабораторных занятий, их наименование и объем в часах

№ пп	Название лабораторной работы	Кол-во часов
1	Лабораторная работа № 1. Измерение поверхностного натяжения жидкости по методу наибольшего давления газовых пузырьков	4
2	Лабораторная работа № 2. Оптические свойства дисперсных систем. Турбидиметрия	4
3	Лабораторная работа № 3. Определение оптимальных условий осветления и обесцвечивания природной воды методом коагуляции	4
4	Лабораторная работа № 4. Определение изоэлектрической точки раствора желатины по зависимости вязкости и мутности от pH среды	4
5	Лабораторная работа № 5. Седиментационный анализ полидисперсных систем методом непрерывного взвешивания	8

6	Лабораторная работа № 6. Синтез гидрозоль гидроксидов железа, изучение условий его стабилизации и коагуляции	8
	<b>Всего</b>	<b>32</b>

### 2.3. Самостоятельная работа и контроль успеваемости

#### 2.3.1. Очная форма обучения

1.	Проработка лекционного материала по конспекту и учебной литературе	17	Экзамен
2.	Подготовка к лабораторным занятиям – оформление отчетов по лабораторной работе	16	ОЛР
3.	Подготовка к аттестационной контрольной работе	15	АКР
4.	Подготовка к экзамену	20	Экзамен
	<b>Всего:</b>	<b>68</b>	

Текущая успеваемость студентов контролируется выполнением лабораторных работ, оформлением отчетов по лабораторным работам (ОЛР), выполнением аттестационной контрольной работы (АКР).

Итоговая успеваемость студентов определяется на экзамене.

К сдаче экзамена допускаются студенты, у которых защищены отчеты по лабораторному практикуму, зачтена аттестационная контрольная работа.

#### 2.3.2. Заочная форма обучения

1.	Проработка лекционного материала по конспекту и учебной литературе	5	Экзамен
2.	Подготовка к лабораторным занятиям – оформление отчетов по лабораторной работе	4	ОЛР
3.	Изучение тем самостоятельно	67	Экзамен
4.	Выполнение контрольной работы	20	КР
5.	Подготовка к экзамену	20	Экзамен
	<b>Всего:</b>	<b>116</b>	

#### 2.3.3. Заочная (сокращенная) форма обучения

1.	Проработка лекционного материала по конспекту и учебной литературе	5	Экзамен
2.	Подготовка к лабораторным занятиям – оформление отчетов по лабораторной работе	4	ОЛР
3.	Изучение тем самостоятельно	67	Экзамен
4.	Выполнение контрольной работы	20	КР
5.	Подготовка к экзамену	20	Экзамен
	<b>Всего:</b>	<b>116</b>	

Контрольная работа выполняется в соответствии с методическими указаниями (см. библиографический список).

Текущая успеваемость студентов контролируется выполнением лабораторных работ, оформлением отчетов по лабораторным работам (ОЛР), выполнением контрольной работы (КР). Итоговая успеваемость студентов определяется на экзамене.

К сдаче экзамена допускаются студенты, у которых защищены отчеты по лабораторному практикуму и контрольная работа.

## 2.4. Распределение часов по темам и видам занятий

### 2.4.1. Очная форма обучения

Наименование темы дисциплины	Объем работы студента, час				Форма контроля успеваемости
	Лекции	Лаб. раб.	Сам. раб.	Всего	
Понятие о коллоидных системах	2	-	1	3	АКР, экзамен
Поверхностная энергия	1	-	2	3	ОЛР, АКР,
Оптические свойства коллоидных систем	4	8	2	14	ОЛР, АКР, экзамен
Молекулярно-кинетические свойства коллоидных систем	3	4	2	9	ОЛР, АКР, экзамен
Адсорбция на границе твердое тело – газ	3	4	3	10	АКР, экзамен
Адсорбция на границе жидкость (раствор) – газ	3	4	3	10	АКР, экзамен
Адсорбция на границе жидкость (раствор) – твердое тело	2	4	2	8	ОЛР, АКР, экзамен
Адгезия и когезия	2	-	3	5	АКР, экзамен
Электрические свойства дисперсных систем	4	-	3	7	ОЛР, АКР, экзамен
Получение и свойства дисперсных систем	2	8	3	13	ОЛР, АКР, экзамен
Агрегативная устойчивость и коагуляция дисперсных систем	4	-	3	7	ОЛР, АКР, экзамен
Структурообразование в дисперсных системах	2	-	3	5	АКР, экзамен
Системы с жидкой, газообразной и твердой дисперсионной средой	2	-	3	5	АКР, экзамен
Подготовка к аттестационной контрольной работе	-	-	15	15	АКР
Подготовка к экзамену	-	-	20	20	Экзамен
<b>Всего</b>	<b>34</b>	<b>32</b>	<b>68</b>	<b>134</b>	

### 2.4.2. Заочная форма обучения

Наименование темы дисциплины	Объем работы студента, час				Форма контроля успеваемости
	Лекции	Лаб. раб.	Сам. раб.	Всего	
Понятие о коллоидных системах	1		5	6	КР, экзамен
Поверхностная энергия			5	5	КР, экзамен
Оптические свойства коллоидных систем	1	2	6	9	КР, ОЛР, экзамен
Молекулярно-кинетические свойства коллоидных систем	1	2	6	9	ОЛР, КР, экзамен
Адсорбция на границе твердое тело – газ	1		8	9	КР, экзамен
Адсорбция на границе жидкость (раствор) – газ	1		8	9	КР, экзамен
Адсорбция на границе жидкость (раствор) – твердое тело	1		5	6	КР, экзамен
Адгезия и когезия			5	5	КР, экзамен
Электрические свойства дисперсных систем	2	2	8	12	КР, ОЛР, экзамен
Получение и свойства дисперсных систем			5	5	КР, экзамен
Агрегативная устойчивость и коагуляция дисперсных систем	1	2	5	8	КР, ОЛР, экзамен
Структурообразование в дисперсных системах	1		5	6	КР, экзамен
Системы с жидкой, газообразной и твердой дисперсионной средой			5	5	КР, экзамен
Выполнение контрольной работы			20	20	КР
Подготовка к экзамену			20	20	Экзамен
<b>Всего</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>116</b>	<b>134</b>	

### 2.4.3. Заочная (сокращенная) форма обучения

Наименование темы дисциплины	Объем работы студента, час				Форма контроля успеваемости
	Лекции	Лаб. раб.	Сам. раб.	Всего	
Понятие о коллоидных системах	1	-	5	6	КР, экзамен
Поверхностная энергия	-	-	5	5	КР, экзамен
Оптические свойства коллоидных систем	1	2	6	9	КР, ОЛР, экзамен
Молекулярно-кинетические свойства коллоидных систем	1	2	6	9	ОЛР, КР, экзамен
Адсорбция на границе твердое тело – газ	1	-	8	9	КР, экзамен
Адсорбция на границе жидкость (раствор) – газ	1	-	8	9	КР, экзамен
Адсорбция на границе жидкость (раствор) – твердое тело	1	-	5	6	КР, экзамен
Адгезия и когезия	-	-	5	5	КР, экзамен
Электрические свойства дисперсных систем	2	2	8	12	КР, ОЛР, экзамен
Получение и свойства дисперсных систем	-	-	5	5	КР, экзамен
Агрегативная устойчивость и коагуляция дисперсных систем	1	2	5	8	КР, ОЛР, экзамен
Структурообразование в дисперсных системах	1	-	5	6	КР, экзамен
Системы с жидкой, газообразной и твердой дисперсионной средой	-	-	5	5	КР, экзамен
Выполнение контрольной работы	-	-	20	20	КР
Подготовка к экзамену	-	-	20	20	Экзамен
<b>Всего</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>116</b>	<b>134</b>	

## 2.5. Экзаменационные вопросы

1. Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию дисперсионной среды и дисперсной фазы, по размерам частиц.
2. Поверхность раздела фаз. Поверхностное натяжение – удельная энергия Гиббса поверхности. Пути снижения энергии Гиббса на границе раздела фаз.
3. Физическая адсорбция и хемосорбция. Природа адсорбционного взаимодействия. Количественное выражение адсорбции.
4. Основы теории мономолекулярной адсорбции. Уравнение Лэнгмюра и его анализ.
5. Уравнение изотермы полимолекулярной адсорбции по теории БЭТ.
6. Эмпирическое уравнение изотермы адсорбции Фрейндлиха, область его применимости.
7. Поверхностное натяжение растворов. Поверхностно-активные и инактивные вещества.
8. Адсорбционное уравнение Гиббса и его анализ. Поверхностная активность.
9. Правило Траубе. Уравнение Шишковского.
10. Связь между уравнениями Гиббса, Лэнгмюра и Шишковского.
11. Строение и свойства адсорбционных слоев. Ориентация дифильных молекул.
12. Молекулярная адсорбция из растворов, влияние природы адсорбента, растворителя и растворенного вещества.
13. Правило Траубе для адсорбции на твердой поверхности. Ориентация молекул ПАВ в поверхностном слое.
14. Адсорбция из растворов электролитов. Правило Фаянса-Панета.
15. Ионообменная адсорбция, ее особенности и практическое применение.
16. Принцип хроматографии.
17. Образование и строение двойного электрического слоя на границе раздела фаз.
18. Потенциал поверхности. Распределение потенциала двойного электрического слоя.
19. Электрокинетический потенциал. Изменение двойного электрического слоя и электрокинетический потенциал под действием электролитов.
20. Получение гидрозолей методом химической конденсации и гидролиза.
21. Строение коллоидных мицелл.
22. Электрокинетические явления: электрофорез, электроосмос, их практическое применение.
23. Виды устойчивости дисперсных систем. Лиофильные и лиофобные дисперсные системы.
24. Факторы устойчивости дисперсных систем (электростатический, адсорбционно-сольватный, энтропийный, структурно-механический).
25. Коагуляция лиофобных дисперсных систем.
26. Быстрая и медленная коагуляция. Теория Смолуховского.
27. Основы теории ДЛФО.
28. Коагуляция электролитами, ее основные закономерности.
29. Признаки дисперсионных систем.
30. Гетерокоагуляция.
31. Практическое значение коагуляционных явлений.
32. Седиментационный анализ полидисперсных систем. Закон Стокса и границы его применения.
33. Светорассеяние. Уравнение Рэлея, границы его применимости.
34. Определение размеров коллоидных частиц белых золь оптическими методами.

35. Строение и размер молекул коллоидных ПАВ.
36. Факторы, влияющие на переход мицеллярной формы в молекулярную.
37. Виды мицелл в растворе. Солюбилизация.
38. Уравнение Эйнштейна.
39. Эмульсии – классификация, основные свойства и практическое использование.
40. Пены – классификация, основные свойства и практическое использование.
41. Аэрозоли - классификация, основные свойства и практическое использование.

### **3. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

На кафедре «Общая и прикладная экология» есть специальная лаборатория «Коллоидная химия» (502 ауд., II корпус СЛИ). В данной лаборатории имеются необходимые для выполнения лабораторных работ химическая посуда, реактивы, приборы и установки (барометры, термометры, секундомеры, электролизеры, выпрямители, гальванические элементы, ареометры, рН-метр, термостаты).

### **4. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

**Средства обеспечения освоения дисциплины. Перечень методических указаний по проведению конкретных видов учебных занятий, наглядных и других пособий, а также методических материалов к используемым в учебном процессе техническим средствам**

Плакаты для лекционных занятий

Периодическая система Д.И. Менделеева

Таблица растворимости неорганических соединений

Таблица частотного диапазона фильтров

## II. Методические указания по выполнению лабораторных работ

### Лабораторная работа № 1.

#### Измерение поверхностного натяжения жидкости по методу наибольшего давления газовых пузырьков

##### Цель работы:

Ознакомление с явлением адсорбции поверхностно-активных веществ на границе раздела фаз

##### Задачи работы:

1. Сдача допуска к лабораторной работе
2. Проведение экспериментальной части
3. Оформление и защита отчета

##### Обеспечивающие средства:

Установка Ребиндера

Стакан емкостью 2000 мл – 1 шт

Колба коническая емкостью 100 мл – 12 шт

Воронка средняя – 6 шт

Фильтр белая лента – 6 шт

Пипетка емкостью 50 мл – 1 шт

Пипетка емкостью 25 мл – 1 шт

Пипетка емкостью 10 мл – 1 шт

##### Задание:

1. Экспериментально определить поверхностное натяжение водного раствора ПАВ на границе раздела вода – воздух (указывается преподавателем)
2. Экспериментально определить поверхностное натяжение исходного водного раствора ПАВ после адсорбции на поверхности активированного угля
3. Произвести расчеты, построить графические зависимости и сделать выводы в соответствии с полученными данными

##### Требования к отчету:

1. Название и номер работы
2. Цель и задачи работы
3. Ход работы
4. Экспериментальные данные
5. Расчеты
6. Вывод о проделанной работе

##### Технология выполнения работы:

Состояние, в котором находится вещество в поверхностном слое на границе раздела фаз, существенно отличается от его состояния в глубине фазы. Например, в наиболее простом случае однокомпонентной двухфазной системы вода – водяной пар (рис.1) межмолекулярные силы, действующие на молекулу воды, расположенную в глубине фазы, проявляются равномерно со стороны соседних молекул.

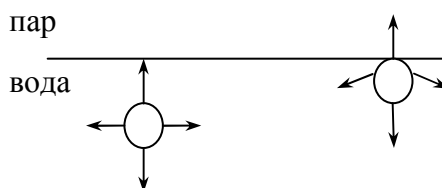


Рис. 1 Межмолекулярное взаимодействие внутри жидкости и на поверхности раздела жидкость – газ



Молекулы, находящиеся на поверхности раздела, испытывают действие межмолекулярных сил в большей степени со стороны жидкой фазы и почти не притягиваются к газообразной фазе из-за ее малой плотности. В газовой фазе молекулы воды удалены друг от друга на большие расстояния и силы Ван-дер-Ваальса здесь ничтожны. Поэтому каждая молекула на поверхности раздела фаз обладает большей энергией по сравнению с «глубинными» молекулами.

Этот избыток энергии в поверхностном слое, отнесенный к  $1 \text{ см}^2$  поверхности раздела фаз, называется поверхностным натяжением.

Поверхностное натяжение можно также представить как силу, действующую на единицу длины ( $\sigma$ , эрг/см<sup>2</sup> или дин/см).

Поверхностное натяжение, например, воды на границе раздела фаз (вода – водяной пар, вода – азот, вода – бензол) различно. Поэтому сравнивать поверхностное натяжение различных веществ можно только в том случае, если эти вещества граничат с одной и той же средой. Обычно его определяют на границе раздела вещество – воздух.

Поверхностное натяжение жидкостей определяют различными методами, например связанными с отсчетом падающих капель, с определением высоты капиллярного поднятия жидкости или с измерением давления, под которым выдавливается пузырек воздуха в жидкость – метод Ребиндера.

Свободная поверхностная энергия равна произведению поверхностного натяжения  $\sigma$  на величину поверхности раздела фаз  $S$  и определяется уравнением:

$$E = \sigma \cdot S, \quad (1)$$

где  $E$  – свободная поверхностная энергия, эрг;

$\sigma$  – поверхностное натяжение, эрг/см<sup>2</sup>;

$S$  – поверхность раздела фаз, см<sup>2</sup>.

Увеличение поверхности раздела фаз всегда повышает свободную поверхностную энергию системы.

Согласно второму закону термодинамики, всякая свободная энергия стремится к минимуму. Этим стремлением к уменьшению свободной поверхностной энергии объясняется шарообразная форма капли жидкости (из всех геометрических тел одинакового объема шар имеет наименьшую поверхность), самопроизвольное слияние капель при их контакте, поднятие жидкости в капиллярах и т.д.

Стремление к уменьшению поверхности, обусловленное наличием избытка поверхностной энергии, имеет место и у твердых тел, однако значительные силы, проявляющиеся между частицами вещества в твердом агрегатном состоянии, препятствуют самопроизвольному уменьшению поверхности.

При постоянной поверхности раздела фаз ( $S = const$ ) самопроизвольное уменьшение свободной поверхностной энергии может быть достигнуто за счет уменьшения поверхностного натяжения:

$$\sigma \rightarrow \min \text{ и } E \rightarrow \min. \quad (2)$$

Этот путь уменьшения поверхностной энергии имеет большое значение для разрешения многих проблем химии и в первую очередь адсорбции.

Явление поглощения каким-либо веществом других веществ называется сорбцией.

Однако поглощение не всегда носит одинаковый характер: поглощаемое вещество может диффундировать вглубь поглотителя, распространяясь по всему объему. Такой вид сорбции называется абсорбцией. Так, газы абсорбируются в жидкостях, твердых телах с образованием жидких или твердых растворов.

Если поглощаемое вещество химически взаимодействует с поглотителем, то сорбционный процесс принято называть хемосорбцией.

Сорбционный процесс, происходящий только на поверхности раздела фаз и сопровождающийся концентрированием вещества на этой поверхности, называется адсорбцией. Из сорбционных процессов наибольшее значение имеет адсорбция.

Адсорбция – процесс самопроизвольный, сопровождающийся уменьшением свободной поверхностной энергии за счет уменьшения поверхностного натяжения. Вещество, на поверхности которого происходит адсорбция, называется адсорбентом, а поглощаемое вещество – адсорбтивом. Адсорбция может происходить на любой поверхности раздела фаз: жидкость – газ, твердое тело – газ, твердое тело – раствор, жидкость – жидкость.

Количество адсорбированного вещества определяется обычно избытком вещества на границе раздела фаз. Избыток вещества в молях, отнесенный к  $1\text{см}^2$  поверхности – адсорбция, обозначается буквой  $\Gamma$  и рассчитывается по формуле:

$$\Gamma = \frac{C_0 - C_p}{S}, \quad \text{моль/см}^2 \quad (3)$$

где  $C_0$  и  $C_p$  – начальная и равновесная концентрация адсорбтива, моль;

$S$  – поверхность адсорбента,  $\text{см}^2$ .

Когда поверхность адсорбента неизвестна (пористые твердые адсорбенты), количество адсорбированного вещества относят к  $1\text{г}$  адсорбента:

$$\Gamma = \frac{C_0 - C_p}{m}, \quad \text{моль/г} \quad (4)$$

где  $m$  – количество адсорбента, г.

Адсорбцию чаще всего характеризуют зависимостью количества адсорбированного вещества от равновесной концентрации или равновесного давления адсорбтива при постоянной температуре, т.е. строят графические зависимости  $\Gamma = f(C_p)$  или  $\Gamma = f(p_p)$  при  $t = \text{const}$ , которые называются изотермами адсорбции.

Рассмотрим адсорбцию на границе раздела жидкость – газ.

Поверхностное натяжение водных растворов всегда отличается от поверхностного натяжения чистой воды ( $\sigma_{\text{H}_2\text{O}} = 72,75 \text{ эрг/см}^2 = 72,75 \text{ дин/см}^2$ ).

Растворенные вещества по их влиянию на поверхностное натяжение можно классифицировать на поверхностно-инактивные и поверхностно-активные (ПАВ).

Вещества, повышающие поверхностное натяжение, называются поверхностно-инактивными. В гетерогенной системе водный раствор – воздух поверхностно-инактивными являются все неорганические электролиты: кислоты, щелочи, соли.

