

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
КЕМЕРОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ  
ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Кафедра физической и коллоидной химии

**КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И МЕТОДЫ  
КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

Методические указания  
для студентов, обучающихся по специальности  
080401 «Товароведение и экспертиза товаров по области применения»  
заочной формы обучения

Кемерово 2008

*Составители:*

**Е.В. Короткая**, доцент, канд. техн. наук;

**Н.В. Розаленок**, ст. преподаватель

*Рассмотрено и утверждено на заседании  
кафедры физической и коллоидной химии  
Протокол № 11 от 30.06.08*

*Рекомендовано методической комиссией  
технологического факультета  
Протокол № от*

Представлены рекомендации по изучению дисциплины «Коллоидно-химические аспекты и методы контроля качества пищевых продуктов», варианты и задания контрольных работ, примеры решения задач, рекомендуемая литература.

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс «Коллоидно-химические аспекты и методы контроля качества пищевых продуктов» для студентов технологических специальностей является учебной дисциплиной, призванной подготовить фундамент для глубокого понимания биохимии и специальных технологических дисциплин.

К важнейшим разделам программы даны краткие методические указания, вопросы и задачи для контрольных работ.

Прежде чем приступить к изучению материала, необходимо составить календарный план своих занятий в соответствии с учебным графиком, предусмотрев сроки изучения теории по темам программы и учебным пособиям, подготовку контрольных работ и участие в лабораторно-экзаменационной сессии.

При самостоятельном изучении курса «Коллоидно-химические аспекты и методы контроля качества» рекомендуется руководствоваться следующими указаниями.

1. Прочитать по программе содержание темы. Уяснить объем темы и последовательность излагаемых в ней вопросов.
2. Тщательно проработать по учебнику весь материал, относящийся к данной теме, усвоить теоретические положения, математические зависимости и их выводы, а также разобраться в схемах и графиках.
3. Чтение материала по учебнику должно сопровождаться составлением конспекта, в который нужно заносить формулировки законов, основные уравнения и их выводы, схемы, графики.
4. Если при изучении материала возникнут затруднения, постарайтесь разрешить их самостоятельно или обратитесь письменно за консультацией на кафедру физической и коллоидной химии института.
5. Имея перед собой программу курса, необходимо последовательно изучить по каждой теме те главы из учебников, которые рекомендуются в методических указаниях. Проверить усвоение материала по контрольным вопросам, приведенным в данном пособии к каждому разделу курса.

6. Приступая к решению каждой задачи, целесообразно ознакомиться с методическими указаниями и примерами расчетов.
7. При решении задач нужно, прежде всего, написать формулу с кратким объяснением, затем в общем виде решить уравнение относительно неизвестной величины и после этого подставить числовые значения, принимая во внимание размерность.
8. Порядок выбора вариантов заданий указан в каждой контрольной работе. В контрольных работах должны быть приведены условия задач и текст вопросов.

В конце работы должен быть список использованной литературы, оформленный по существующим правилам; работа подписывается студентом с проставлением даты ее окончания.

# **1. ПРОГРАММА КУРСА КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ**

## **1.1. Введение**

Предмет и содержание курса коллоидной химии. Его основные разделы. Признаки объектов коллоидной химии. Значение коллоидной химии для технологии пищевых производств. Методы контроля качества пищевых продуктов: кинетические, оптические, кондуктометрические, потенциометрические, реологические.

## **1.2. Коллоидное состояние**

Основные особенности коллоидного состояния вещества – гетерогенность, дисперсность, удельная поверхность. Понятие о термодинамически неравновесных дисперсных системах.

Коллоидная химия как наука о поверхностных явлениях физико-химических свойствах дисперсных систем.

Классификация дисперсных систем. Характеристика дисперсной фазы. Значение коллоидной химии в пищевой промышленности. Коллоидная химия и защита окружающей среды.

## **1.3. Поверхностные явления и адсорбция**

1.3.1. Термодинамика и строение поверхностного слоя.