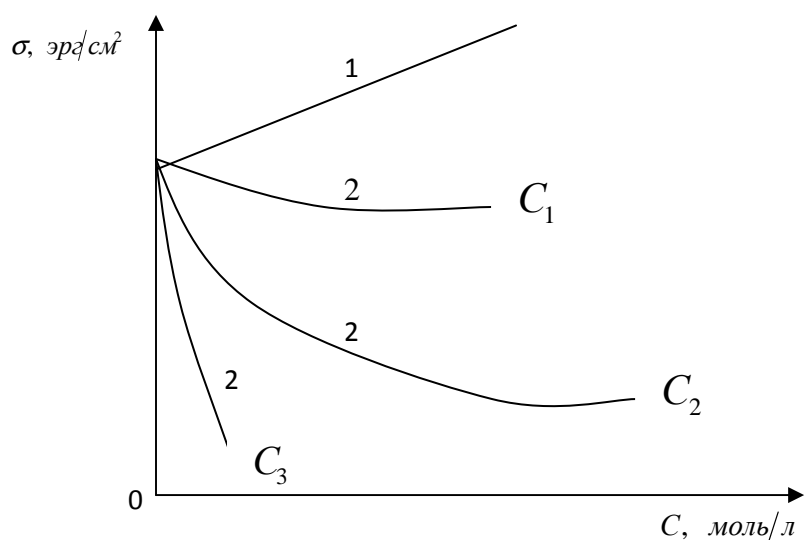


Рис. 2 Зависимость поверхностного натяжения водных растворов от концентрации:  
 1 – поверхностно-инактивные вещества; 2 – поверхностно-активные вещества  
 ( $C_1$  – уксусной,  $C_2$  – масляной;  $C_3$  – капроновой кислот).

Вещества, понижающие поверхностное натяжение, называются поверхностно-активными. Их влияние на поверхностное натяжение воды может быть очень значительно (рис. 2). ПАВ являются органические соединения, молекулы которых одновременно содержат полярную группу ( $-OH$ ,  $-COOH$ ,  $-NH_2...$ ) и неполярную углеводородную цепь. Поэтому такие молекулы называются дифильными, т.е. обладающими двойным сродством одновременно и с полярной, и неполярной фазой. Примером ПАВ в водных растворах могут служить многие органические соединения: жирные кислоты с достаточно длинным углеводородным радикалом, соли этих кислот, сульфокислоты и их соли, аминокислоты, высокомолекулярные спирты, амины.

Дифильные молекулы, попадая в воду, стремятся выйти на поверхность раздела фаз, ориентируясь полярными группами в воду, неполярные углеводородные радикалы выталкиваются в воздух, так как сродство их с газообразной фазой больше, чем с водой (рис. 3). Интенсивность межмолекулярных сил в газе невелика, и поэтому газ или пар условно можно считать неполярной фазой.

Концентрируясь на поверхности раздела фаз, дифильные молекулы ПАВ, например бутилового спирта, понижают поверхностное натяжение, так как бутиловый спирт обладает меньшим поверхностным натяжением ( $\sigma_{C_4H_9OH} = 24,6 \text{ эрг/см}^2$ ), чем вода.

Таким образом, самопроизвольное понижение поверхностного натяжения водных растворов ПАВ – следствие их концентрирования на поверхности раздела фаз, т.е. адсорбция.

Количественное соотношение между величиной адсорбции и изменением поверхностного натяжения с концентрацией раствора  $d\sigma/dC$  дается адсорбционным уравнением Гиббса (1878 г.):

$$\Gamma = -\frac{C}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dC}, \quad \text{моль/см}^2 \quad (5)$$

где  $C$  – концентрация ПАВ в растворе, моль/л;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $8,31 \cdot 10^7 \text{ эрг/моль} \cdot \text{град}$ ;

$T$  – абсолютная температура,  $^{\circ}K$ .

Графически уравнение Гиббса представлено на рис. 4. В уравнении Гиббса отношение  $(-d\sigma/dC)$  названо, по предложению П.А. Ребиндера, поверхностной активностью. В честь Гиббса величину  $(-d\sigma/dC)$  обозначают через  $G$  и называют гиббсом.

$$G = -d\sigma/dC, \quad \text{эрг} \cdot \text{см}/\text{моль} \quad (6)$$

Для растворов ПАВ производная  $d\sigma/dC < 0$ , а величина гиббса  $G$  и адсорбция  $\Gamma$  положительны. Для растворов поверхностно-инактивных веществ  $d\sigma/dC > 0$ , следовательно, поверхностная активность и адсорбция отрицательны ( $G < 0$  и  $\Gamma < 0$ ).

Практически изучают изменение поверхностного натяжения при изменении концентрации ПАВ ( $t^\circ = \text{const}$ ) и строят изотерму  $\sigma = f(C_{\text{ПАВ}})$  (рис. 5).

Уравнение Гиббса (5) связывает друг с другом изотермы  $\sigma = f(C_{\text{ПАВ}})$  и  $\Gamma = f(C_{\text{ПАВ}})$ .

Исследуя поверхностное натяжение водных растворов, Траубе (1884 – 1888) установил, что для низших членов гомологического ряда жирных кислот с увеличением углеводородной цепи на группу  $-CH_2-$  – поверхностная активность кислот возрастает в 3 – 3,5 раза при той же молярной концентрации. Эта важная зависимость получила название правила Траубе. Она соблюдается не только для жирных кислот, но и для других гомологических рядов, например спиртов, аминов. Американский физико-химик Лангмюр установил, что правило Траубе справедливо лишь для малых концентраций ПАВ в растворе при свободном расположении адсорбированных молекул на поверхности (рис. 6 а).

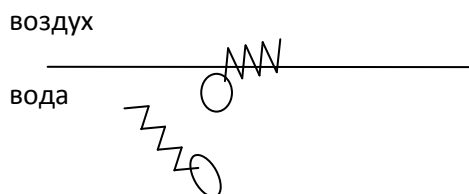


Рис. 3 Выход молекулы дифильного вещества на поверхность раздела фаз

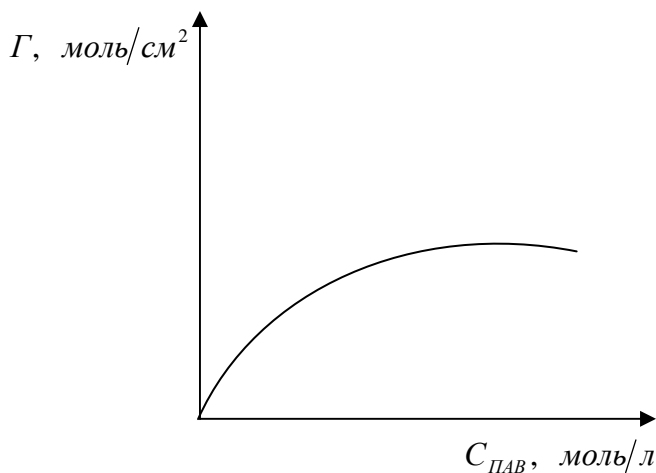


Рис. 4 Изотерма адсорбции Гиббса:  
 $\Gamma = f(C_{\text{ПАВ}})$

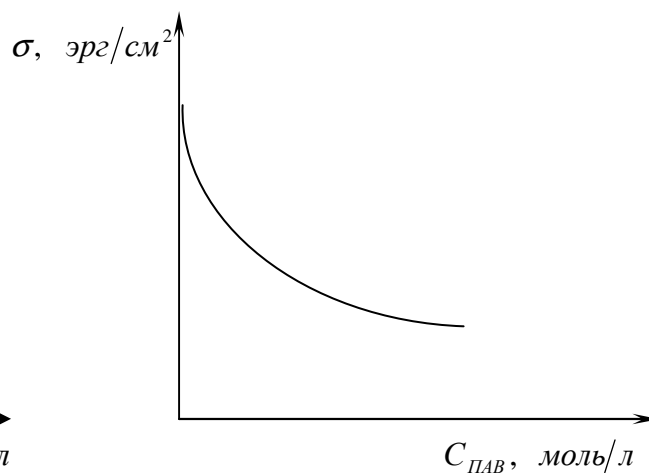


Рис. 5 Изотерма поверхностного натяжения:  
 $\sigma = f(C_{\text{ПАВ}})$

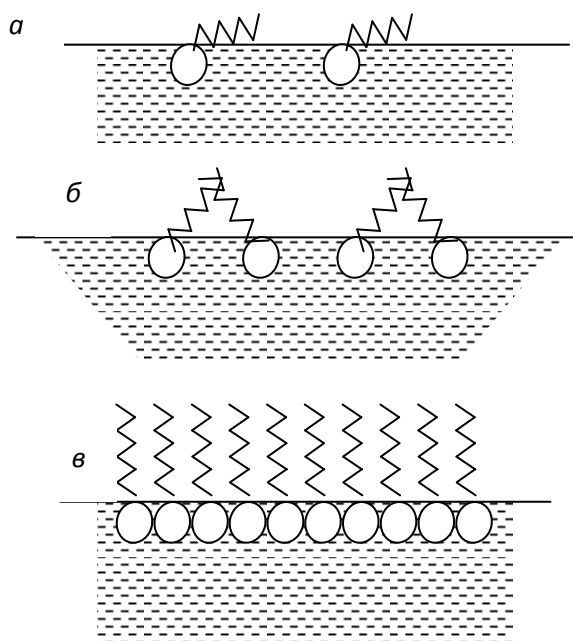


Рис. 6 Расположение адсорбированных молекул на границе раздела фаз: *a* – при малых концентрациях; *б* – при средних концентрациях; *в* – в насыщенном слое при максимально возможной адсорбции («часток Лангмюра»).

В 1909 г. Б. А. Шишковский (Киев) опытным путем вывел зависимость поверхностного натяжения от концентрации жирных кислот в водных растворах

$$\sigma_0 - \sigma = a \ln(1 + bC), \quad (7)$$

где  $\sigma_0$  – поверхностное натяжение воды;

$\sigma$  – поверхностное натяжение раствора с концентрацией ПАВ  $C$ , моль/л;

$a$  и  $b$  – эмпирические константы.

Уравнение Шишковского положено Лангмюром в основу его обобщающих работ по адсорбции дифильных молекул на границе раздела вода – воздух. Константа  $b$  в уравнение (7) характеризует поверхностную активность (см. уравнение б) данного вещества, и для разбавленных растворов двух соседних членов гомологического ряда (например, пропионовой  $C_3H_6O_2$  и масляной  $C_4H_8O_2$  кислот) выполняется отношение:

$$b_{n+1}/b_n = G_{n+1}/G_n \approx 3,2, \quad (8)$$

что находится в соответствии с правилом Траубе. Константа  $a$  для одного гомологического ряда имеет одно и то же значение:

$$a = \Gamma_\infty \cdot RT, \quad (9)$$

где  $\Gamma_\infty$  – максимально возможная адсорбция ПАВ, моль/см<sup>2</sup>.

Общей для всех жирных кислот является полярная группа  $-COOH$ , поэтому естественно предположить, что  $\Gamma_\infty$  (находят графически) определяется именно размерами полярной группы и что адсорбированный слой – мономолекулярен. Отсюда можно вычислить и площадь, приходящуюся на одну полярную группу в адсорбированном слое:

$$S_0 = \frac{S}{\Gamma_\infty \cdot N_0} \quad \text{при} \quad S = 1 \text{ см}^2, \quad S = 1 \text{ см}^2 / \Gamma_\infty \cdot N_0 \quad (10)$$

где  $N_0$  – число Авогадро.

Значение  $S_0$  для жирных кислот около  $20 \text{ \AA}^2$ .

Объяснение правила Траубе и уравнения Шишковского с точки зрения молекулярно-кинетической теории, данное Лангмюром, позволяет уточнить представление о структуре адсорбционного слоя. Адсорбированные молекулы ПАВ прочно связаны с водой полярными группами  $-\text{OH}$ ,  $-\text{COOH}$ ,  $-\text{NH}_2$ ,  $-\text{CN}\dots$ , а углеводородные радикалы – слабее, и до тех пор, пока концентрация мала, молекулы находятся в «лежащем» положении на границе раздела фаз. К этому случаю и применимо правило Траубе, так как увеличение длины углеводородной цепи молекулы поверхностно-активного вещества влияет на поверхностное натяжение.

При увеличении концентрации ПАВ происходит сжатие адсорбционного слоя, углеводородные радикалы отрываются от воды и принимают наклонное положение к поверхности раздела, а при максимально возможной адсорбции молекулы располагаются перпендикулярно поверхности раздела, образуя так называемый «частокол» Лангмюра (рис. 6 а, б, в).

Если исходить из «частокла Лангмюра», то очевидно, что толщина адсорбированного слоя определяется длиной молекулы и должна увеличиваться с введением каждой группы  $-\text{CH}_2-$ . Если обозначить толщину адсорбционного слоя через  $l_\infty$ , то разность  $l_{\infty n+1} - l_{\infty n}$  для двух жирных кислот, соседних в гомологическом ряду (например, для пропионовой и масляной или для масляной и валериановой кислот) должна быть постоянной и равной длине одной группы  $-\text{CH}_2-$ . По рентгенографическим исследованиям эта длина равна:

$$l_{-\text{CH}_2-} = 1,3 \text{ \AA}. \quad (11)$$

Это требование подтверждается: разность  $l_{\infty n+1} - l_{\infty n}$  получается в пределах  $1,3 - 1,5 \text{ \AA}$ .

Толщина адсорбционного слоя рассчитывается исходя из значения максимально возможной адсорбции, молекулярного веса и плотности ПАВ:

$$l_\infty = \frac{\Gamma_\infty \cdot M}{d}. \quad (12)$$

Экспериментальные исследования проводят с растворами ПАВ: 2М раствор этилового спирта, 1,5М растворы н-пропилового и изопропилового спирта; 0,5М раствор н-бутилового спирта; 0,2М раствор изоамилового спирта; 0,1М раствор н-амилового спирта; 2М раствор уксусной кислоты; 1М раствор пропионовой кислоты; 0,5М раствор масляной кислоты; 0,01М раствор н-гептиловой кислоты (указывается преподавателем).

Для практических измерений поверхностного натяжения удобно пользоваться прибором Ребиндера, который состоит из сосуда Ребиндера 1, манометра 2 и водного аспиратора 3, создающего в установке разряжение (рис. 7). Основной частью сосуда Ребиндера является трубка *a* с капиллярным кончиком, который должен иметь острые, ровные края. Если трубку *a* с капиллярным кончиком опустить в жидкость, а затем в установке создать разряжение, то при некотором разряжении (давлении) *p* из капилляра

выскочит пузырек воздуха. Это происходит тогда, когда избыток внешнего давления оказывается достаточным для преодоления поверхностного натяжения жидкости.

Показание манометра в момент проскока пузырька зависит не только от поверхностного натяжения испытуемого раствора, но и от размеров капиллярного кончика. Максимальное давление в пузырьке равно силе поверхностного натяжения жидкости в капилляре с радиусом  $r$ :

$$p = 2\pi r \sigma \text{ или } \sigma = K \cdot p, \quad (13)$$

где  $K$  – константа, зависящая от размеров капиллярного кончика. Значение  $K$  определяют по стандартной жидкости с известным поверхностным натяжением  $\sigma_0$ , для чего берут воду, тогда:

$$K = \sigma_0 / p_0. \quad (14)$$

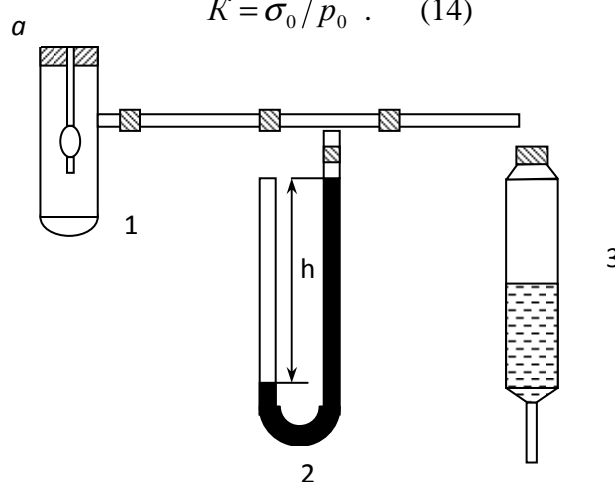


Рис. 7 Установка Ребиндера для определения поверхностного натяжения жидкостей по методу наибольшего давления газовых пузырьков:  
 Для давления с 1 – сосуд Ребиндера; 2 – манометр; 3 – водяной аспиратор. ии

$$K = \sigma_0 / p_0 \text{ и } K = \sigma / p$$

$$\sigma_0 / p_0 = \sigma / p$$

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{p_0} p \quad (15)$$

Давление можно заменить разностью высот жидкости в манометрической трубке ( $h$  миллиметров водяного столба):

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{h_0} h \quad (16)$$

отношение  $\sigma_0 / h_0$  есть величина постоянная – константа капилляра  $K$ :

$$\sigma_0 / h_0 = K \quad (17)$$

откуда следует:

$$\sigma = K \cdot h \quad (18)$$

Рекомендуется работать с капиллярами, для которых  $K \approx 0,3 - 0,5$ .

Перед началом работы сосуд Ребиндера и трубку с капиллярным кончиком промывают хромовой смесью и дистиллированной водой, так как малейшее загрязнение этой части прибора приводит к ошибке. Из капиллярного кончика оставшуюся жидкость удаляют путем легкого прикосновения капилляра к фильтровальной бумаге.

Установку обязательно проверяют на герметичность. Для этого в приборе создают разрежение и закрывают кран (зажим) аспиратора; если установка герметична, то разность уровней манометрической жидкости не должна изменяться.

Определение константы капилляра производят следующим образом. В сосуд Ребиндера наливают столько дистиллированной воды, чтобы в плотно закрытом резиновой пробкой сосуде капиллярный кончик только касался поверхности воды, слегка приподнимая ее. Если воды в сосуде немного больше и капилляр погружен глубоко, то избыток воды отбирают пипеткой.

Установленный объем дистиллированной воды (мл), используется как постоянный для всех приготовленных растворов в экспериментальной части лабораторной работы.

Открывая кран аспиратора, создают такое разрежение внутри установки, чтобы через капиллярный кончик пузырьки воздуха проходили со скоростью примерно по одному – два в секунду. Нельзя допускать образования устойчивых гроздьев пузырьков или слишком медленного их возникновения.

Установив определенную частоту проскакивания пузырьков воздуха, производят по манометру не менее трех отсчетов максимальной разности уровней манометрической жидкости в левом и правом колене манометра  $h_0$  (миллиметров водяного столба). Отсчет  $h_0$  производят в момент проскока пузырьков воздуха, так как разность уровней манометрической жидкости все время колеблется. При образовании пузырька устанавливается определенное давление, когда пузырек лопаётся, давление сразу падает и затем опять начинает повышаться вследствие возникновения нового пузырька. Рассчитывают константу капилляра по уравнению (17). Значение поверхностного натяжения воды  $\sigma_0$  находят в справочнике.

Из исходного раствора ПАВ готовят растворы различной концентрации посредством разбавления вдвое. Для этого берут шесть сухих пронумерованных конических колб на 100 мл. В первую и вторую колбы вносят пипеткой по 50 мл исходного раствора, со второй по шестую – по 50 мл дистиллированной воды. После чего, перемешивают раствор во второй колбе путем многократного ополаскивания пипетки. Затем этой же пипеткой отбирают 50 мл перемешенного раствора из второй колбы и добавляют его в третью, перемешивают и повторяют процесс разбавления до тех пор, пока не получают шесть растворов. Из последней колбы лишние 50 мл отбрасывают.

Далее полученные растворы делят поровну на две части. Для этого переносят пипеткой 25 мл раствора в сухие плоскодонные колбы на 100 мл (пронумерованные соответственно колбам с исходным раствором). Деление растворов начинают с наиболее разбавленного, используя одну пипетку.

Одну часть растворов ПАВ используют для определения поверхностного натяжения  $\sigma$  на границе раздела фаз вода – воздух (первая серия опыта).

В другую часть растворов ПАВ вводят равные навески адсорбента (вторая серия опыта). Для этого по 0,5 г активированного угля одновременно высыпают в приготовленные растворы. Колбочки закрывают пробками, встряхивают в течение 10 – 15 мин и оставляют на столе отстаиваться в течение часа – для наступления адсорбционного равновесия.

За время отстаивания выполняют первую серию опытов и определяют поверхностное натяжение приготовленных растворов ПАВ различной концентрации.



Измерение разности высот  $h$ , и соответственно, определение поверхностного натяжения  $\sigma$  приготовленных растворов ПАВ для первой серии опыта проводят, начиная с наименьшей концентрации раствора. Перед измерением  $\sigma$  сосуд Ребиндера и трубку  $a$  дважды споласкивают исследуемым раствором, удаляя из капиллярного кончика оставшуюся жидкость прикосновением капилляра к фильтровальной бумаге.

Через час после отстаивания проводят вторую серию опыта. Для этого фильтруют одновременно все растворы в соответственно пронумерованные колбы. Первые порции фильтрата отбрасывают. Измерение разности высот  $h$ , и соответственно, определение поверхностного натяжения  $\sigma'$  отфильтрованных растворов ПАВ проводят, начиная также с наименьшей концентрации раствора.

По результатам первой серии опыта:

– строят графическую зависимость  $\sigma$  (по оси ординат) от  $C$  (по оси абсцисс) – изотерму поверхностного натяжения (кривая линия). Изотерма поверхностного натяжения падает с увеличением концентрации сначала быстро, а затем падение замедляется, и изотерма приближается к некоторой прямой, параллельной оси абсцисс, так как поверхностное натяжение достигает наименьшего значения и не изменяется с увеличением концентрации ПАВ вследствие достижения предела адсорбции (рис. 8).

Исходя из изотермы поверхностного натяжения, графически определяют  $z$  и по уравнению (20) рассчитывают адсорбцию для всех исследуемых растворов ПАВ.

– рассчитывают величину адсорбции ПАВ. Зависимость адсорбции от  $\frac{d\sigma}{dC}$  и равновесной концентрации ПАВ  $C$  дает уравнение Гиббса (5). Это уравнение позволяет по изотерме поверхностного натяжения  $\sigma = f(C)$  вычислить величину адсорбции. Такое вычисление удобно производить графическим методом. Крутизна наклона изотермы, определяемая тангенсом угла наклона, характеризует поверхностную активность  $G$  уравнение (6) к изотерме поверхностного натяжения в разных точках (рис. 8), отвечающих взятым концентрациям, строят касательные до пересечения их с осью ординат. Например, точка  $a$  на изотерме соответствует поверхностному натяжению  $0,25M$  раствора ПАВ: через нее проводят касательную  $ab$  и линию, параллельную оси абсцисс  $ad$ , определяют тангенс угла наклона:

$$\operatorname{tg} a = \frac{bd}{ad} \Rightarrow G = \frac{bd}{ad}. \quad (19)$$

Подставив значение  $G$  из уравнения (6) и обозначив  $ad$  через концентрацию (согласно построению), находят:

$$-d\sigma/dC = bd/C. \quad (20)$$

Откуда длина отрезка  $bd$ , выраженная в единицах поверхностного натяжения и обозначенная через  $z$  равна:

$$z = -C \frac{d\sigma}{dC}. \quad (21)$$

Подставив значение  $z$  в уравнение Гиббса, получают:

$$\Gamma = z/RT. \quad (22)$$

При расчете  $R$  выражают в эргах ( $R = 8,32 \cdot 10^7$  эрг/моль·град). Таким путем подсчитывают величины адсорбции для тех концентраций, для которых в соответствующих точках на кривой построены касательные.

– строят графическую зависимость  $\Gamma$  (моль/см<sup>2</sup>) (по оси ординат) от  $C$  (моль/л) (по оси абсцисс) – изотерму адсорбции (кривая линия). Изотерма адсорбции возрастает с увеличением концентрации ПАВ сначала резко, а затем медленнее и приближается к некоторой прямой, параллельной оси абсцисс (рис. 9). Она не изменяется при дальнейшем увеличении концентрации, так как адсорбция достигает максимального предела. Поэтому максимально возможную адсорбцию ПАВ можно определить графически (рис. 9);

– зная  $\Gamma_\infty$ , рассчитывают площадь  $S_0$ , приходящуюся на одну молекулу ПАВ в поверхностном слое, по уравнению (22) и толщину адсорбционного слоя  $l_\infty$  по уравнению (12).

Полученные результаты измерений и расчетов оформляют в виде таблицы 1.

Таблица 1

$t = \dots\dots^\circ C$								
Константа капилляра $K =$								
Объем пробы = 25 мл								
Установленный объем = .....мл								
№ пробы	$C$ моль/л	$h$ , мм				$\sigma$ эрг/см <sup>2</sup>	$z$ эрг/см <sup>2</sup>	$\Gamma$ моль/см <sup>2</sup>
		1	2	3	среднее			
1								
2								
3								
4								
5								
6								

По результатам второй серии опыта:

– находят по изотерме поверхностного натяжения равновесную концентрацию ПАВ  $C_p$  в растворе (рис. 8);

– рассчитывают величину адсорбции  $\Gamma'$  на границе раздела водный раствор – уголь, т.е. количество ПАВ, адсорбированное 1 г угля:

$$\Gamma' = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V}{m}, \quad (23)$$

где  $C_0$  – начальная концентрация раствора, моль/л;

$C_p$  – равновесная концентрация раствора, моль/л;

$V$  – объем раствора, из которого происходит адсорбция, л;

$m$  – количество адсорбента, г.

– строят графическую зависимость  $\Gamma'$  (моль/г) (по оси ординат) от  $C'$  (моль/л) (по оси абсцисс) – изотерму адсорбции ПАВ на угле (кривая линия) (рис. 8).

- графически определяют  $\Gamma'_{\infty}$  в молях на 1г угля
- зная  $\Gamma'_{\infty}$  и площадь  $S_0$ , занимаемую одной молекулой ПАВ, вычислить величину удельной активной поверхности угля:

$$S_{\text{АКТ}} = \Gamma'_{\infty} \cdot S_0 \cdot N_0 \quad \text{см}^2 \quad (24)$$

где  $N_0$  – число Авогадро

Полученные результаты измерений и расчетов оформляют в виде таблицы 2.

Таблица 2

$t = \dots\dots ^\circ \text{C}$								
Константа капилляра $K =$								
Объем пробы = 25 мл								
Установленный объем = .....мл								
Навеска угля 0,5 грамма								
№ пробы	С моль/л	h, мм				$\sigma'$ эрг/см <sup>2</sup>	С <sub>Р</sub> моль/л	$\Gamma'$ моль/г
		1	2	3	среднее			
1								
2								
3								
4								
5								
6								

На основании таблиц 1 и 2 сделать вывод об изменении поверхностного натяжения, величины адсорбции с увеличением концентрации ПАВ в растворе и сопоставить значения поверхностного натяжения  $\sigma$  и  $\sigma'$  при равных исходных концентрациях ПАВ в растворе.

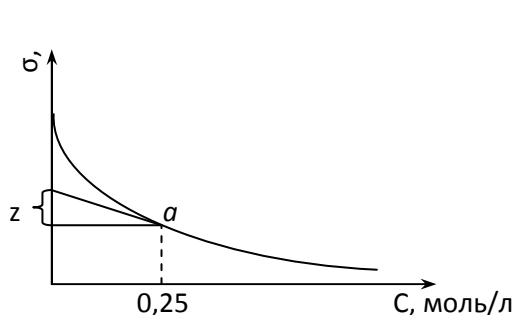


Рис. 8 Расчет адсорбции графическим методом по изотерме поверхностного натяжения

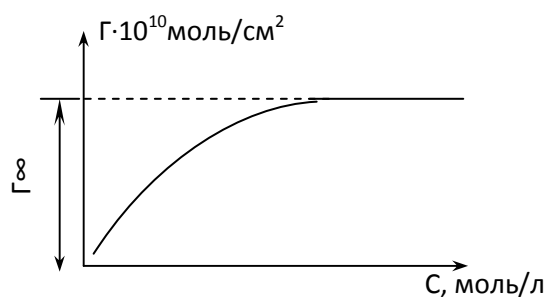


Рис. 9 Изотерма адсорбции Гиббса. Графическое определение  $\Gamma_{\infty}$

## Контрольные вопросы:

1. Дайте определение понятия адсорбции. Что такое изотерма, изостера и изопикна адсорбции.
2. Напишите уравнение изотермы адсорбции теории мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Объясните смысл входящих в него величин. При каких условиях это уравнение применимо.
3. Какие уравнения описывают зависимость поверхностного натяжения растворов ПАВ от концентрации. При каких условиях они применимы.
4. Как рассчитать толщину адсорбционного слоя и «посадочную» площадку молекул ПАВ, зная зависимость поверхностного натяжения от состава раствора.
5. Сформулируйте правило Дюкло–Траубе и поясните его физический смысл. При каком строении поверхностных пленок соблюдается это правило. В чем заключается обратимость этого правила.

## Лабораторная работа № 2.

### Оптические свойства дисперсных систем. Турбидиметрия.

#### Цель работы:

Ознакомление с турбидиметрическим методом определения размеров частиц дисперсных систем.

#### Задачи работы:

1. Сдача допуска к лабораторной работе
2. Проведение экспериментальной части
3. Оформление и защита отчета

#### Обеспечивающие средства:

Фотоэлектроколориметр  
Кюветы длиной 1 – 5 см (указывается преподавателем)  
Весы лабораторные (аналитические)  
Плита электрическая  
Колба мерная емкостью 100 мл – 1 шт  
Стакан термостойкий емкостью 150 мл – 1 шт  
Стакан емкостью 50 мл – 4 шт  
Пипетка емкостью 10 мл – 2 шт

#### Задание:

1. Рассчитать навеску вещества и приготовить раствор по заданным параметрам (указываются преподавателем)
2. Экспериментально определить размеры частиц заданной дисперсной системы
3. Произвести расчеты и сделать выводы в соответствии с полученными данными

#### Требования к отчету:

1. Название и номер работы
2. Цель и задачи работы
3. Ход работы
4. Экспериментальные данные
5. Расчеты
6. Вывод о проделанной работе

#### Технология выполнения работы:

Рассеяние света – изменение характеристик потока светового излучения при его взаимодействии с веществом. Единичный акт светорассеяния представляет собой

поглощение падающего кванта света, который характеризуется энергией  $h\omega$ , количеством движения  $hk$  и поляризацией  $\mu$ , а затем испускание кванта, соответствующие характеристики которого  $h\omega'$ ,  $hk'$ ,  $\mu'$ . Приняты обозначения:

$h$  – постоянная Планка,  $\omega$  – частота,  $k$  – волновой вектор. Если энергия испущенного и поглощенного кванта равны ( $\omega = \omega'$ ), светорассеяние называется рэлеевским или упругим. Оно и характерно для высокодисперсных систем. В противном случае наблюдается перераспределение энергии между излучением и веществом, светорассеяние называется неупругим.

Рэлей для упругого светорассеяния предложил теорию, согласно которой падающая световая волна возбуждает в частицах дисперсной фазы вынужденные колебания электрических зарядов, которые становятся источниками вторичных световых волн. Если частица мала по сравнению с длиной волны, совокупность колебаний в ней представляется, как колебание электрического диполя. Возникает индуцированный дипольный момент, который исключает колебания с частотой  $\omega$ .

В результате теоретического рассмотрения Рэлеем предложено следующее уравнение:

$$I_p = 24\pi^3 \left( \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2 \frac{\nu \cdot V^2}{\lambda^4} I_0, \quad (25)$$

где  $I_p$  – интенсивность света, рассеянного 1 см<sup>3</sup> золя во всех направлениях;

$n_1$  и  $n_0$  – показатели преломления дисперсной фазы и дисперсионной среды, соответственно;

$\nu$  – концентрация частиц в единице объема системы;

$V$  – объем частиц, см<sup>3</sup>;

$\lambda$  – длина световой волны в данной среде, см  $\left( \lambda = \lambda_{\text{вакуум}} / n_0 \right)$ ;

$I_0$  – интенсивность падающего света.

Данное уравнение применимо при следующих условиях. Во-первых, радиус коллоидных частиц должен быть гораздо меньше длины волны, причем  $2r \leq 0,1\lambda$ , если рассматривается видимый свет, то  $r = 2 \cdot 10^{-6} - 4 \cdot 10^{-6}$  см. Во-вторых, вещество дисперсной фазы изотропно и не проводит электрический ток. В-третьих, коллоидный раствор должен быть разбавленным. В-четвертых, дисперсная система не должна поглощать свет. В-пятых, частицы должны быть шарообразными.

Вторая форма записи уравнения Рэля:

$$I_p = 24\pi^3 \left( \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2 \frac{c_{об} \cdot V^2}{\lambda^4} I_0, \quad (26)$$

где  $c_{об}$  – объемная концентрация дисперсной фазы.

Наконец, третья форма записи уравнения Рэля в применении к одной частице и одному направлению:

$$I_p = \frac{9\pi^2 V^2}{\lambda^4 a^2} \left( \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2 \left( \frac{1 - \cos^2 \beta}{2} \right) I_0, \quad (27)$$

где  $a$  – расстояние от центра частицы до наблюдателя;

$$\beta = 180 - \theta ;$$

$\theta$  – угол между направлением падающего и рассеянного луча.

При прохождении света через коллоидные растворы, удовлетворяющие условиям уравнения Рэлея, интенсивность падающего света ослабляется только в следствие светорассеяния, а поглощение света практически отсутствует. В этих условиях можно использовать пропорциональность интенсивности рассеянного света объемной концентрации дисперсной фазе и объему, а следовательно, третьей степени радиуса сферической частицы для экспериментального определения этих величин методами нефелометрии и турбидиметрии.

Рассмотрим слой коллоидного раствора длиной 1 см с сечением 1 см<sup>2</sup> (рис.10).

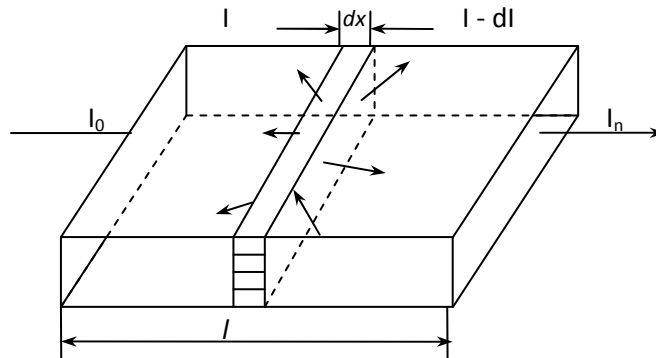


Рис. 10. Прохождение света через слой коллоидного раствора

Выделим слой бесконечно малой длины  $dx$ . При прохождении через него интенсивность света ( $I$ ) уменьшается на величину  $dI$ , равную

$$-dI = \tau dx , \quad (28)$$

где  $\tau$  – мутность системы, см<sup>-1</sup> (коэффициент экстинкции, способность системы рассеивать свет). Разделим переменные и проведем интегрирование:

$$-\int_{I_0}^{I_n} \frac{dI}{I} = \tau \int_0^l dx, \quad \ln \frac{I_0}{I_n} = \tau l , \quad (29)$$

где  $I_0$  – интенсивность падающего на слой света;  $I_n$  – интенсивность прошедшего света.

Если  $l = 1$  см, то

$$\tau = \ln(I_0/I_n) . \quad (30)$$

По закону сохранения энергии, интенсивность прошедшего света равна разности интенсивностей падающего и рассеянного света:

$$I_n = I_0 - I_p . \quad (31)$$

Подставляя уравнение (31) в уравнение (30), получим:

$$\tau = \ln \frac{I_0}{I_0 - I_P}. \quad (32)$$

Для  $I_P \ll I_0$  можно воспользоваться разложением функции натурального логарифма в ряд и отбросить бесконечно малые величины второго и высших порядков. Который в общем виде выглядит:

$$\ln(1+x) = x + x^2/2 + x^3/3 + \dots \approx x.$$

В рассматриваемом случае получаем:

$$\ln \frac{I_0}{I_0 - I_P} = \ln \left( 1 + \frac{I_0}{I_0 - I_P} - 1 \right) = \ln \left( 1 + \frac{I_0 - I_0 + I_P}{I_0 - I_P} \right) = \ln \left( 1 + \frac{I_P}{I_0 - I_P} \right)^{I_P \ll I_0} \approx \ln \left( 1 + \frac{I_P}{I_0} \right) \approx \frac{I_P}{I_0} \quad (33)$$

Из уравнения Рэлея в форме (26) получаем:

$$\tau = \frac{I_P}{I_0} = \frac{24\pi^3}{\lambda^4} \left( \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2 c_{об} \cdot V = kc_{об} \cdot V. \quad (34)$$

$$V = \frac{\tau}{c_{об}} \cdot \frac{1}{k}. \quad (35)$$

Наиболее разумный подход к разбавленным растворам, в которых отсутствует взаимодействие между частицами, – это экспериментальное определение  $\tau$  для коллоидных растворов различной концентрации и экстраполяции  $\frac{\tau}{c_{об}} kc_{об} = 0$ :

Характеристическая (приведенная) мутность:

$$[\tau] = \lim_{c_{об} \rightarrow 0} (\tau/c_{об}). \quad (36)$$

Тогда:

$$V = [\tau](1/k). \quad (37)$$

а поскольку объем сферической частицы  $V = \frac{4}{3}\pi r^3$

то:

$$r = \left( \frac{3V}{4\pi} \right)^{1/3}. \quad (38)$$

Экспериментальные исследования проводят с растворами мыл, полученными методом разбавления дистиллированной водой в пропорциях 1:1, 1:2, 1:3, 1:4 из исходного раствора вещества (олеат натрия –  $C_{17}H_{33}COONa$ ; олеат калия –  $C_{17}H_{33}COOK$ ) заданной концентрации.

Для приготовления раствора исходной концентрации рассчитанную массу навески переносят в стакан, приливают 30 – 40 мл дистиллированной воды и при слабом нагревании постоянно перемешивают до полного растворения вещества. После остывания раствора, его переносят в мерную колбу на 100 мл и многократным ополоскиванием стакана дистиллированной водой доводят объем до метки.

Проводят трехкратное измерение оптической плотности растворов на фотоэлектроколориметре, используя кюветы заданной длины, светофильтр зеленый ( $\lambda = 540 \text{ нм}$ ). Раствором сравнения является дистиллированная вода. Измерения проводят, начиная с наиболее разбавленного раствора. Измерения проводят, начиная с наиболее разбавленного раствора.

Результаты измерений оформляют в виде таблицы 3.