Поверхностное натяжение как мера свободной энергии поверхности. Свободная поверхностная энергия дисперсных систем и их принципиальная термодинамическая неравномерность.

1.3.2. Адсорбция и адсорбционные равновесия.

Виды адсорбции и ее количественные характеристики. Адсорбция положительная и отрицательная. Поверхностно-активные и инактивные вещества. Поверхностная активность. Уравнения Гиббса, Шишковского, правило Дюкло-Траубе.

Строение и свойства адсорбционных слоев. Газообразные и конденсированные монослои. Ориентации дифильных молекул на границе между фазами.

Адсорбция на границе раздела фаз твердое тело – газ. Эмпирическое уравнение изотермы адсорбции. Теория мономолекулярной адсорбции. Уравнение Ленгмюра. Связь между уравнениями Гиббса, Ленгмюра и Шишковского. Понятие о капиллярной конденсации. Теория БЭТ.

Адсорбция на границе раздела фаз твердое тело – жидкость. Гидрофильные и гидрофобные адсорбенты. Молекулярная адсорбция из растворов; влияние природы адсорбента, растворителя и растворенного вещества на адсорбцию. Правило Дюкло-Траубе для адсорбции на твердой поверхности.

Ионно-обменная адсорбция, ее практическое применение. Катиониты и аниониты. Адсорбция из смеси компонентов. Хроматография.

1.3.3. Адгезия, смачивание и растекание жидкостей.

Адгезия и когезия, работа когезии и работа адгезии. Механизм процессов адгезии. Адсорбционное понижение твердости. Смачивание и краевой угол, смачивание реальных твердых тел. Условия растекания жидкостей.

## **1.4. Двойной ионный слой и электрокинетические явления**

1.4.1. Образование и строение двойного электрического слоя.

Образование двойного ионного слоя путем адсорбции и путем поверхностной диссоциации. Строение двойного ионного слоя. Полный скачок потенциала. Распределение потенциала в двойном электрическом слое и электрокинетический потенциал. Строение мицеллы.

Изменение двойного ионного слоя и электрокинетического потенциала под воздействием электролитов, влияние концентрации, валентности электролита. Перезарядка поверхности многовалентными ионами.

#### 1.4.2. Электрокинетические явления.

Поведение дисперсных систем в электрическом поле. Электрофорез, электроосмос, потенциалы течения и седиментации. Практическое использование электрокинетических явлений.

### 1.5. Получение дисперсных систем и их очистка

Методы и условия получения дисперсных систем.

Получение дисперсных систем методами физической и химической конденсации.

Получение дисперсных систем дроблением. Механическое дробление. Коллоидные мельницы, дробление ультразвуком в вольтовой дуге. Пептизация как метод получения золей. Способы пептизации. Правило осадка. Самопроизвольное диспергирование.

Ультрафильтрация. Диализ. Электродиализ.

### 1.6. Молекулярно-кинетические свойства и кинетические методы исследования дисперсных систем

Броуновское движение, его тепловая природа. Средний сдвиг. Диффузия. Связь между средним сдвигом и коэффициентом диффузии. Агрегативная и седиментационная (кинетическая) устойчивость дисперсных систем. Диффузионно-седиментационное равновесие. Основы седиментационного анализа. Ультрацентрифугирование.

### 1.7. Оптические свойства и методы исследования дисперсных систем

Рассеяние и поглощение света в коллоидных системах. Формула Рэлея, ее анализ. Опалесценция. Оптическая плотность и уравнение Ламберта-Бера. Определение размеров и формы коллоидных частиц оптическими методами. Световая и электронная микроскопия. Ультромикроскопия. Нефелометрия. Турбидиметрия. Рефрактометрия. Поляриметрия.

## **1.8. Стабилизация и коагуляция дисперсных систем**

Факторы устойчивости дисперсных систем. Расклинивающее давление, его электростатическая и молекулярная (сольватационная) составляющая.

Основы теории устойчивости и коагуляции. Потенциальные кривые взаимодействия частиц. Потенциальный барьер и его зависимость от толщины двойного электрического слоя.

Концентрационная и нейтрализационная коагуляция. Порог (число) коагуляции. Правила электролитной коагуляции, их трактовка с точки зрения теории устойчивости. Неправильные ряды. Коагуляция смесями электролитов. Антагонизм и сенсбилизация. Гетерокоагуляция. Медленная и быстрая коагуляция. Методы очистки промышленных выбросов.

## **1.9. Структурно-механические свойства и реологический метод исследования дисперсных систем**

Уравнение Эйнштейна для вязкости коллоидных растворов, условия его применимости. Причины аномальной (структурной) вязкости, влияние на нее различных факторов: концентрации дисперсной фазы, температуры, времени, механических воздействий.

Коагуляционные и кристаллизационные структуры по Ребиндеру. Гели и пасты, их структурно-механические свойства. Тиксотропия и синерезис. Соотношение скоростей разрушения и тиксотропного восстановления. Реологические кривые для аномально вязких жидкостей. Предельные напряжения сдвига. Уравнение Шведова-Бингама. Структурно-механические свойства сыпучих материалов.

## **1.10. Системы с жидкой дисперсионной средой**

Суспензии и их стабилизация. Полидисперсность. Технические суспензии и пасты минеральных и органических веществ в водных и органических средах.



Эмульсии, их классификация. Стабилизация эмульсий порошками и молекулярно-растворенными стабилизаторами. Обращение фаз в эмульсии. Высококцентрированные эмульсии. Разрушение эмульсий. Деэмульгаторы. Эмульсии в природе и в технике.

Пены, их свойства и особенности, Стабилизация и разрушение пен. Получение и применение пен.

### **1.11. Системы с газообразной дисперсионной средой**

Аэрозоли. Получение, свойства и способы разрушения. Взрывы пыли и борьба с ними. Аэрозоли в природе и технике. Порошки, их текучесть, склонность к коагуляции. Физико-химические основы переработки порошков. Значение свойств порошков в мукомольной и пищевой промышленности.

### **1.12. Коллоидные поверхностно-активные вещества**

Коллоидные растворы поверхностно-активных веществ самопроизвольно образующиеся, термодинамически устойчивые системы. Факторы, влияющие на переход мицеллярной формы в молекулярную и обратно. Критическая концентрация мицеллообразования. Виды мицелл в растворе. Стабилизирующее и моющее действие мыл и синтетических поверхностно-активных веществ. Гидрофобизация и гидрофилизация поверхности. Солюбилизация.

### **1.13. Физико-химические свойства полимеров и их растворов**

Строение макромолекул, молекулярная масса и фракционный состав полимеров. Особенности теплового движения молекул полимеров. Внутреннее вращение атомов и звеньев молекул, потенциальный барьер. Гибкость цепей полимеров. Наиболее вероятная форма и конформационная энтропия макромолекул. Эластичность и практичность полимеров. Факторы, опре-

деляющие эти свойства. Пластификация. Вулканизация. Агрегатное состояние полимеров. Физическое состояние.

Набухание и растворение высокомолекулярных соединений, термодинамика этих процессов. Степень набухания, кинетика набухания. Давление набухания.

Растворы высокомолекулярных соединений как термодинамически равновесные системы, их самопроизвольное образование. Термодинамическая устойчивость, обратимость. Медленное установление равновесия как следствие больших размеров молекул. Ассоциаты в растворах полимеров, их отличие от коллоидных частиц. Аномалии при течении. Методы определения молекулярных масс полимеров. Образование студней. Высыивание и коацервация.

Высокомолекулярные электролиты (полиэлектролиты).

Изоэлектрическая точка. Ионно-электростатическое взаимодействие макромолекул полиэлектролитов. Промышленное значение растворов и дисперсий полимеров. Защитное действие высокомолекулярных соединений.