Таблица 3

Разбавление	Оптическая плотность			
	$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_{\text{сред}}$
1:1				
1:2				
1:3				
1:4				

Расчет размеров частиц (мицелл мыла) ведут в следующей последовательности:

Рассчитывают весовую ( $c_{\text{вес}}, \text{г/см}^3$ ) и объемную ( $c_{\text{об}}, \text{см}^3 \text{ мыла/см}^3 \text{ системы}$ ) концентрацию для каждого разбавления по исходной концентрации раствора мыла.

Плотность раствора принимается равной плотности растворителя. Тогда  $c_{\text{об}} = c_{\text{вес}} / \rho$

Таблица 4.

Значения молекулярной массы, плотности и показателя преломления для некоторых веществ

Вещество	$M, \text{г/моль}$	$\rho, \text{г/см}^3$	$n$
Вода	18	1,00	1,333
Полистирольный латекс	–	1,06	1,593
Олеат натрия	304	1,05	1,498
Олеат калия	320	1,06	1,485
Стеарат аммония	301	1,03	1,530

Исходя из экспериментальных значений оптической плотности,  $D = \ln(I_0/I_p)$ , вычисляют значения мутности для всех разбавлений по формуле:

$$\tau = 2,3D/l. \quad (39)$$

Рассчитывают значения приведенной мутности,  $\tau/c_{\text{об}}$ .

Полученные результаты расчетов оформляют в виде таблицы 5.

Таблица 5.

Объект исследования:				
Исходная концентрация:				
Разбавление	$c_{\text{вес}}, \text{г/см}^3$	$(c_{\text{об}}, \text{см}^3 \text{ мыла/см}^3 \text{ системы})$	$\tau, \text{см}^{-1}$	$\tau/c_{\text{об}}$
1:1				
1:2				
1:3				
1:4				



Значения приведенной мутности  $[\tau]$ , целесообразно находить с использованием метода наименьших квадратов. Производится обработка линейной зависимости  $\tau/c_{об} \sim c_{об}$ . В данном случае  $\tau/c_{об} = y_1$ ,  $c_{об} = x_1$ ,  $[\tau] = a$ . (Приложение).

Радиус сферических частиц которую рассчитывают по формуле:

$$r = \left( \frac{[\tau] \lambda^4 (n_1^2 + 2n_0^2)^2}{32\pi^4 (n_1^2 - n_0^2)^2} \right)^{1/3}. \quad (40)$$

### Контрольные вопросы:

1. Перечислить оптические свойства дисперсных систем.
2. Перечислить условия, при которых соблюдается уравнение Рэлея.
3. Проанализировать уравнение Рэлея.
4. Раскрыть принцип метода турбидиметрии.
5. Дать определение приведенной мутности.

### Приложение

#### Метод наименьших квадратов

В различных исследованиях приходится использовать формулы, составленные на основе эксперимента. Одним из лучших способов получения таких формул является метод наименьших квадратов.

Пусть на основании эксперимента необходимо установить функциональную зависимость между двумя переменными величинами  $x$  и  $y$ . Например, между временем и изменением концентрации ионов  $Fe^{2+}$ . По результатам измерений при  $c_{Fe^{3+}} = 1,67 \text{ моль/л}$  получены данные, по которым составим следующую таблицу:

$\tau, c$	$V_{Na_2S_2O_3}, \text{ мл}$	$c_x, \text{ моль/л}$	$1/c_{Fe^{2+}}$	$1/\tau, c^{-1}$
360	2,4	0,00030	3333,3	0,0028
540	2,8	0,00035	2857,1	0,0019
780	3,5	0,00044	2272,7	0,0013
1020	4,3	0,00054	1851,9	0,0009
1290	4,5	0,00056	1785,7	0,0008
1515	4,8	0,00060	1666,7	0,0007

Установим теперь вид функции  $y = f(x)$  по характеру расположения на координатной плоскости экспериментальных точек. Пусть, например, точки взятые из таблицы, расположены так, как показано на рис. 11.

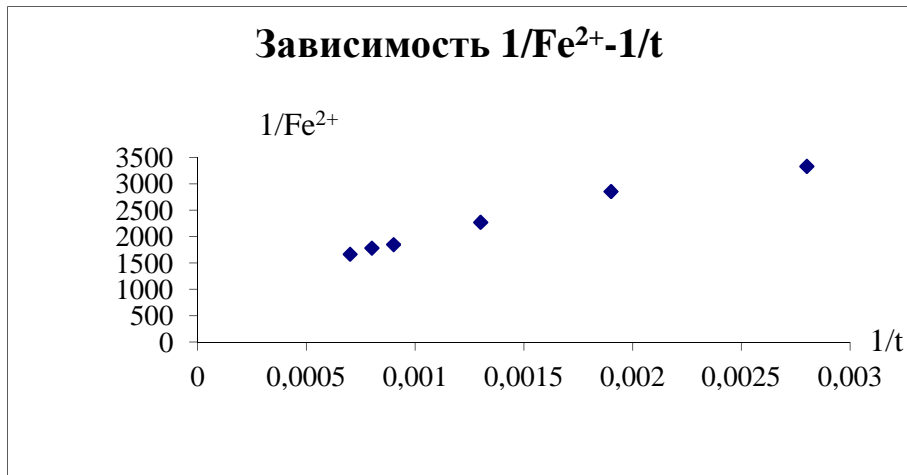


Рисунок 11

В данном случае естественно предположить, что между  $x$  и  $y$  существует линейная зависимость, выражающаяся формулой:

$$y = ax + b. \quad (41)$$

Так как точки не лежат точно на прямой, а лишь вблизи нее, то формула (41) является приближенной.

Поставим задачу подобрать коэффициента  $a$  и  $b$  таким образом, чтобы эти погрешности были возможно меньше по абсолютной величине. Для решения этой задачи воспользуемся методом наименьших квадратов. Решим линейную систему двух уравнений с двумя неизвестными  $a$  и  $b$ :

$$\begin{cases} a \sum x_i + Zb = \sum y_i \\ a \sum x_i^2 + b \sum x_i = \sum x_i y_i \end{cases} \quad (42)$$

$$\sum x_i = 0,0028 + 0,0019 + 0,0013 + 0,0009 + 0,0008 + 0,0007 = 0,0084$$

$$\sum y_i = 3333,3 + 2857,1 + 2272,1 + 1851,9 + 1785,7 + 1666,7 = 13766,8$$

$$\sum x_i y_i = 0,0028 \cdot 3333,3 + 0,0019 \cdot 2857,1 + 0,0013 \cdot 2272,7 + 0,0009 \cdot 1851,9 + 0,0008 \cdot 1785,7 + 0,0007 \cdot 1666,7 = 21,9782$$

$$\sum x_i^2 = 0,0028^2 + 0,0019^2 + 0,0013^2 + 0,0009^2 + 0,0008^2 + 0,0007^2 = 0,00001508$$

$$\begin{cases} 0,0084a + 6b = 13766,8 \\ 0,00001508a + 0,0084b = 21,9782 \end{cases}$$

$$a = 814410$$

$$b = 1154,4$$

$$y = 814410x + 1154,4 \text{ – уравнение искомой прямой}$$

$x$	0	0,002
$y$	1154,4	2783,22

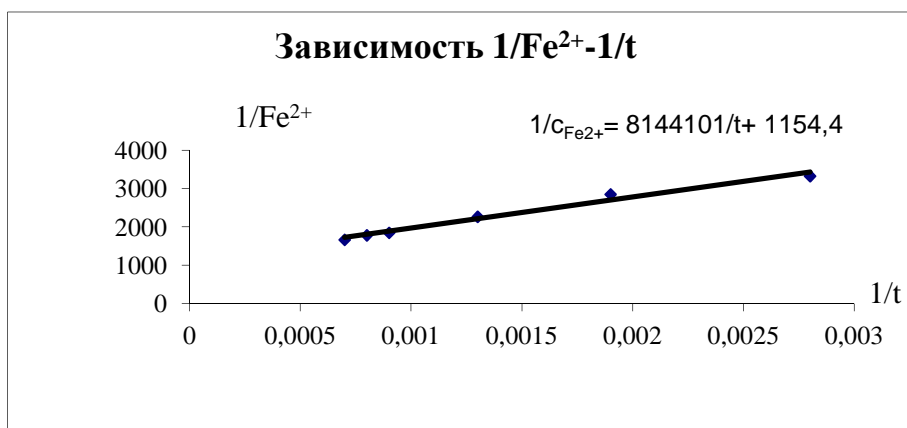


Рисунок 12

$$tg\alpha = 814410$$

### Лабораторная работа №3.

#### Определение оптимальных условий осветления и обесцвечивания природной воды методом коагуляции

Цель работы:

Ознакомление с процессом коагуляции путем определения оптимальных доз коагулянта при осветлении и обесцвечивании воды, а также изучение влияния  $pH$  на процесс коагуляции.

Задачи работы:

1. Сдача допуска к лабораторной работе
2. Проведение экспериментальной части
3. Оформление и защита отчета

Обеспечивающие средства:

- Фотоэлектрочелюстиметр
- Кюветы длиной 1 – 5 см (указывается преподавателем)
- $pH$  – метр лабораторный
- Весы лабораторные (аналитические)
- Секундомер
- Колба мерная емкостью 100 мл – 1 шт
- Колба для фильтрования – 2 шт
- Воронка большая – 2 шт
- Фильтр синяя лента – 2 шт
- Цилиндр мерный емкостью 100 мл – 1 шт
- Колба коническая емкостью 50 мл – 10 (20) шт
- Пипетка емкостью 25 мл – 2 шт
- Пипетка емкостью 5 мл – 1 шт

Задание:

1. Рассчитать навеску вещества с концентрацией  $0,003 \text{ моль/л}$  и приготовить раствор коагулянта

2. Приготовить два раствора исследуемой воды с различными значениями  $pH$  (указываются преподавателем)
3. Экспериментально определить оптимальные дозы коагулянта
4. Произвести расчеты, построить графические зависимости и сделать выводы в соответствии с полученными данными

Требования к отчету:

1. Название и номер работы
2. Цель и задачи работы
3. Ход работы
4. Экспериментальные данные
5. Расчеты
6. Вывод о проделанной работе

Технология выполнения работы:

Коагуляция – процесс укрупнения (слипания) коллоидных частиц, происходящий под влиянием внешнего воздействия. Так, например, коагуляция ускоряется при добавлении в коллоидную систему электролита. Минимальная концентрация электролита, вызывающая за определенный промежуток времени определенный видимый эффект коагуляции (изменение цвета, помутнение, появление осадка), называется порогом коагуляции или критической концентрацией ( $c_{кр}$ ). Эта величина служит сравнительным критерием агрегативной устойчивости дисперсной системы. После перехода порога коагуляции (критической концентрации) скорость коагуляции достигает предельного значения, и остается постоянной (фактор устойчивости  $W = 1$ , или потенциальный барьер  $\Delta E = 0$ ) характеризующего так называемую быструю коагуляцию.

В соответствии с теорией ДЛФО добавление электролита в дисперсную систему вызывает сжатие двойного электрического слоя у частиц, вследствие чего они могут подойти друг к другу на расстояния, при которых преобладают силы притяжения. Уменьшение толщины двойного слоя сопровождается обменом противоионов этого слоя на вызывающие коагуляцию ионы электролита.

Природная вода представляет собой сложную динамическую систему, содержащую газы (кислород, углекислый газ, азот), минеральные и органические кислоты, а также соли. Эти вещества находятся в воде как в истинно растворимом состоянии, так и во взвешенном состоянии (песчаные, известковые, гипсовые частицы).

Примеси, которые определяют условия и качество осветления и обесцвечивания воды методом коагуляции:

1. Почвенные, торфяные вещества, соединения железа – придают воде цветность;
2. Гидроксильные ионы и анионы сильных кислот – обуславливают ее щелочность;
3. Ионы кальция и магния – придают жесткость;
4. Окисляющиеся вещества – определяют условную величину – окисляемость воды.

Коллоидные примеси в природной воде подразделяются на два вида: гидрофобные и гидрофильные.

Гидрофобные характеризуются интенсивными взаимодействиями молекул внутри коллоидной частицы и слабыми взаимодействиями коллоидной частицы с дисперсионной средой.

Гидрофильные высокодисперсные системы представляют собой очень устойчивые образования, что обеспечивается не только электрическим зарядом поверхности, но и образованием вокруг частиц дисперсионной фазы плотных защитных гидратных слоев.

Основные факторы, обеспечивающие способность коллоидной системы противостоять коагуляции:

1. Межмолекулярные силы Ван-дер-Ваальса;
2. Электростатические силы (возникновение двойного электрического слоя);
3. Адсорбционно-сольватный фактор (образование на поверхности коллоидной частицы защитной пленки из адсорбированных молекул ПАВ);

#### 4. $pH$ среды.

Экспериментальные исследования проводят на профильтрованной природной воде с различными значениями  $pH$  в интервале 6,5 – 8.

Для приготовления раствора коагулянта (сульфат алюминия –  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ ), рассчитанную массу навески переносят в мерную колбу на 100 мл и доводят объем дистиллированной водой до метки.

Проводят пробное коагулирование: в цилиндр емкостью 100 мл поместить 25 мл дистиллированной воды и добавить 5 мл раствора коагулянта, быстро перемешать и дать отстояться, наблюдая за формированием хлопьевидного осадка и его оседанием. Зафиксировать время, необходимое для осветления жидкости;

Для первой серии опыта в 10 конических колб вносят по 25 мл исследуемой воды с исходным значением  $pH$ , добавляют от 0,5 до 5 мл раствора коагулянта, перемешивают и выдерживают промежуток времени, установленный по пробному коагулированию. Проводят трехкратное измерение оптической плотности растворов на фотоэлектроколориметре, используя кюветы заданной длины, светофильтр фиолетовый ( $\lambda = 400 \text{ нм}$ ). Раствором сравнения является дистиллированная вода. Измерения проводят, начиная с раствора с наименьшим объемом коагулянта.

Для второй серии опыта берется второе значение  $pH$  исследуемой воды при соблюдении остальных параметров. Значение  $pH$  меняется путем добавления к исследуемому раствору раствора щелочи или кислоты слабой концентрации, в зависимости от исходного значения  $pH$ .

Результаты измерений двух серий изучаемой природной воды при различных значениях  $pH$  оформляют в виде таблицы 6.

Таблица 6.

№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{\text{коаг}}, \text{мл}$	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Первая серия опытов, $pH =$										
$D_1$										
$D_2$										
$D_3$										
$D_{\text{сред}}$										
Вторая серия опытов, $pH =$										
$D_1$										
$D_2$										
$D_3$										
$D_{\text{сред}}$										

По данным таблицы 6 строят графические зависимости оптической плотности  $D$  (по оси ординат) от объема коагулянта  $V_{\text{коаг}}$  (по оси абсцисс), определяют оптимальную дозу коагулянта и делают вывод о влиянии  $pH$  среды на процесс коагуляции.

### Контрольные вопросы:

1. Дать определение коагуляции.
2. На основе теории ДЛФО объяснить, почему в качестве коагулянта используется сульфат алюминия.
3. Объяснить, чем отличаются гидрофобные коллоидные системы (примеси) от гидрофильных.
4. Дать определение порога коагуляции.
5. Перечислить факторы устойчивости коллоидной системы.

### Лабораторная работа № 4.

#### Определение изоэлектрической точки раствора желатины по зависимости вязкости и мутности от $pH$ среды.

##### Цель работы:

Ознакомление с методом определения изоэлектрической точки раствора желатины по зависимости вязкости и мутности от  $pH$  среды.

##### Задачи работы:

1. Сдача допуска к лабораторной работе
2. Проведение экспериментальной части
3. Оформление и защита отчета

##### Обеспечивающие средства:

Фотоэлектроколориметр

Кюветы длиной 3 см

$pH$  – метр

Вискозиметр

Секундомер

Стакан емкостью 50 мл – 8 (9) шт

Пипетка емкостью 25 мл – 3 шт

Пипетка емкостью 10 мл – 1 шт

##### Задание:

1. Экспериментально определить изоэлектрическую точку раствора желатины по зависимости вязкости от  $pH$  среды
2. Экспериментально определить изоэлектрическую точку раствора желатины по зависимости мутности от  $pH$  среды
3. Произвести расчеты, построить графические зависимости и сделать выводы в соответствии с полученными данными

##### Требования к отчету:

1. Название и номер работы
2. Цель и задачи работы
3. Ход работы
4. Экспериментальные данные
5. Расчеты
6. Вывод о проделанной работе

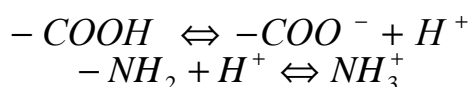
##### Технология выполнения работы:

Полиэлектролиты благодаря наличию ионогенных групп диссоциируют в воде и других полярных растворителях. Степень диссоциации групп амфотерных полиэлектролитов зависит от их природы,  $pH$  и ионного состава раствора.

При увеличении степени диссоциации возрастает электростатическое отталкивание одноименно заряженных групп молекул, что приводит к существенному изменению их конформации в растворе, а именно: цепи, свернутые в клубок, распрямляются и стремятся

принять форму, приближающуюся к линейной. В результате этого увеличивается эффективный размер молекул и существенно изменяются физико-химические свойства растворов, например, возрастает вязкость, изменяется интенсивность светорассеяния. При уменьшении степени диссоциации макромолекулы, наоборот, сворачиваются, приобретая конформации с наибольшим значением энтропии в системе. Если  $pH$  раствора поддерживают постоянным, то в результате электростатического взаимодействия ионизированной части полярных групп и теплового движения устанавливаются определенные конформации молекул. Состояние равновесия зависит от величины заряда полииона, состава раствора и температуры.

Исследуемая в данной работе желатина представляет собой продукт переработки коллагена – распространенного в природе белкового вещества. В молекулах желатины содержатся как кислотные (карбоксильные), так и основные (амино) группы. Поэтому в водных растворах желатина проявляет свойства, присущие амфотерным полиэлектролитам, т.е. происходит ионизация кислотных и основных групп:



Степень ионизации каждой группы зависит от  $pH$  среды и ионной силы раствора. Для полиамфолитов характерным является такое состояние, когда число ионизированных кислотных групп равно числу ионизированных основных, т.е. суммарный заряд макромолекул равен нулю. Это наблюдается при определенной концентрации ионов водорода, отвечающей изоэлектрической точке. В изоэлектрическом состоянии макромолекула стремится свернуться в наиболее плотный клубок.

Если потенциалопределяющими ионами являются ионы  $H^+$  и  $OH^-$ , то отсутствие заряда на поверхности будет соответствовать определенному значению  $pH$ , называемому изоэлектрической точкой. В этой точке числа положительных и отрицательных зарядов одинаковы – общий заряд поверхности равен нулю.

При изоэлектрической точке не происходит передвижения молекул под действием внешнего электрического поля, наблюдается минимальная вязкость раствора, максимальное светорассеяние и набухание, наибольшее осмотическое давление. Изоэлектрическая точка зависит от кислотно-основных свойств вещества.

В кислой среде (относительно изоэлектрической точки), например в присутствии  $HCl$ , диссоциация карбоксильных групп подавлена и макромолекулы содержат в основном положительно заряженные группы  $-RNH_3^+$ .

В слабокислой среде с увеличением содержания в растворе  $HCl$  степень диссоциации аминогрупп повышается. В результате электростатическое отталкивание группы  $-RNH_3^+$  возрастает и происходит разворачивание молекулярных клубков полиамфолита. Это сопровождается увеличением вязкости и уменьшением мутности раствора. При значительном содержании  $HCl$  (большое количество хлорид - ионов) степень диссоциации основных групп понижается в результате образования солевой формы  $RNH_3Cl$ , а эффективные размеры молекул снова уменьшаются.

При возрастании  $pH$  раствора относительно изоэлектрической точки (изменяется от нейтральной до слабощелочной) преобладает процесс диссоциации кислотных групп, что приводит к постепенному разворачиванию молекулярных клубков. При значительном повышении щелочности, так же как и при увеличении кислотности, количество заряженных групп уменьшается в результате образования  $RCOONa$  и макромолекулы снова сворачиваются в плотные клубки. В соответствии с таким поведением

макромолекул желатины на кривой зависимости свойства раствора полиамфолита от  $pH$  среды имеется несколько экстремумов.

Для экспериментального исследования изоэлектрической точки раствора желатины по зависимости вязкости от  $pH$  среды в пронумерованные стаканы вносят охлажденный до комнатной температуры и отфильтрованный 1,5-%ый раствор желатины, 0,05М раствор соляной кислоты, 0,01М раствор гидроксида натрия и дистиллированную воду, в объемах, представленных в таблице 7.

Таблица 7

№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8
Объем желатины, мл	–	20	20	20	20	20	20	20
Объем HCl, мл	–	20	12	6	2	–	–	–
Объем NaOH, мл	–	–	–	–	–	–	4	10
Объем H <sub>2</sub> O, мл	40	–	8	14	18	20	16	10

Измеряют значение  $pH$  и определяют вязкость приготовленных растворов и растворителя (дистиллированная вода) с помощью капиллярного вискозиметра ВПЖ–2. Для этого исследуемый раствор затыгивают грушей выше верхней метки вискозиметра и дают жидкости свободно течь. При прохождении уровня жидкости через верхнюю метку включают секундомер, при прохождении через нижнюю метку – выключают. Измерения каждой пробы проводят трехкратно при постоянном давлении (указывается преподавателем).

Относительную вязкость раствора желатины рассчитывают по формуле:

$$\eta_{отн} = \eta/\eta_0 = \tau/\tau_0, \quad (43)$$

где  $\eta$  и  $\eta_0$  – вязкость раствора и растворителя;

$\tau$  и  $\tau_0$  – время истечения раствора и растворителя.

Результаты измерений и расчетные данные оформляют в виде таблицы 8.

Таблица 8

№ пробы	$pH$ раствора	Время истечения, с				Относительная вязкость $\eta_{отн}$
		$\tau_1$	$\tau_2$	$\tau_3$	$\tau_{сред}$	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

По данным таблицы 8 строят графическую зависимость относительной вязкости  $\eta_{отн}$  (по оси ординат) от  $pH$  раствора (по оси абсцисс) и определяют изоэлектрическую точку желатины по минимуму на кривой.



Для экспериментального исследования изоэлектрической точки раствора желатины по зависимости мутности от  $pH$  среды в пронумерованные стаканы вносят охлажденный до комнатной температуры и отфильтрованный 1,5-%ый раствор желатины, 0,05M раствор соляной кислоты, 0,01M раствор гидроксида натрия и дистиллированную воду, в объемах, представленных в таблице 9.

Таблица 9

<i>№ пробы</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Объем желатины, мл</i>	20	20	20	20	20	20	20	20	20
<i>Объем HCl, мл</i>	20	8	2	1	–	–	–	–	–
<i>Объем NaOH, мл</i>	–	–	–	–	–	2	6	12	20
<i>Объем H<sub>2</sub>O, мл</i>	–	12	18	19	20	18	14	8	–

Измеряют  $pH$  всех приготовленных растворов и проводят трехкратное измерение оптической плотности растворов на фотоэлектроколориметре, используя кюветы длиной 3 см при длине волны  $\lambda = 364 \text{ нм}$ . Раствором сравнения является дистиллированная вода. Растворы из кювет после измерения оптической плотности выливают обратно в стаканы.

По окончании измерения увеличивают кислотность растворов в колбах 1 и 2, для чего в колбу 1 добавляют одну каплю, а в колбу 2 – две капли концентрированной  $HCl$  и снова измеряют значения  $pH$  и  $D$  этих растворов.

Мутность растворов желатины вычисляют по формуле:

$$2,3D = \tau \cdot l. \quad (44)$$

Результаты измерений и расчетные данные оформляют в виде таблицы 10.

Таблица 10

<i>№ пробы</i>	<i>pH раствора</i>	<i>Оптическая плотность</i>				<i>Мутность раствора</i> $\tau, \text{ см}^{-1}$
		$D_1$	$D_2$	$D_3$	$D_{\text{сред}}$	
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
<i>При добавлении концентрированной HCl</i>						
1						
2						

По данным таблицы 10 строят графическую зависимость мутности раствора  $\tau$  (по оси ординат) от  $pH$  раствора (по оси абсцисс) и определяют изоэлектрическую точку желатины по максимуму на кривой.

## Контрольные вопросы:

1. По какому признаку дисперсные системы делят на лиофобные и лиофильные. Чем объяснить самопроизвольное возрастание межфазной поверхности при образовании лиофильных дисперсных систем.
2. Чем отличаются коллоидные ПАВ от истинно растворимых. Что называют критической точкой концентрации мицеллообразования.
3. Каким образом ориентируются молекулы ПАВ в мицеллах, образующихся в полярных и неполярных средах. От чего зависит форма мицелл в растворах коллоидных ПАВ.
4. Что такое изоэлектрическая точка полиэлектролитов. Как влияет  $pH$  раствора на форму молекул полиамфолитов.
5. Как влияет изменение конформаций макромолекул на вязкость и светорассеяние растворов полиамфолитов.

## Лабораторная работа № 5.

### Седиментационный анализ полидисперсных систем методом непрерывного взвешивания

#### Цель работы:

Ознакомление с седиментационным методом определения размеров частиц полидисперсных систем.

#### Задачи работы:

1. Сдача допуска к лабораторной работе
2. Проведение экспериментальной части
3. Оформление и защита отчета

#### Обеспечивающие средства:

Весы торзионные  
Секундомер  
Весы лабораторные (аналитические)  
Цилиндр емкостью 250 – 300 мл – 1 шт  
Стакан емкостью 250 мл – 1 шт  
Мешалка стеклянная – 1 шт  
Ступка фарфоровая – 1 шт  
Пестик фарфоровый – 1 шт

#### Задание:

1. Приготовить суспензию исследуемого вещества, навеской 1 – 1,5 грамма (указывается преподавателем)
2. Экспериментально определить размеры частиц с помощью торзионных весов
3. Произвести расчеты и сделать выводы в соответствии с полученными данными

#### Требования к отчету:

1. Название и номер работы
2. Цель и задачи работы
3. Ход работы
4. Экспериментальные данные
5. Расчеты
6. Вывод о проделанной работе

#### Технология выполнения работы:

Седиментационный анализ применяется для определения размеров частиц в системах относительно низкой степени дисперсности (суспензии, эмульсии). Для высокодисперсных систем дисперсионный анализ проводят в центробежном поле.

Целью дисперсионного анализа является получение кривых распределения, которые позволяют установить, каково относительное содержание частиц в заданных интервалах радиусов, т. е. Каков фракционный состав системы.

Седиментационный анализ основан на зависимости размеров частиц скорости их оседания, выражающейся уравнением:

$$r = K\sqrt{u} = \sqrt{\frac{9 \cdot \eta \cdot u}{2(D - \rho)g}} \quad (45)$$

$$u = H/\tau,$$

где  $H$  – высота оседания частиц

$\tau$  – время оседания

Определив экспериментально эти величины и рассчитав константу  $K$ , можно вычислить эквивалентные радиусы частиц, оседающих за те или иные промежутки времени.

В работе используется метод непрерывного взвешивания седиментационного осадка. По полученным экспериментальным данным строят седиментационную кривую – зависимость массы седиментационного осадка  $P$  от времени оседания  $\tau$  (рис .13). В реальных полидисперсных системах кривые оседания имеют вид параболы.

Затем экспериментальную седиментационную кривую обрабатывают графическим способом (путем построения касательных в точках кривой, соответствующих разным значениям  $\tau$ ) и получают данные для построения интегральной и дифференциальной кривых распределения. Метод построения касательных заключается в следующем: к кривой  $\sigma = f(c)$  в 5 – 7 точках строят касательные. Для их построения можно воспользоваться следующим простым способом. Вблизи предполагаемой точки касания строят две параллельные хорды (рис. 14) и через их середины проводят прямую до пересечения с кривой  $\sigma = f(c)$ . Через найденную таким образом точку параллельно хордам проводят касательную до пересечения с осью ординат.

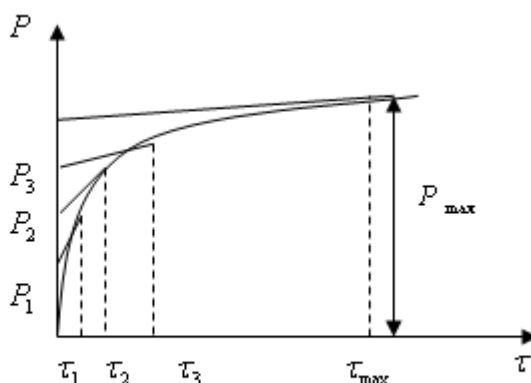


Рис. 13 Седиментационная кривая

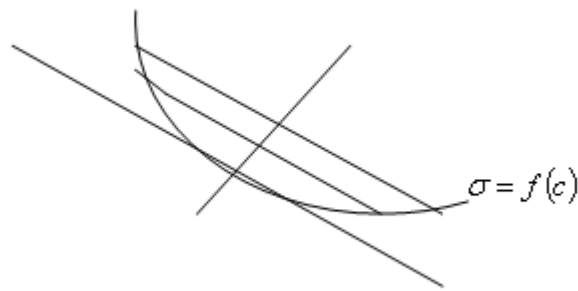


Рис. 14 Построение касательной к кривой

Если бы размеры частиц в суспензии были одинаковы, т.е. суспензия была бы монодисперсной, масса седиментационного осадка увеличилась бы пропорционально времени оседания. На графике  $P(\tau)$ , очевидно, получилась бы прямая  $OA$ ;  $\tau$  – время, в течение которого осядут все частички данного размера (рис. 15).

Представим себе суспензию, состоящую из частиц двух фракций: крупных и мелких (рис. 16). Очевидно, будет происходить одновременно оседание крупных частиц за время  $\tau_1$  (увеличение массы седиментационного осадка за их счет происходит по прямой  $OA$ ) и мелких частиц за несколько большее время  $\tau_2$  (по прямой  $OB$ ). За время  $\tau_1$  будут оседать одновременно крупные и мелкие частицы. Общее увеличение массы седиментационного осадка за это время будет происходить по прямой  $OC$ , полученной путем сложения ординат линий  $OA$  и  $OB$  ( $AC = A'C'$ ). Далее увеличение массы седиментационного осадка происходит за счет оседания мелких частиц по линии  $CD$  (линия  $CD$  параллельна  $OB$  и  $B'B = D'D$ ). В результате изменение массы седиментационного осадка описывается ломаной линией  $OCD$ .

Если суспензия содержит три фракции частиц, седиментационная линия будет состоять из трех прямолинейных отрезков. При увеличении числа фракций, очевидно, будет увеличиваться число изломов на седиментационной линии и для реальной полидисперсной суспензии она превратится в плавную кривую, близкую к параболе (см. рис. 1).

Из рис. 13 видно, что отрезок ординаты  $OO_1$  соответствует  $P_1$  – массе первой фракции, а отрезок  $O_1O_2$  –  $P_2$  – массе второй фракции ( $OO_1 = AA'$ ;  $O_1O_2 = B'B = D'D$ ).

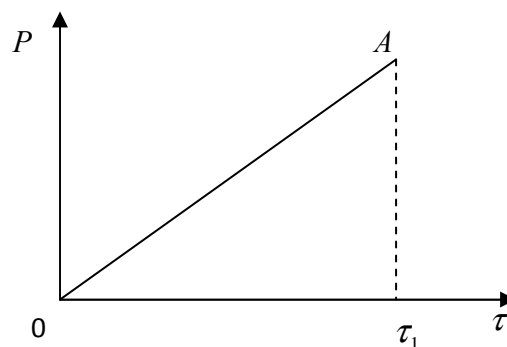


Рис. 15 Изменение массы седиментационного осадка для монодисперсной суспензии

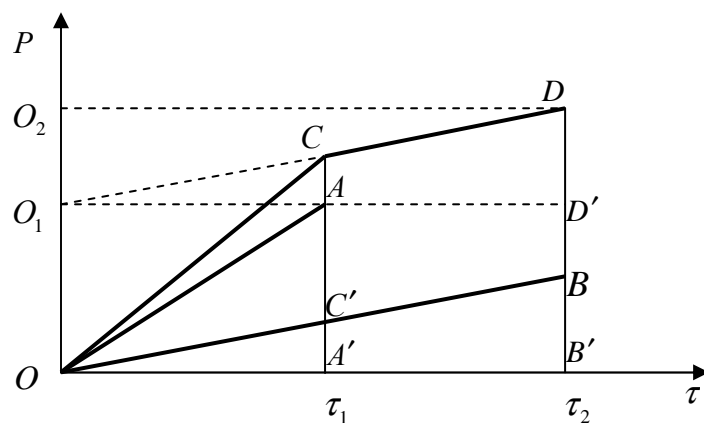


Рис. 16 Изменение массы седиментационного осадка для суспензии из двух фракций частиц

Если к нескольким точкам на седиментационной кривой (рис.1), соответствующим разному времени оседания ( $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{\max}$ ), провести касательные, они отсекут на оси ординат отрезки, равные массе фракций, оседающих за соответствующие промежутки времени:  $P_1$  – за время  $\tau_1$ ;  $P_2$  – за время  $\tau_2, \dots, P_{\max}$  – за  $\tau_{\max}$ , т.е.  $P_{\max}$  – максимальная масса седиментационного осадка за все время оседания.

Значение  $P_{\max}$  достигается тогда, когда седиментационный анализ доведен до конца, т.е. когда осели частицы самых маленьких размеров. Если в системе содержатся очень мелкие частицы, анализ не всегда удастся довести до конца (время оседания очень мелких частиц весьма велико, а прибавление массы осадка ничтожно). В этих случаях предел, к которому стремится кривая седиментации ( $P_{\max}$ ), находят аналитическим путем.

В некоторых случаях при проведении седиментационного анализа не удастся зафиксировать оседание очень крупных частиц, которых обычно в системе мало, но оседают они очень быстро. Если необходимо знать размер самых крупных частиц в системе, его определяют с помощью микроскопа.

Для экспериментального определения размеров частиц дисперсной системы пользуются торзионными весами, схема которых представлена на рисунке 17.

Приступая к работе, устанавливают весы посредством опорных винтов 1 и 2 по уровню. После этого, открыв арретир 3, устанавливают стрелку 5 на нуле с помощью рычага 4. При правильно установленных весах стрелка – указатель равновесия 6 находится на нулевом делении шкалы. Если равновесие смещено, его выравнивают при помощи винта 7, затем арретир закрывают.

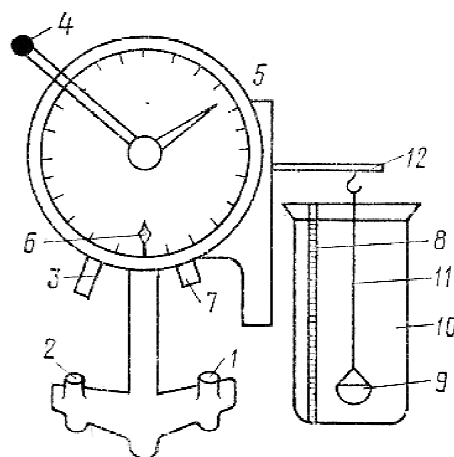


Рис. 17 Схема торсионных весов:

1, 2 – опорные винты; 3 – арретир; 4 – рычаг стрелки; 5 – стрелка весов; 6 – стрелка - указатель равновесия; 7 – винт; 8 – линейка с миллиметровой шкалой; 9 – чашечка для седиментационного осадка; 10 – цилиндр для суспензии; 11 – стеклянная тонкостенная палочка; 12 – коромысло весов с крючком

Наполняют цилиндр 10 дистиллированной водой до метки и ставят стакан к торсионным весам. Затем помещают в него чашечку 9, подвешивая ее на крючок коромысла 12 с помощью стеклянной палочки. Чашечка должна находиться в центре стакана на расстоянии 2 – 3 см от дна. Открывают арретир 3 и движением рычага 4 устанавливают указатель равновесия 6 в нулевое положение; стрелка весов 5 покажет на шкале массу чашечки в дисперсионной среде  $P_0$  в мг.

Линейкой измеряют глубину погружения чашечки  $H$  (см). Затем закрывают арретир и снимают чашечку с коромысла. Воду из цилиндра переносят в стакан.

Для приготовления суспензии исследуемый порошок, заданной навески, помещают в ступку и перетирают пестиком до мелкодисперсного состояния.

Затем дистиллированной водой из стакана многократным ополаскиванием ступки и пестика, порошок переносят в цилиндр и тщательно перемешивают суспензию специальной мешалкой 1 – 2 минуты. Далее мешалку вынимают из цилиндра, быстро помещают в него чашечку 9, подвешивая ее к весам, и одновременно с этим включают секундомер.

Открыв арретир 3 и перемещая рычаг 4 до установления равновесия, находят массу чашечки через 15 секунд от начала опыта. Следующие отчеты массы  $P$  производят через промежутки (от начала опыта), указанные в таблице 11, записывая в нее результаты измерений.

Опыт проводят до тех пор, пока масса чашечки не станет постоянной (не будет изменяться в течении 10 минут).

По данным таблицы 11 строят кривую оседания  $P = f(\tau)$ , где  $P$  – масса седиментационного осадка, мг (по оси ординат),  $\tau$  – время оседания, мин (по оси абсцисс). Затем обрабатывают седиментационную кривую методом построения касательных. Для этого на кривой выбирают 8 точек и проводят касательные к седиментационной кривой, продолжая их до пересечения с осью ординат (рис. 13). Отрезки ординат, отсекаемые касательными, дают массу отдельных фракций частиц ( $P_1, P_2, \dots, P_n$ ). Отрезок ординаты от начала координат до первой касательной соответствует массе наиболее крупной фракции ( $P_1$ ). Последний отрезок ординаты (между последней касательной и горизонтальной прямой, соответствующей  $P_{\max}$ ) даст массу частиц самой мелкой

фракции. Последнюю касательную нужно проводить как можно ближе к горизонтальной прямой, чтобы величина  $P_n$  была небольшой.

Таблица 11

Время оседания $\tau$ , с (от начала опыта)	Масса чашечки с осадком $P'$ , мг	Масса осадка $P = P' - P_0$ , мг
15"		
30"		
1'		
2'		
4'		
6'		
8'		
10'		
12'		
$\tau''$ , до постоянной массы		

Зная массу частиц отдельных фракций, а также общую массу седиментационного осадка ( $P_{\max}$ ), можно определить процентное содержание отдельных фракций:

$$Q = \frac{P}{P_{\max}} \cdot 100\%, \quad (46)$$

где  $Q$  – процентное содержание фракции;

$P$  – масса фракции, мг

$P_{\max}$  – общая масса седиментационного осадка, мг

Очевидно,  $Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 100\%$ , так как  $P_1 + P_2 + \dots + P_n = P_{\max}$ .

Затем, пользуясь уравнением (45) и таблицей 12, находят радиус частиц отдельных фракций.