## Литература

### *Основная*

1. Гельфман М.И. Коллоидная химия: учебник для вузов / М.И. Гельфман, О.В. Ковалевич, В.П. Юстратов. – СПб.: Лань, 2003. – 332 с.
2. Зимон А.Д. Коллоидная химия: учебник для вузов / А.Д. Зимон, Н.Ф. Лещенко. – М.: АГАР, 2001. – 320 с.
3. Фридрихсберг А.Д. Курс коллоидной химии: учебник для вузов. – Л.: Химия, 1984. – 368 с.
4. Физико-химические методы исследования: учебное пособие / под ред. М.И. Гельфмана.– Кемерово, 2005.- 100с.
5. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы: учебник для вузов.– М.: Химия, 1989. – 462 с.

*Дополнительная*

6. Холохонова Л.И., Кирсанова Н.В. Адсорбция: Учебное пособие. – Кемерово, 1998. – 64 с.
7. Холохонова Л.И., Короткая Е.В. Устойчивость и коагуляция дисперсных систем: Учебное пособие. – Кемерово, 2000. – 106 с.
8. Ковалевич О.В. Коллоидная химия: конспект лекций. – Кемерово, 1997. – 143 с.
9. Холохонова Л.И. Молекулярно-кинетические свойства дисперсных систем. – Кемерово, 1995.

## 2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

### 2.1. Коллоидное состояние

При изучении этого раздела надо понять, что коллоидный раствор, это система, в которой хотя бы одно вещество находится в коллоидном состоянии, т.е. раздроблено до очень маленьких частиц ( $10^{-7} - 10^{-5}$  см), невидимых в оптический микроскоп, но являющихся самостоятельной термодинамической фазой. Отсюда следует, что коллоидный раствор имеет два отличительных признака: **гетерогенность** и **дисперсность** (раздробленность). Гетерогенность означает, что система состоит как минимум из двух фаз, дисперсность – что одна из них является раздробленной, ее называют **дисперсной фазой**. Сплошную фазу называют **дисперсионной средой**. Фаза считается дисперсной, если вещество в ней раздроблено хотя бы в одном измерении (по длине, ширине или высоте). Раздробленность приводит к резкому увеличению поверхности раздела фаз. Для оценки межфазной границы использую **удельную поверхность**, которая позволяет количественно определять фактическую границу между дисперсной фазой и дисперсионной средой.

Современная коллоидная химия изучает не только коллоидные растворы, но и все дисперсные системы, в которых размеры частиц не превышают  $10^{-2}$  см. Необходимо ознакомиться с классификацией дисперсных систем, выделить их особенности.

1. Наличие большой удельной поверхности обуславливает то, что определяющими являются **свойства поверхности**, а не самой частицы; характерными являются – процессы, протекающие на поверхности, а не внутри фазы.
2. Дисперсные системы являются термодинамически (принципиально) не устойчивыми системами, так как их образование сопровождается увеличением свободной энергии системы (требует затраты энергии извне).

3. Относительная устойчивость достигается, как правило, в присутствии специальных веществ – стабилизаторов.
4. Отсутствует строгая воспроизводимость дисперсной системы.

Свойства дисперсных систем в значительной степени определяются концентрацией и диапазоном размеров частиц дисперсной фазы. Необходимо рассмотреть характеристики дисперсной фазы.

Следует рассмотреть значение коллоидной химии для пищевой промышленности и охраны окружающей среды.

### Контрольные вопросы

1. Дисперсные системы, их классификация, основные особенности дисперсных систем.
2. Коллоидные растворы (лиофобные золи), коллоидное состояние вещества, его особенности.