Таблица 12

Исследуемое вещество	Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>
$Al_2O_3$	4,0
$BaSO_4$	4,5
$CaCO_3$	2,710
$SiO_2$	2,65
Вязкость воды ( $\eta_{H_2O}$ ) при 20 <sup>0</sup> С : $1,002 \cdot 10^{-3}$ Па·с	

Результаты вычислений оформляют в виде таблицы 13, по данным которой строят интегральную (суммарную) кривую (рис. 6). Для этого на оси абсцисс откладывают значения эквивалентных радиусов, начиная с самых мелких частиц, а на оси ординат – нарастающее суммарное процентное содержание всех частиц от наименьшего до данного радиуса включительно, относя его к наибольшему в данной фракции радиусу.

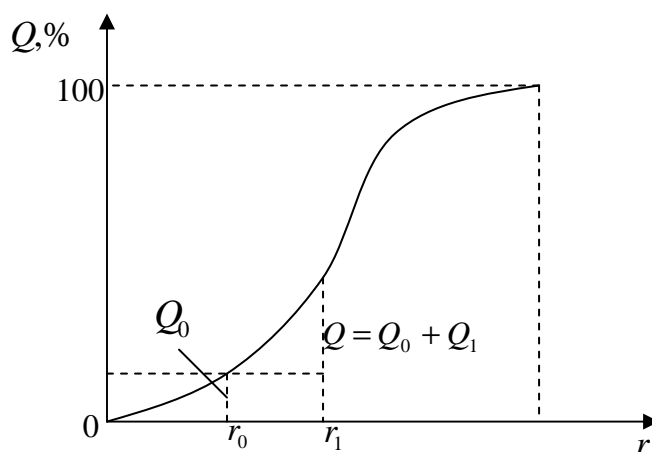
Подсчет начинают с самых мелких частиц (т.е. с последней строки таблицы 12), где процентное содержание составляет  $Q_n$ ; для частиц следующей (более крупной) фракции суммарное процентное содержание равно  $Q_n + Q_{n-1}$  и т.д.

Таким образом, последняя суммарная величина, соответствующая фракции от  $r_1$  до  $r_{\max}$  и отнесенная к  $r_{\max}$ , составит 100%.

Таблица 13

$N_0$	$\tau$ , мин	$P$ , мг	$Q$ , %	$q$ , %	$\sqrt{u} = \sqrt{H/\tau}$	$r$ , мкм
1						
2						
3						
...						
		$\sum P = P_{\max}$	$\sum Q = 100\%$			

где  $\tau$  – значение времени оседания для точки, в которой проведена касательная  
 $P$  – масса фракции осадка, определенная по седиментационной кривой  
 $Q$  – процентное содержание фракции  
 $q$  – нарастающее суммарное содержание частиц (начиная с самых мелких)  
 $r$  – эквивалентный радиус частиц



Эквивалентные размеру частиц в данной системе, находят из дифференциальной кривой распределения, для построения которой обрабатывают интегральную кривую следующим способом:

Откладывая на оси абсцисс значения эквивалентных радиусов  $r$ , а на оси ординат функцию распределения  $\Delta Q/\Delta r$ , строят прямоугольники, беря за их основания равные интервалы радиусов  $\Delta r$ , а за высоты –  $\Delta Q/\Delta r$ .

Соединив плавной кривой середины верхних оснований прямоугольников, получают дифференциальную кривую распределения, по которой можно определить  $r_{\max}$  – радиус частиц, которых больше всего в данной дисперсной системе (рис. 19).



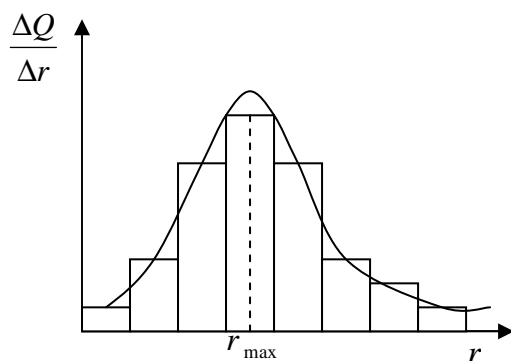


Рис. 19 Дифференциальная кривая распределения

Площадь каждого прямоугольника представляет собой процентное содержание фракции с определенным интервалом размера частиц ( $\Delta r$ ). Площадь, описываемая кривой, должна быть равна сумме площадей всех прямоугольников.

По форме дифференциальная кривая чаще всего является статистической кривой распределения с одним максимумом, но она может быть и другой: она зависит от характера дисперсности системы.

Расчет и построение кривых распределения частиц по радиусам можно проводить аналитическими методами, основанными на уравнениях, описывающих с определенной долей приближения реальные седиментационные кривые.

### Контрольные вопросы:

1. Назовите методы дисперсионного анализа и укажите области их применения. Для каких дисперсных систем применяется седиментационный анализ в гравитационном поле и в центробежном поле.
2. Какие системы называют монодисперсными и полидисперсными. Что служит характеристикой полидисперсной системы.
3. Каково назначение интегральных и дифференциальных кривых распределения частиц по размерам. Как изменяется вид кривых распределения по мере приближения полидисперсной системы к монодисперсной.
4. Что такое диффузионно-седиментационное равновесие. Чем характеризуются Кинетическая и термодинамическая седиментационная устойчивость системы. Как определяют размеры частиц в условиях диффузионно-седиментационного равновесия.
5. Что такое константа седиментации и что она характеризует. Напишите выражение для константы седиментации сферических частиц, если осаждение их подчиняется закону Стокса.

## Лабораторная работа № 6.

### Синтез гидрозоля гидроксида железа, изучение условий его стабилизации и коагуляции

#### Цель работы:

Ознакомление с конденсационным методом синтеза гидрозоля гидроксида железа.

#### Задачи работы:

1. Сдача допуска к лабораторной работе
2. Проведение экспериментальной части
3. Оформление и защита отчета

#### Обеспечивающие средства:

Фотоэлектроколориметр

Кюветы длиной 1 см

Секундомер

Плитка электрическая

Колба коническая термостойкая емкостью 250 – 300 мл – 1 шт

Колба коническая емкостью 50 мл – 10 (20) шт

Пипетка емкостью 10 мл – 2 шт

Пипетка емкостью 5 мл – 2 шт

#### Задание:

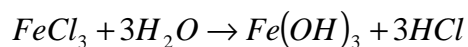
1. Экспериментально определить порог электролитной коагуляции золя и его зависимость от заряда коагулирующего иона
2. Экспериментально определить защитное число стабилизатора (высокомолекулярного соединения).
3. Произвести расчеты, построить графические зависимости и сделать выводы в соответствии с полученными данными

#### Требования к отчету:

1. Название и номер работы
2. Цель и задачи работы
3. Ход работы
4. Экспериментальные данные
5. Расчеты
6. Вывод о проделанной работе

#### Технология выполнения работы:

Гидрозоль гидроксида железа синтезируют методом конденсации путем проведения реакции гидролиза хлорида железа при 100° С :



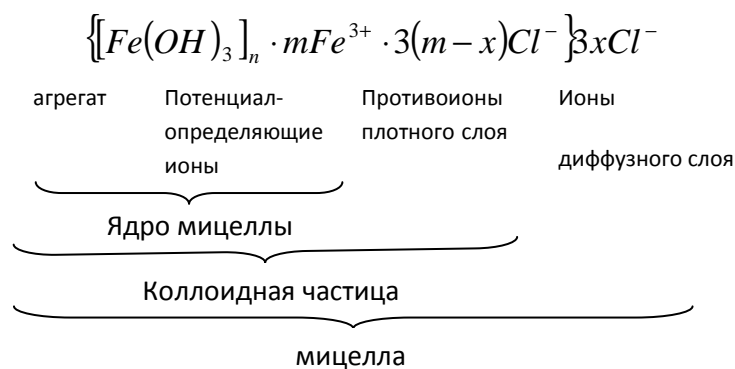
Реакция гидролиза  $FeCl_3$  идет интенсивно с образованием высокодисперсных нерастворимых в воде частиц  $Fe(OH)_3$ .

Агрегативная устойчивость золя гидроксида железа обеспечивается прежде всего наличием на поверхности дисперсных частиц двойных электрических слоев. Элементарная частица такого золя называется мицеллой. В основе мицеллы лежит нерастворимый в данной дисперсионной среде агрегат, состоящий из множеств молекул (атомов):  $[Fe(OH)_3]_n$ , где  $n$  – число молекул (атомов), входящих в агрегат.

Поверхность агрегата может заряжаться благодаря избирательной адсорбции ионов из дисперсионной среды или диссоциации молекул в поверхностном слое агрегата. В соответствии с правилом Пескова – Фаянса адсорбируются преимущественно ионы, входящие в состав агрегата, либо специфически взаимодействующие с ним. Ионы, сообщаемые агрегату поверхностный заряд, называются потенциалопределяющими.

Заряженный агрегат составляет ядро мицеллы. При данном методе получения золя гидроксида железа ядро  $[Fe(OH)_3]_n \cdot mFe^{3+}$  имеет положительный поверхностный заряд за счет адсорбции ионов  $Fe^{3+}$  из среды ( $m$  – число адсорбированных ионов). Заряд ядра компенсируется эквивалентным зарядом противоположно заряженных ионов – противоионов, расположенных в объеме среды. Противоионы, находящиеся непосредственно у поверхности ядра (на расстояниях, близких к диаметрам ионов), помимо электростатических сил испытывают силы адсорбционного притяжения поверхности. Поэтому они особо прочно связаны с ядром мицеллы и носят название противоионов адсорбционного слоя (их число  $m-x$ ). Остальные противоионы составляют диффузно построенную ионную оболочку и называются противоионами диффузного слоя (их число соответствует  $x$ ).

Мицелла гидрофобного золя является электронейтральной. Формулу мицеллы ионостабилизированного золя гидроксида железа можно записать следующим образом:



В формуле мицеллы границы коллоидной частицы обозначены фигурными скобками. Толщина адсорбционного слоя  $\delta$  мала ( $< 1$  нм) и постоянна. Толщина диффузного слоя  $\lambda$  существенно больше (может быть  $> 10$  нм) и сильно зависит от концентрации электролитов в системе. При высоких концентрациях электролитов или при введении многозарядных ионов ионный фактор  $x$  становится большим, а толщина  $\lambda = 1/x$  мала и стремится к нулю. В пределе  $\lambda = 0$  и частица заряжена. В этом случае противоионы адсорбционного слоя полностью компенсируют поверхностный заряд ядра. В результате достигается так называемое изоэлектрическое состояние, часто сопровождающееся потерей агрегативной устойчивости системы.

Написанная выше формула мицеллы является только качественной, она позволяет судить о структуре поверхностных ионных слоев, но непригодна для количественной характеристики состава коллоидных частиц.

В процессе коагуляции высокодисперсного золя гидроксида железа образуются сравнительно небольшие по размерам седиментационно устойчивые агрегаты. Поэтому исследование коагуляции частиц  $Fe(OH)_3$  удобнее всего проводить с помощью турбидиметрического метода. Применимость этого метода основывается на сильной зависимости интенсивности светорассеяния от размеров частиц. При коагуляции частиц она повышается, соответственно увеличивается оптическая плотность золя. Поскольку при прохождении светового потока через окрашенные золи часть света рассеивается, а часть поглощается, то при изучении коагуляции в таких системах методом турбидиметрии необходимо исключить поглощение света. Для золя  $Fe(OH)_3$  этого можно достичь,

проводя измерения при красном светофильтре, т.е. при длине волны падающего света  $\lambda = 620 - 625 \text{ нм}$ .

Порог быстрой коагуляции находят по пороговому объему электролита  $V_K$  (мл), при котором оптическая плотность золя достигает максимального значения, а при дальнейшем добавлении электролита не изменяется (рис.20).

Значение  $c_K$  рассчитывают по формуле:

$$c_K = \frac{c_{ЭЛ} \cdot V_K}{V}, \quad (47)$$

где  $c_{ЭЛ}$  – концентрация введенного электролита, моль/л;

$V$  – объем золя, мл.

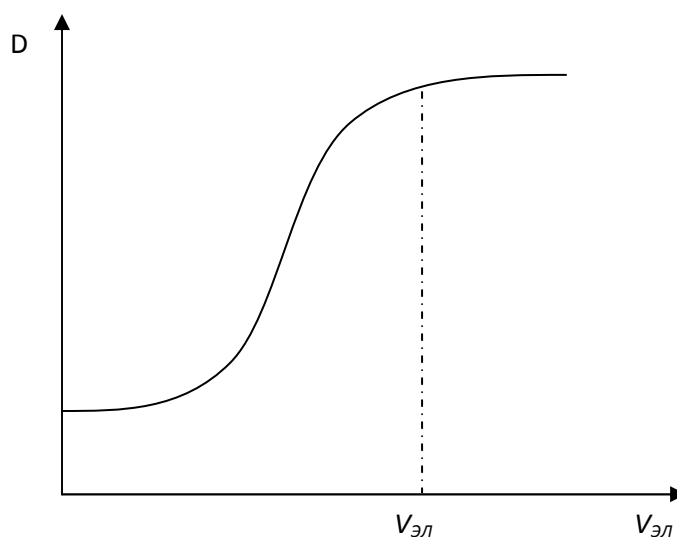


Рис. 20. Зависимость оптической плотности золя от объема электролита-коагулянта  $V_{ЭЛ}$

Для предотвращения агрегации частиц и защиты гидрозолей и гидросуспензий от коагулирующего действия электролитов применяют высокомолекулярные соединения и коллоидные ПАВ, растворимые в воде, например белки, крахмал, декстрин. Их стабилизирующее действие основано на образовании на поверхности частиц дисперсной фазы адсорбционных гелеобразных пленок и связано как с уменьшением межфазного натяжения, так и со структурно-механическими свойствами поверхностных слоев.

Защитная способность полимеров или ПАВ относительно выбранного золя характеризуется защитным числом  $S$  – количеством вещества, требуемого для стабилизации единицы объема золя. Защитное число  $S$ , как и порог коагуляции  $c_K$ , определяют методом турбидиметрии. Защитное число  $S$  (г/л золя) вычисляют по уравнению:

$$S = \frac{c_{СТ} \cdot V_{ЗАЩ}}{V}, \quad (48)$$

где  $c_{СТ}$  – концентрация раствора стабилизатора, г/л;

$V_{зашц}$  – объем раствора стабилизатора, необходимый для предотвращения коагуляции золя, мл.

Значение  $V_{зашц}$  соответствует объему стабилизатора в золе, содержащем пороговый объем электролита, при котором на кривой зависимости  $D = f(V_{СТ})$  появляется нижний горизонтальный участок (рис. 21).

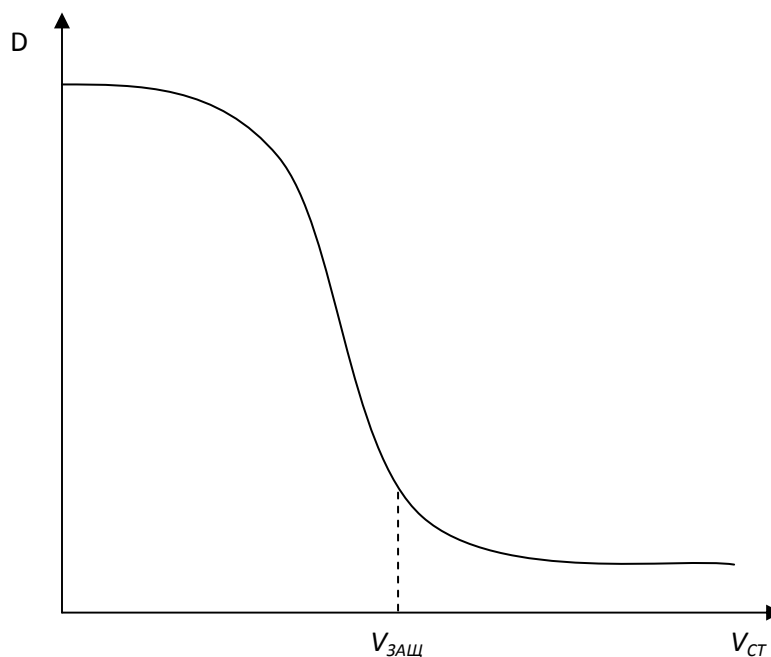


Рис. 21. Зависимость оптической плотности золя от объема раствора стабилизатора  $V_{СТ}$

Для экспериментального исследования конденсационного метода синтеза гидрозоль железа следует получить гидрозоль  $Fe(OH)_3$ . Для его приготовления в термостойкой колбе доводят до кипения 250 мл дистиллированной воды, после чего приливают 10 мл 2%-ного раствора хлорида железа (III) –  $FeCl_3$ . Образовавшийся золь, красно-коричневого цвета, охлаждают до комнатной температуры под струей холодной воды или в емкости со льдом.

Электролитом является сульфат натрия –  $Na_2SO_4$  или ацетат натрия –  $CH_3COONa$  (указывается преподавателем).

В первой серии опыта исследуют коагуляцию золя гидроксида железа при введении в него раствора электролита путем измерения оптической плотности полученных систем.

В 10 колб вносят золь, дистиллированную воду и электролит в объемах, представленных в таблице 14.

Электролит вводят в каждую пробу золя за 3 мин непосредственно перед измерением оптической плотности.

Таблица 14

№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объем золя, мл	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Объем $H_2O$ , мл	10	9	8,5	8	7,5	7	6,5	6	5,5	5
Объем электролита, мл	–	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5

Проводят трехкратное измерение оптической плотности растворов на фотоэлектроколориметре, используя кюветы длиной 1 см при длине волны  $\lambda = 590$  нм. Раствором сравнения является дистиллированная вода. Измерения проводят, начиная с раствора с наименьшим объемом электролита.

Результаты измерений оформляют в виде таблицы 15, по данным которой строят графическую зависимость оптической плотности (по оси ординат) от объема электролита (по оси абсцисс).

По графику находят пороговый объем электролита  $V_K$ , вызывающий быструю коагуляцию золя, и по формуле (47) рассчитывают значения  $c_K$ .

Таблица 15

№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{эл}$ , мл	–	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
<i>Оптическая плотность золя</i>										
$D_1$										
$D_2$										
$D_3$										
$D_{сред}$										

Во второй серии опыта определяют защитное число полимера – желатины относительно золя  $Fe(OH)_3$ .

В 10 колб вносят золь, раствор желатины и электролит в объемах, представленных в таблице 16.

Общий объем пробы составляет 20 мл и должен быть одинаковым для всех проб.

Объем дистиллированной воды высчитывается в зависимости от объема золя, раствора желатины и электролита.

Электролит-коагулятор добавляют через 10 – 15 мин после введения в пробу раствора желатины (это способствует адсорбции раствора желатины на частицах золя) и вводят в каждую пробу золя за 3 мин непосредственно перед измерением оптической плотности.

Таблица 16

№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объем золя, мл	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Объем раствора желатины, мл	5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	–
Объем электролита, мл	<i>В объеме, соответствующем <math>V_{эл}</math></i>									

Проводят трехкратное измерение оптической плотности растворов на фотоэлектроколориметре, используя кюветы длиной 1 см при длине волны  $\lambda = 590 \text{ нм}$ . Раствором сравнения является дистиллированная вода. Измерения проводят, начиная с раствора с наименьшим объемом раствора желатины.

Результаты измерений оформляют в виде таблицы 17.

Таблица 17

№ пробы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Объем раствора желатины $V_{СТ}$ , мл	5	4	3,5	3	2,5	2	1,5	1	0,5	–
Оптическая плотность золя										
$D_1$										
$D_2$										
$D_3$										
$D_{\text{сред}}$										

По данным таблицы 15 строят графическую зависимость оптической плотности (по оси ординат) от объема раствора желатины (по оси абсцисс), находят объем раствора желатины  $V_{\text{защ}}$ , необходимый для предотвращения коагуляции золя и по формуле (48) рассчитывают защитное число  $S$ .

#### Контрольные вопросы:

1. Какой процесс называют коагуляцией. Чем завершается процесс коагуляции. Какими способами можно вызвать коагуляцию лиофобной коллоидной системы.
2. Что называют быстрой и медленной коагуляцией. Какова взаимосвязь между скоростью коагуляции и видом потенциальной кривой взаимодействия частиц.
3. Каково различие между нейтрализационной и концентрационной коагуляцией лиофобных золь электролитами. Как влияет заряд коагулирующего иона на порог быстрой коагуляции.
4. Действием каких факторов обеспечивается агрегативная устойчивость лиофобных дисперсных систем. Какие вещества используют в качестве стабилизаторов этих систем.
5. В чем заключается сходство и различие суспензий и лиозолей.

### III. Методические указания к самостоятельной работе студентов

Целью преподавания дисциплины «Поверхностные явления и дисперсные системы» является знакомство студентов специальности 240406 «Технология химической переработки древесины» с основными разделами курса и обеспечение теоретической подготовки, необходимой для того, чтобы полноценно ориентироваться в процессах, протекающих в природных и технологических системах с целью снижения их техногенного воздействия на окружающую среду. Знания и практические навыки, полученные в курсе «Коллоидная химия» должны помочь будущим специалистам – инженерам в их практической работе.

#### Задачи изучения дисциплины

В результате изучения курса «Поверхностные явления и дисперсные системы» студент должен **иметь представление:**

- о коллоидных системах (признаки, классификация, значение в природе и технике);
- об оптических свойствах коллоидных систем (светорассеяние, светопоглощение, применение данных свойств при изучение дисперсных систем);
- о молекулярно-кинетических свойствах (диффузия, седиментационная устойчивость и седиментационный анализ, осмос);
- о поверхностных явлениях и адсорбции (природа адсорбционного взаимодействия, теории мономолекулярной и полимолекулярной адсорбции, поверхностно-активные и инактивные вещества, поверхностная активность, строение и свойства адсорбционных слоев);
- о электрических свойствах дисперсных систем (образование и строение ДЭС, теории ДЭС, ЭКП и влияние различных факторов на ЭКП, электрокинетические явления);
- о способах получения, очистки и свойствах дисперсных систем (конденсационные и диспергационные методы, строение коллоидных мицелл);
- об агрегативной устойчивости и коагуляции дисперсных систем (виды устойчивости, факторы устойчивости, кинетика коагуляции, особые явления при коагуляции);
- о структурообразовании в дисперсных системах (возникновение и особенности структур, структурная вязкость);
- о системах с жидкой, газообразной и твердой дисперсионной средой;

#### **знать и уметь использовать:**

основные принципы формирования коллоидных систем, их свойства и способы изучения;

методы количественного и качественного анализа (седиментационный, оптические методы, химический) для оценки качественных показателей как сырья, так и производимого продукта.

#### **Методические рекомендации по самостоятельной подготовке теоретического материала по дисциплине «Поверхностные явления и дисперсные системы»**

Самостоятельная работа студентов по изучению отдельных тем дисциплины включает поиск учебных пособий по данному материалу, проработку и анализ теоретического материала, самоконтроль знаний по данной теме с помощью следующих вопросов и заданий.



Наименование темы	Контрольные вопросы и задания
<p>Раздел 1. Дисперсные системы</p> <p>Понятие о коллоидных системах и определение коллоидной химии как науки. Признаки коллоидных систем. Мера дисперсности. Гетерогенность коллоидных систем как основное отличие их от молекулярных растворов. Влияние дисперсности на свойства дисперсных систем. Классификация коллоидных и микрогетерогенных систем по агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды. Классификация коллоидных и микрогетерогенных систем по взаимодействию дисперсной фазы и дисперсионной среды. Классификация коллоидных и микрогетерогенных систем по взаимодействию между частицами. Значение коллоидных систем и коллоидных процессов в природе и технике.</p>	<p>Дайте характеристику отличительных признаков дисперсных систем: гетерогенность, раздробленность. Покажите связь коллоидной химии с защитой окружающей среды. Что такое удельная поверхность и дисперсность? Как выражается концентрация дисперсной фазы? Приведите классификацию, обозначения и название дисперсных систем в зависимости от агрегатного состояния дисперсной фазы и дисперсионной среды. Охарактеризуйте коллоидные (высокодисперсные) системы как разновидность дисперсных систем. Приведите классификацию дисперсных систем в зависимости от размера частиц и вида дисперсной фазы. В чем отличие монодисперсной системы от полидисперсной? Как определить размеры частиц неправильной формы (привести к одному эквивалентному размеру)? Укажите особенности высокодисперсных систем. Объясните происхождение термина коллоидная химия. Какова роль дисперсных систем и коллоидных процессов а природе и технике?</p>
<p>Раздел 2. Поверхностная энергия</p> <p>Некомпенсированность сил молекулярного взаимодействия на границе раздела фаз. Поверхностное натяжение – удельная энергия Гиббса поверхности. Пути снижения энергии Гиббса на границе раздела фаз. Поверхностные явления и их классификация.</p>	<p>Чем вызвана некомпенсированность межмолекулярного взаимодействия на границе раздела фаз? Укажите причины появления избытка поверхностной энергии. Что такое удельная свободная поверхностная энергия? Что такое поверхностное натяжение и как его можно выразить через термодинамические функции состояния? Как выразить изменение энергии Гиббса для поверхности раздела фаз?</p> <p>Сформулируйте принцип снижения поверхностной энергии за счет уменьшения поверхности раздела фаз и поверхностного натяжения.</p> <p>Почему появляется внутреннее давление у частиц дисперсной фазы и как его определить при помощи формулы Лапласа?</p> <p>Объясните причину интенсификации химических, физических и других процессов в связи с раздробленностью и кривизной частиц дисперсной фазы.</p>

<p>Раздел 3. Оптические свойства коллоидных систем</p> <p>Явления, наблюдающиеся при прохождении луча света через дисперсные системы. Светорассеяние и светопоглощение, эффект Тиндаля. Уравнение Рэлея, границы его применимости и его анализ. Определение размеров коллоидных частиц белых золь оптическими методами. Оптические методы исследования коллоидных систем.</p>	<p>Какие явления наблюдаются при прохождении луча света через дисперсную систему? Что такое опалесценция и флуоресценция? Как экспериментально отличить опалесценцию от флуоресценции?</p> <p>Напишите уравнения Рэлея и проанализируйте его. Почему для светомаскировки применяют синий цвет, а для сигнализация в тумане - красный? Как определить размеры и концентрацию частиц дисперсной фазы при помощи нефелометра?</p> <p>Приведите соотношения между размерами частиц и длиной волны света при рассеянии света в зависимости от длины волны.</p>
<p>Раздел 4. Молекулярно-кинетические свойства коллоидных систем</p> <p>Диффузия в истинных растворах и в коллоидных системах. Уравнение Эйнштейна и уравнение Эйнштейна – Смолуховского. Осмос. Осмотическое давление. Особенности осмотического давления лиозолей. Седиментационная устойчивость коллоидных систем. Седиментационный анализ полидисперсных систем. Закон Стокса и границы его применимости. Интегральная и дифференциальная кривые оседания</p>	<p>В чем причина молекулярно-кинетических явлений и почему они распространяются преимущественно на коллоидные системы, а не на все дисперсные системы?</p> <p>Укажите причины броуновского движения. Как определить средний геометрический сдвиг частиц? Определите причины и виды диффузии. Приведите примеры диффузии. Что такое градиент концентрации, скорость диффузии и коэффициент диффузии? Что такое осмос, его причины и следствия? Как зависит осмотическое давление от размеров частиц дисперсной фазы коллоидных растворов?</p> <p>Что такое устойчивость и в чем особенность седиментационной (кинетической) и агрегативной устойчивости дисперсных систем?</p> <p>В чем заключается гипсометрический закон распределения концентрации дисперсной фазы по высоте? Какие условия необходимы для соблюдения этого закона? Какие условия оседания частиц средне- и грубодисперсных систем в жидких и газовых средах?</p> <p>Сформулируйте принцип седиментационного анализа дисперсных систем.</p>
<p>Раздел 5. Адсорбция на границе твердое тело – газ</p> <p>Физическая адсорбция и хемосорбция. Природа адсорбционного взаимодействия. Количественное выражение адсорбции. Основы теории мономолекулярной адсорбции. Уравнение Ленгмюра и его анализ. Теория полимолекулярной</p>	<p>Сформулируйте основные положения теории Ленгмюра? Напишите уравнения изотермы адсорбции Ленгмюра. Как определить величину <math>\Gamma_{\infty}</math> графическим способом, если известен ряд значений <math>\Gamma</math> и <math>C</math>? Как по величине константы <math>\Gamma_{\infty}</math> вычислить поверхность адсорбента (в м<sup>2</sup>/кг)?</p> <p>Напишите уравнения Гиббса, Ленгмюра и Фрейндлиха при адсорбции газов на твердых поверхностях. В чем отличие</p>

<p>адсорбции Поляни. Уравнение изотермы полимолекулярной адсорбции по теории БЭТ. Эмпирическое уравнение изотермы адсорбции Фрейндлиха, область его применимости.</p>	<p>мономолекулярной и полимолекулярной адсорбции? Приведите графические изображения различных изотерм адсорбции. В чем особенности физической и химической адсорбции?</p>
<p>Раздел 6. Адсорбция на границе жидкость (раствор) – газ          Поверхностное натяжение растворов. Поверхностно-активные и инактивные вещества. Адсорбционное уравнение Гиббса и его анализ. Поверхностная активность. Правило Траубе. Уравнение Шишковского. Связь между уравнениями Гиббса, Лэнгмюра и Шишковского. Строение и свойства адсорбционных слоев. Ориентация дифильных молекул. Весы Лэнгмюра.</p>	<p>Охарактеризуйте гидрофильные и гидрофобные поверхности. Приведите примеры. Как можно "гидрофилизировать" поверхность.          В чем особенности структуры молекул ПАВ? Как ориентируются эти молекулы в адсорбционном слое на границе вода-воздух?          Что такое адсорбция и чем она вызвана?          Как изменяется свободная поверхностная энергия и химический потенциал адсорбата в процессе адсорбции? Напишите уравнение изотермы адсорбции Гиббса и проведите его анализ.          Что такое теплота адсорбции? Охарактеризуйте понятия дифференциальная и интегральная теплота адсорбции; как они зависят от количества адсорбированного газа?          Как провести классификацию пористых адсорбентов в зависимости от их удельной поверхности? В чем особенность процесса адсорбции в микропорах?          Какие вещества называются поверхностно-активными? Приведите примеры.          Каким уравнением выражается зависимость поверхностного натяжения от концентрации поверхностно-активного вещества? Сформулируйте правило Траубе и приведите иллюстрирующий его пример. Проведите анализ уравнения Шишковского. Какие параметры уравнений Лэнгмюра и Шишковского связаны между собой? Как перейти от уравнения Гиббса к уравнению Лэнгмюра, используя дифференциальную форму уравнения Шишковского?</p>

<p>Раздел 7. Адсорбция на границе жидкость (раствор) – твердое тело</p> <p>Молекулярная адсорбция из растворов, влияние природы адсорбента, растворителя и растворенного вещества. Правило Траубе для адсорбции на твердой поверхности. Ориентация молекул ПАВ в поверхностном слое. Адсорбция из растворов электролитов. Правило Фаянса – Панета.</p>	<p>Каковы особенности адсорбции электролитов твердыми адсорбентами? Как влияют на адсорбцию природа растворителя, природа и пористость адсорбента? В чем причина и суть адсорбционного понижения прочности? В чем суть методов хроматографического анализа? Почему гидрофобные вещества (уголь, графит) лучше адсорбируют поверхностно-активные вещества (ПАВ) из водных растворов, а гидрофильные вещества (силикагель) - из углеводородных растворов?</p>
<p>Раздел 8. Адгезия и когезия</p> <p>Виды адгезии. Термодинамические основы адгезии. Работа адгезии. Адгезия на границе твердое тело – жидкость. Смачивание. Краевой угол смачивания. Уравнение Юнга. Влияние ПАВ на смачивание. Гидрофилизация и гидрофобизация поверхности. Практическое значение адгезии и смачивания (флотация).</p>	<p>Что такое адгезия, аутогезия и когезия? Дайте характеристику равновесной работы адгезии как компенсации избытка свободной поверхностной энергии. Что такое краевой угол смачивания и как он определяется? Что такое адгезия жидкости и смачивание, гидрофобные (лиофобные) и гидрофильные (лиофильные) поверхности? В чем особенности адгезии твердых тел и как зависит адгезия от формы и размеров твердого тела? Приведите примеры адгезии.</p>
<p>Раздел 9. Электрические свойства дисперсных систем</p> <p>Образование и строение двойного электрического слоя на границе раздела фаз. Потенциал поверхности. Распределение потенциала двойного электрического слоя. Теория Гельмгольца – Перрена. Теория Гуи – Чэпмена. Теория Штерна. Электрокинетический потенциал. Влияние различных факторов на электрокинетический потенциал. Изменение двойного электрического слоя и электрокинетического потенциала под действием электролитов. Количественное выражение электрофореза и электроосмоса. Электрокинетические явления, их практическое применение.</p>	<p>Рассмотрите причины возникновения двойного электрического слоя на границе раздела твердое тело-жидкость. Как связать возникновение заряда на границе твердое тело - жидкость с изменением поверхностной энергии? Как изменяется поверхностное натяжение в связи с зарядом поверхности? При каких условиях направленное движение коллоидных частиц в электрическом поле отсутствует? Какое явление называют электрофорезом? Какое явление называется электроосмосом?</p> <p>Объясните структуру двойного электрического слоя. Что такое <math>\xi</math>- и <math>\phi</math>- потенциал? Что такое граница скольжения и дзета-потенциал двойного электрического слоя, возникающего на границе твердое тело - жидкость? Что такое потенциал седиментации и потенциал течения? Что такое электрофоретическая подвижность? Какое строение имеет двойной электрический слой мицеллы? Рассмотрите строение мицеллы золя бромида серебра, полученного приливанием к <math>20 \text{ см}^3 0,01 \text{ н. KBr}</math> <math>10 \text{ см}^3 0,001 \text{ н. AgNO}_3</math>.</p> <p>Изобразите схему и напишите</p>

	<p>формулу мицеллы гидрозоля сульфида ртути (II). Стабилизатор-сероводород.</p>
<p>Раздел 10. Получение и свойства дисперсных систем  Методы получения коллоидных систем. Строение коллоидных мицелл. Методы очистки коллоидных систем</p>	<p>Какие существуют способы получения дисперсных систем? Как связаны условия самопроизвольного и несамопроизвольного диспергирования с поверхностной энергией?  Как определяются степень диспергирования и работа диспергирования? Каким образом ПАВ способствуют диспергированию?  Что такое степень пересыщения и в чем особенность термодинамики фазовых переходов конденсационных методов получения дисперсных систем? Что такое пептизация и как ее осуществляют? Какие методы очистки и концентрирования золь вы знаете? Что такое диализ (обратный осмос), ультрафильтрация? Опишите принципиальные схемы этих процессов. Что такое электродиализ и в чем его отличие от диализа? Укажите практическое применение диализа и электродиализа. В чем сущность мембранного равновесия Доннана? Опишите особенности биологических мембран. В чем общность и отличие золь и суспензий как дисперсных систем типа т/ж?</p>

<p>Раздел 11. Агрегативная устойчивость и коагуляция дисперсных систем</p> <p>Виды устойчивости дисперсных систем. Лиофильные и лиофобные дисперсные системы. Факторы устойчивости дисперсных систем (электростатический, адсорбционно-сольватный, энтропийный, структурно-механический). Кинетика коагуляции. Быстрая и медленная коагуляция. Теория Смолуховского. Основы теории ДЛФО. Коагуляция электролитами, ее основные закономерности. Особые явления при коагуляции электролитами: явление неправильных рядов, антогонизм и синергизм электролитов.</p>	<p>В чем особенности энтропийно-энтальпийного фактора устойчивости дисперсных лиофильных и лиофобных систем? Что такое расклинивающее давление и каковы его причины? Как связаны между собой агрегативная устойчивость и дзета-потенциал? Что следует понимать под термином агрегативная устойчивость? В чем проявляется адсорбционно-сольватный и структурно-механический факторы устойчивости лиофобных дисперсных систем?</p> <p>Объясните основы теории ДЛФО (Дерягина - Ландау-Фервса-Овербска) коагуляции зольей электролитами. Как изменяется сила взаимодействия в зависимости от расстояния между частицами на основе теории ДЛФО?</p> <p>Какое ограничение принято в теории коагуляции Смолуховского и в</p> <p>Что такое время половинной коагуляции и константы скорости коагуляции? Как они определяются?</p> <p>Что такое коагуляция? Какие причины могут вызвать коагуляцию зольей? Что называется порогом коагуляции? Как зависит порог коагуляции от заряда иона электролита?</p>
<p>Раздел 12. Структурообразование в дисперсных системах</p> <p>Возникновение и особенности структур в коллоидных системах. Коагуляционные и конденсационно-кристаллизационные структуры. Структурная вязкость. Уравнение Бингама. Зависимость вязкости коллоидных систем от концентрации дисперсной фазы. Уравнение Эйнштейна</p>	<p>Какие системы называют связнодисперсными и свободнодисперсными? В чем отличие коагуляционных от кристаллизационных контактов между частицами?</p> <p>Как вязкость дисперсной системы зависит от концентрации дисперсной фазы? Рассмотрите условия применимости уравнения Эйнштейна. В чем отличие вязкости свободнодисперсных и связнодисперсных систем? Какие виды деформации характерны для связнодисперсных систем? Как классифицируются пищевые массы по их структурно-механическим свойствам? Как влияют форма частиц и их заряд на вязкость дисперсной системы? Что такое предельное напряжение сдвига? Проведите анализ уравнения Бингама, описывающего течение структурированных тиксотропных систем.</p> <p>Какое течение называется пластическим? Что такое предел текучести? Что такое тиксотропия и тиксотропные структуры? Приведите примеры. В чем особенность структур, возникающих при гстерокоагуляции, т. е. при взаимодействии между коллоидными частицами и твердой поверхностью?</p>

	<p>Приведите и поясните характер кривых течения структурированных систем. Приведите графики: вязкость-напряжение сдвига для нормальной, вязкой и структурированной систем. Изобразите реологические кривые (в координатах скорость течения - напряжение сдвига): а) для нормальной вязкой и б) для структурированной систем (отметьте на графике максимальный предел текучести).</p>
<p>Раздел 13. Системы с жидкой, газообразной и твердой дисперсионной средой</p> <p>Общая характеристика аэрозолей, пен и порошков. Их классификация и свойства. Агрегативная устойчивость, методы получения и способы их разрушения. Практическое значение аэрозолей, пен, порошков.</p>	<p>Охарактеризуйте аэрозоли как дисперсные системы типа т/г и ж/г. Что такое дым, пыль, туман, смог, аэрозольная пена? Как определяется частичная и массовая концентрация аэрозолей? Каким образом образуются аэрозоли? В чем особенности седиментационно-агрегативной устойчивости аэрозолей? Укажите причины перемещения аэрозолей в воздушном потоке и осаждение аэрозолей на препятствия. Что такое пневмотранспорт? Укажите причины электризации и взрывоопасности аэрозолей, в том числе мучной и сахарной пыли. Как ускорить седиментацию аэрозолей? Что такое пылеподавление и как его осуществляют? Приведите примеры седиментации аэрозолей в пищевой промышленности. Объясните особенности фильтрации аэрозолей в циклонах и тканевых фильтрах. Что такое предельно допустимая концентрация аэрозолей? Как перевести порошок в аэрозольное состояние? Что такое псевдооживление и где оно осуществляется? Что такое пены? Какова их структура? В чем особенность агрегативной устойчивости пен? Чем вызвано избыточное давление внутри пузырьков пен? Какие факторы определяют устойчивость пен? Что такое кратность пен? Какие способы получения пен вы знаете? Какие вещества являются эффективными пенообразователями? Как ускорить разрушение пен? В чем заключается действие ПАВ при стабилизации пен? Что такое флотация? Объясните принцип, особенности и применение флотации. Опишите строение элементарной ячейки пен. В чем отличие пен от суспензии и эмульсии? Что такое твердые пены? Как происходит переход жидких пен в твердые?</p>

## Методические рекомендации по самостоятельной подготовке к лабораторным работам по дисциплине «Поверхностные явления и дисперсные системы»

Самостоятельная работа студентов по подготовке к лабораторным работам, оформлению отчетов и защите лабораторных работ включает проработку и анализ теоретического материала, описание проделанной экспериментальной работы с приложением графиков, таблиц, расчетов, а также самоконтроль знаний по теме лабораторной работы с помощью следующих контрольных вопросов и заданий.