### Примеры расчетов

**Пример 1.** Дисперсность эмульсий полученных при ручном и машинном взбивании соответственно составляет:  $D_{\text{руч.}} = 4,95 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$  и  $D_{\text{мех.}} = 2,35 \cdot 10^5 \text{ м}^{-1}$ . Определите удельную поверхность дисперсной фазы и диаметр капель масла в эмульсиях при ручном и механическом взбивании, если плотность масла  $\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Согласно определению дисперсность ( $D$ ) это величина, обратная минимальному размеру частиц дисперсной фазы. Если частицы имеют сферическую форму, то дисперсность обратно пропорциональна их радиусу ( $r$ ).

$$D = \frac{1}{r}$$

Следовательно, диаметры капель при ручном и машинном взбивании будут равны:  $d_{\text{руч.}} = 4 \cdot 10^{-5}$  м,  $d_{\text{маш.}} = 8,5 \cdot 10^{-6}$  м.

Под величиной удельной поверхности ( $S_{\text{уд.}}$ ) понимают отношение общей поверхности раздробленного вещества к его массе.

$$S_{\text{уд.}} = \frac{S_{1,2} \times n}{m \times n},$$

где  $S_{1,2}$  – площадь поверхности одной частицы, м<sup>2</sup>;

$n$  – число частиц в системе;

$m$  – масса одной частицы, кг ( $m = \rho \times V$ );

$\rho$  – плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>;

$V$  – объем частицы, м<sup>3</sup>.

Для сферической частицы радиуса  $r$ :

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3,$$

$$S_{1,2} = 4\pi r^2,$$

$$S_{\text{уд.}} = \frac{4\pi r^2 \times n}{\frac{4}{3} \pi r^3 \times n \times \rho} = \frac{3}{r \times \rho} = \frac{6}{d \times \rho}.$$

Тогда удельные поверхности при ручном и машинном взбивании будут равны:  $S_{\text{уд. руч.}} = 142,8$  м<sup>2</sup>/кг,  $S_{\text{уд. маш.}} = 672,3$  м<sup>2</sup>/кг.

*Ответ:*  $d_{\text{руч.}} = 4 \cdot 10^{-5}$  м,  $S_{\text{уд. руч.}} = 142,8$  м<sup>2</sup>/кг;  
 $d_{\text{маш.}} = 8,5 \cdot 10^{-6}$  м,  $S_{\text{уд. маш.}} = 672,3$  м<sup>2</sup>/кг.

**Пример 2.** На упаковке сметаны, указано, что содержание жира составляет 15%. Определить объем дисперсной фазы в упаковке вместимостью 0,5 л и численную концентрацию дисперсной фазы, если диаметр жировых капель равен  $106 \cdot 10^{-6}$  м.

Содержание дисперсной фазы в эмульсиях представляют в виде объемной концентрации ( $v_{об.}$ ). Объемная концентрация – безразмерная величина, показывающая, какая часть объема дисперсной системы занимает объем дисперсной фазы.

$$v_{об.} = V_{д.ф.} / V_{д.с.}, \text{ или } v_{об.} = (V_{д.ф.} / V_{д.с.}) \times 100\%$$

где  $V_{д.ф.}$  – объем дисперсной фазы,  $m^3$ ;  
 $V_{д.с.}$  – объем дисперсионной среды,  $m^3$ .

Найдем объем дисперсной фазы (жира) в 0,5 л сметаны:

$$V_{д.ф.} = \frac{v_{об.} \times V_{д.с.}}{100\%} = \frac{15 \cdot 0,5}{100\%} = 0,075 \text{ л} = 75 \cdot 10^{-6} m^3.$$

Число жировых частиц  $N$  можно определить по формуле:

$$N = V_{д.ф.} / V_{ч.}$$

где  $V_{ч.}$  – объем одной частицы,  $m^3$  ( $V_{ч.} = \frac{4}{3} \pi r^3$ )  
 $r$  – радиус частицы,  $m$ .

$$N = \frac{V_{д.ф.}}{V_{ч.}} = \frac{V_{д.ф.}}{\frac{4}{3} \pi r^3} = \frac{3V_{д.ф.}}{4\pi r^3}$$

Тогда,  $N = 15 \cdot 10^6$ .