№ пп	Название лабораторной работы	Контрольные вопросы и задания
1	Измерение поверхностного натяжения жидкостей по методу наибольшего давления газовых пузырьков.	<p>1. Дайте определение понятия адсорбция. Что такое изотерма, изостера и изопикна адсорбции.</p> <p>2. Напишите уравнение изотермы адсорбции теории мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Объясните смысл входящих в них величин. При каких условиях это уравнение применимо.</p> <p>3. Какие уравнения описывают зависимость поверхностного натяжения растворов ПАВ от концентрации. При каких условиях они применимы.</p> <p>4. Как рассчитать толщину адсорбционного слоя и «посадочную» площадку молекул ПАВ, зная зависимость поверхностного натяжения от состава раствора.</p> <p>5. Сформулируйте правило Дюкло-Траубе и поясните его физический смысл. При каком строении поверхностных пленок соблюдается это правило. В чем заключается обратимость этого правила.</p>
2	Оптические свойства дисперсных систем. Турбидиметрия	<p>1. Перечислите оптические свойства дисперсных систем.</p> <p>2. Перечислите условия, при которых соблюдается уравнение Рэлея.</p> <p>3. Проанализировать уравнение Рэлея.</p> <p>4. Раскрыть принцип метода турбидиметрии.</p> <p>5. Дать определение приведенной мутности.</p>
3	Определение оптимальных условий осветления и обесцвечивания природных вод методом коагуляции	<p>1. Дать определение коагуляции</p> <p>2. На основе теории ДЛФО объяснить, почему в качестве коагулянта используется сульфат алюминия.</p> <p>3. Объяснить, чем отличаются гидрофобные коллоидные системы (примеси) от гидрофильных.</p> <p>4. Дать определение порога коагуляции</p> <p>5. Перечислить факторы устойчивости коллоидной системы.</p>
4	Определение изоэлектрической точки раствора желатины по	<p>1. По какому признаку дисперсные системы делят на лиофобные и лиофильные. Чем</p>



	зависимости вязкости и мутности от pH среды	<p>объяснить самопроизвольное возрастание межфазной поверхности при образовании лиофильных дисперсных систем.</p> <p>2. Чем отличаются коллоидные ПАВ от истинно растворимых. Что называют критической точкой концентрации мицеллообразования.</p> <p>3. Каким образом ориентируются молекулы ПАВ в мицеллах, образующихся в полярных и неполярных средах. От чего зависит форма мицелл в растворах коллоидных ПАВ.</p> <p>4. Что такое изоэлектрическая точка полиэлектролитов. Как влияет pH раствора на форму молекул полиамфолитов.</p> <p>5. Как влияет изменение конформаций макромолекул на вязкость и светорассеяние растворов полиамфолитов.</p>
5	Седиментационный анализ полидисперсных систем методом непрерывного взвешивания	<p>1. Назовите методы дисперсионного анализа и укажите область их применения. Для каких дисперсных систем применяется седиментационный анализ в гравитационном поле и в центробежном поле.</p> <p>2. Какие системы называют монодисперсными и полидисперсными. Что служит характеристикой полидисперсной системы.</p> <p>3. Каково назначение интегральных и дифференциальных кривых распределения частиц по размерам. Как изменяется вид кривых распределения по мере приближения полидисперсной системы к монодисперсной.</p> <p>4. Что такое диффузионно-седиментационное равновесие. Чем характеризуется кинетическая и термодинамическая седиментационная устойчивость системы. Как определяют размеры частиц в условиях диффузионно-седиментационного равновесия.</p> <p>5. Что такое константа седиментации и что она характеризует. Напишите выражение для константы седиментации сферических частиц, если осаждение их подчиняется закону Стокса.</p>
6	Синтез гидрозоля гидроксида железа, изучение условий его стабилизации и коагуляции	<p>1. Какой процесс называют коагуляцией. Чем завершается процесс коагуляции. Какими способами можно вызвать коагуляцию лиофобной коллоидной системы.</p> <p>2. Что называют быстрой и медленной коагуляцией. Какова взаимосвязь между скоростью коагуляции и видом потенциальной кривой взаимодействия частиц.</p> <p>3. Каково различие между нейтрализационной и концентрационной</p>

		<p>коагуляцией лиофобных золей электролитами. Как влияет заряд коагулирующего иона на порог быстрой коагуляции.</p> <p>4. Действием каких факторов обеспечивается агрегативная устойчивость лиофобных дисперсных систем. Какие вещества используют в качестве стабилизаторов этих систем.</p> <p>5. В чем заключается сходство и различие суспензий и лиозолей.</p>
--	--	---

#### IV. Контроль знаний студентов Рубежные контрольные мероприятия

Рубежный контроль осуществляется в форме теста. При подготовке следует использовать материал лекций, лабораторных работ, различную литературу. Каждый вопрос теста имеет степень сложности от 1 до 5. За тестовую работу студент получает оценку «отлично» (правильно отвечает на вопросы по всем темам или набирает 95% баллов), «хорошо» (набирает 70-95% баллов), «удовлетворительно» (набирает от 51 до 70% баллов), «неудовлетворительно» (набирает менее 50% баллов).

1. Агрегативная устойчивость коллоидной системы носит:

1. кинетический и термодинамический характер
2. кинетический характер
3. термодинамический характер
4. не кинетический и не термодинамический характер

2. Теория кинетики коагуляции Смолуховского применима для ...

1. монодисперсных золь, любое соударение частиц в которых приводит к их слипанию
2. полидисперсных золь, любое соударение частиц в которых приводит к их слипанию
3. золь, не любое сближение частиц в которых приводит к их слипанию
4. монодисперсных золь с медленной коагуляцией

3. Правило Шульце – Гарди устанавливает зависимость между коагулирующей силой иона и его:

1. молекулярным весом
2. зарядом
3. радиусом
4. валентностью

4. В рамках теории коагуляции электролитами ДЛФО нейтрализационный тип коагуляции наблюдается у золь:

1. с сильно заряженными частицами, обладающими сравнительно высокими значениями  $\varphi_0$  - потенциала
2. с сильно заряженными частицами, обладающими сравнительно низкими значениями  $\varphi_0$  - потенциала
3. со слабо заряженными частицами, обладающими сравнительно низкими значениями  $\varphi_0$  - потенциала
4. с сильно заряженными частицами, обладающими сравнительно низкими значениями ЭКП

5. Коллоидная химия – это наука о свойствах:

1. гетерогенных высокодисперсных систем и о протекающих в них процессах
2. различных природных систем и о протекающих в них процессах
3. и термодинамической устойчивости гетерогенных высокодисперсных систем
4. высокодисперсных систем и процессах протекающих в водных растворах

6. Уравнение Гиббса устанавливает связь между избытком адсорбированного вещества  $\Gamma$ , концентрацией ПАВ в растворе  $c$  и поверхностным натяжением  $\sigma$

1. утверждение неверно

2. не относится к описанию процессов адсорбции
3. Уравнение Гиббса устанавливает связь между концентрацией ПАВ в растворе  $c$  и поверхностным натяжением  $\sigma$
4. утверждению верно

7.К коллоидным системам относятся системы, у которых значение поперечного размера частиц лежит в пределах:

1. до 1 нм
2. от 1 до 100 нм
3. от 100 нм и выше
4. до нескольких мкм

8.Правило Дюкло – Траубе устанавливает причинную зависимость:

1. поверхностной активности и разветвленности углеводородного радикала
2. поверхностной активности и длины углеводородного радикала
3. растворимости и длины углеводородного радикала
4. поверхностной активности и дифильности молекулы

9.Уравнение Рэлея применимо для ...

1. любых коллоидных систем
2. систем, частицы в которых имеют размер не более 0,1 длины световой волны
3. систем, частицы в которых имеют сферическую форму, не проводят электрический ток и имеют размер не более 0,1 длины световой волны
4. систем, проявляющих явление светорассеяния (дифракции) и абсорбции света

10.Посредством весов Ленгмюра определяется:

1. размер молекулы поверхностно-инактивного вещества
2. размер и форму молекулы поверхностно-инактивного вещества
3. молекулярный вес поверхностно-активного вещества
4. размер и форму молекулы поверхностно-активного вещества

11.Метод турбидиметрии определения размера частиц основан на способности коллоидных систем:

1. ослаблять интенсивность проходящего света в результате светорассеяния
2. ослаблять интенсивность проходящего света в результате преломления и отражения
3. ослаблять интенсивность отраженного света в результате преломления и рассеяния
4. ослаблять интенсивность рассеянного света в результате поглощения

12.К электрокинетическим явлениям относятся:

1. электрофорез, электроосмос, потенциал седиментации, потенциал течения
2. электролиз, электроосмос, потенциал седиментации, потенциал течения
3. электрофорез, электроосмос, потенциал ДЭС, потенциал течения
4. электрофорез, электроосмос, электродиализ, потенциал течения

13.Уравнение Эйнштейна-Смолуховского определяет зависимость величин:

1. коэффициента диффузии, вязкости, температуры и радиуса
2. среднего квадратичного значения проекции смещения частицы и ее массы
3. среднего квадратичного значения проекции смещения частицы, температуры, времени, вязкости и радиуса

4. коэффициент трения, среднего квадратичного значения проекции смещения частицы, температуры

14. Электрокинетические явления проявляются в случае, если частица:

1. обладает двойным электрическим слоем
2. электронейтральна
3. имеет положительный заряд
4. имеет отрицательный заряд

15. Седиментационной или кинетической устойчивостью системы является:

1. способность дисперсной системы сохранять равномерное распределение частиц по всему объему
2. способность дисперсной системы сохранять размерный параметр частиц
3. способность дисперсной системы сохранять численную концентрацию частиц
4. способность дисперсной системы сохранять седиментационный поток частиц

16. Причину изменения знака электрокинетического потенциала при введении в систему многовалентных ионов, заряд которых противоположен по знаку заряду дисперсной фазы объясняет теория...

1. Штерна
2. Гельмгольца и Перрена
3. Гуи и Чэпмена
4. Фрейндлиха

17. Полидисперсными системами являются системы, в которых частицы:

1. имеют различные размерные параметры
2. имеют достаточно узкое распределение размерных параметров
3. равномерно распределены по всему объему
4. имеют один и тот же размер

18. При введении в коллоидную систему индифферентного электролита

1. происходит увеличение заряда частиц
2. система перейдет в изоэлектрическое состояние
3. произойдет сжатие ДЭС
4. частица перейдет в нейтральное состояние

19. Основными положениями теории мономолекулярной адсорбции Ленгмюра являются:

1. адсорбция локализована и вызвана силами близкими к химическим; адсорбция происходит на активных центрах; активный центр, адсорбируя молекулу адсорбтива, становится неактивным; адсорбированные молекулы адсорбтива находятся в динамическом равновесии с другими молекулами адсорбтива

2. адсорбция локализована и вызвана силами физической природы; адсорбция происходит на активных центрах; активный центр, адсорбируя молекулу адсорбтива, становится неактивным; адсорбированные молекулы адсорбтива находятся в динамическом равновесии с другими молекулами адсорбтива

3. адсорбция локализована и вызвана силами, близкими к химическим; адсорбция происходит на активных центрах; активный центр, адсорбируя молекулу адсорбтива, сохраняя активность, способен образовывать последующие слои из молекул адсорбтива; адсорбированные молекулы адсорбтива находятся в динамическом равновесии с другими молекулами адсорбтива

4. адсорбция локализована и вызвана силами, близкими к химическим; адсорбция происходит на активных центрах; активный центр, адсорбируя молекулу адсорбтива, становится неактивным; адсорбированные молекулы адсорбтива закрепляются на поверхности и удерживаются на ней.

20. Уравнение Гельмгольца-Смолуховского определяет:

1. скорость электрокинетического переноса
2. скорость электролитического переноса
3. скорость изменения электрокинетического потенциала
4. скорость электрофоретического переноса

### **Перечень вопросов для подготовки к экзамену**

1. Классификация дисперсных систем по агрегатному состоянию дисперсионной среды и дисперсной фазы, по размерам частиц.
2. Поверхность раздела фаз. Поверхностное натяжение – удельная энергия Гиббса поверхности. Пути снижения энергии Гиббса на границе раздела фаз.
3. Физическая адсорбция и хемосорбция. Природа адсорбционного взаимодействия. Количественное выражение адсорбции.
4. Основы теории мономолекулярной адсорбции. Уравнение Лэнгмюра и его анализ.
5. Уравнение изотермы полимолекулярной адсорбции по теории БЭТ.
6. Эмпирическое уравнение изотермы адсорбции Фрейндлиха, область его применимости.
7. Поверхностное натяжение растворов. Поверхностно-активные и инактивные вещества.
8. Адсорбционное уравнение Гиббса и его анализ. Поверхностная активность.
9. Правило Траубе. Уравнение Шишковского.
10. Связь между уравнениями Гиббса, Лэнгмюра и Шишковского.
11. Строение и свойства адсорбционных слоев. Ориентация дифильных молекул.
12. Молекулярная адсорбция из растворов, влияние природы адсорбента, растворителя и растворенного вещества.
13. Правило Траубе для адсорбции на твердой поверхности. Ориентация молекул ПАВ в поверхностном слое.
14. Адсорбция из растворов электролитов. Правило Фаянса-Панета.
15. Ионообменная адсорбция, ее особенности и практическое применение.
16. Принцип хроматографии.
17. Образование и строение двойного электрического слоя на границе раздела фаз.
18. Потенциал поверхности. Распределение потенциала двойного электрического слоя.
19. Электрокинетический потенциал. Изменение двойного электрического слоя и электрокинетический потенциал под действием электролитов.
20. Получение гидрозолей методом химической конденсации и гидролиза.
21. Строение коллоидных мицелл.
22. Электрокинетические явления: электрофорез, электроосмос, их практическое применение.
23. Виды устойчивости дисперсных систем. Лиофильные и лиофобные дисперсные системы.
24. Факторы устойчивости дисперсных систем (электростатический, адсорбционно-сольватный, энтропийный, структурно-механический).

25. Коагуляция лиофобных дисперсных систем.
  26. Быстрая и медленная коагуляция. Теория Смолуховского.
  27. Основы теории ДЛФО.
  28. Коагуляция электролитами, ее основные закономерности.
  29. Признаки дисперсионных систем.
  30. Гетерокоагуляция.
  31. Практическое значение коагуляционных явлений.
  32. Седиментационный анализ полидисперсных систем. Закон Стокса и границы его применения.
  33. Светорассеяние. Уравнение Рэлея, границы его применимости.
  34. Определение размеров коллоидных частиц белых золь оптическими методами.
  35. Строение и размер молекул коллоидных ПАВ.
  36. Факторы, влияющие на переход мицеллярной формы в молекулярную.
  37. Виды мицелл в растворе. Солюбилизация.
  38. Уравнение Эйнштейна.
  39. Эмульсии – классификация, основные свойства и практическое использование.
  40. Пены – классификация, основные свойства и практическое использование.
- Аэрозоли - классификация, основные свойства и практическое использование

## **V. Библиографический список**

### **Основная учебная литература**

1. Мягченков, В. А. Поверхностные явления и дисперсные системы [Текст] : учеб. пособие для студ. вузов по химико-технол. спец. / В. А. Мягченков. – 2-е изд., перераб. – Москва : КолосС, 2007. – 187 с. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).

### **Дополнительная учебная, учебно-методическая литература**

1. Гельфман, М. Коллоидная химия [Текст] : учебное пособие / М. Гельфман, С. Ковалевич, В. Юстратов. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2008. – 336 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература).

2. Кругляков, П. М. Физическая и коллоидная химия [Текст] : учеб. пособие для студ., обучающихся по строительным спец. / П. М. Кругляков, Т. Н. Хаскова. – 2-е изд., испр. – Москва : Высш. шк., 2007. – 319 с.

3. Сумм, Б. Д. Основы коллоидной химии [Текст] : учеб. пособие для студ., обучающихся по спец. "Химия" / Б. Д. Сумм. – Москва : Академия, 2009. – 240 с.

4. Физическая и коллоидная химия. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям «Техносферная безопасность» (профиль «Инженерная защита окружающей среды»), «Строительство» (профиль «Производство строительных материалов, изделий и конструкций»), «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (профиль «Автомобильные дороги и аэродромы») / П. М. Кругляков [и др.] ; Издательство "Лань" (ЭБС). – Санкт-Петербург : Лань, 2013. – 288 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/5246/>.

5. Фридрихсберг, Д. А. Курс коллоидной химии [Электронный ресурс] : учебник / Д. А. Фридрихсберг ; Издательство "Лань" (ЭБС). – Изд. 4-е, испр. и доп. – Санкт-Петербург : Лань, 2010. – 416 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – Режим доступа: <http://e.lanbook.com/view/book/4027/>.

Щукин, Е. Д. Коллоидная химия [Текст] : учеб. для студ. вузов, обучающихся по спец. "Химия" и направлению "Химия" / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. – 5-е изд., испр. – Москва : Высш. шк., 2007. – 444 с.

### **Дополнительная литература**

1. Журнал физической химии [Текст]. – Выходит ежемесячно. 2010 № 1-6;

2. Нанотехнологии: наука и производство [Текст] : научно-популярный журнал. – Выходит ежеквартально. 2008 № 4;

3. Новый справочник химика и технолога. Основные свойства неорганических, органических и элементоорганических соединений [Текст] : научное издание / [ред. Н. К. Скворцов [и др.]]. – Санкт-Петербург : Проффессионал, 2007. – 1276 с.

4. Свойства неорганических соединений [Текст] : справочник / А. И. Ефимов. – Ленинград : Химия, 1983. – 392 с.