Численная (частичная) концентрация определяется числом частиц дисперсной фазы в единице объема дисперсной системы.

$$v_{ч.} = N / V_{д.с.},$$

где  $v_{ч.}$  – численная концентрация,  $m^{-3}$ ;  
 $N$  – число частиц дисперсной фазы;  
 $V_{д.с.}$  – объем дисперсионной среды,  $m^3$ .

$$v_{\text{ч.}} = N/V_{\text{д.с.}} = 15 \cdot 10^6 / 0,5 \cdot 10^{-3} = 3 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}$$

$$\text{Ответ: } V_{\text{д.ф.}} = 75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3, v_{\text{ч.}} = 3 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-3}.$$

**Пример 3.** Численная концентрация пыли в воздухе рабочих зон помещений составляет  $1,44 \cdot 10^8 \text{ м}^{-3}$ . Определить массовую концентрацию пыли, если средний диаметр частиц составляет  $3,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ , а их плотность  $1,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

Массовая концентрация – отношение массы дисперсной фазы к единице объема дисперсной системы.

$$v_{\text{м.}} = m_{\text{д.ф.}} / V_{\text{д.с.}},$$

где  $v_{\text{м.}}$  – массовая концентрация,  $\text{кг/м}^3$ ;

$m_{\text{д.ф.}}$  – масса дисперсной фазы,  $\text{кг}$ ;

$V_{\text{д.с.}}$  – объем дисперсионной среды,  $\text{м}^3$ .

Массу дисперсной фазы можно рассчитать как число частиц дисперсной фазы ( $N$ ) умножить на массу одной частицы ( $m_{\text{ч.}}$ ), тогда

$$v_{\text{м.}} = N \times m_{\text{ч.}} / V_{\text{д.с.}} = v_{\text{ч.}} \times m_{\text{ч.}} = v_{\text{ч.}} \times V_{\text{ч.}} \times \rho_{\text{ч.}}$$

где  $V_{\text{ч.}}$  – объем одной частицы,  $\text{м}^3$  ( $V_{\text{ч.}} = \frac{4}{3} \pi \times r^3$ );

$\rho_{\text{ч.}}$  – плотность частицы,  $\text{кг/м}^3$ ;

$r$  – радиус частицы,  $\text{м}$ .

$$v_{\text{м.}} = v_{\text{ч.}} \times \rho_{\text{ч.}} \times \frac{4}{3} \pi \times r^3 = 3,37 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^3.$$

$$\text{Ответ: } v_{\text{м.}} = 3,37 \cdot 10^{-5} \text{ кг/м}^3.$$



## 2.2. Поверхностные явления и адсорбция

Изучая поверхностные явления, следует иметь в виду, что их значимость многократно возрастает, когда речь идет о дисперсных системах, чья удельная поверхность очень велика.

Следует уяснить природу сил, вызывающих поверхностное натяжение и адсорбцию.

Для случая адсорбции на границе «раствор – газ» необходимо усвоить, как и почему различные вещества в растворе могут воздействовать на поверхностное натяжение жидкости; какова связь между концентрацией растворенного вещества, его адсорбцией на границе «раствор – газ» и поверхностным натяжением раствора; что называется поверхностной активностью, как природа и растворимость вещества в данном растворителе влияют на поверхностное натяжение и адсорбцию.

Для случая адсорбции на границе «твердое тело – газ» нужно понять, как величина адсорбции зависит от давления газа и температуры, уяснить основные положения теорий адсорбции: Ленгмюра, БЭТ, установить границы применимости этих теорий.

Для адсорбции на границе «твердое тело – раствор» характерны два существенно различающихся случая: адсорбция молекул растворенного вещества (молекулярная адсорбция) и адсорбция ионов (ионная адсорбция). Необходимо установить черты сходства и отличия в закономерностях молекулярной адсорбции на границе «твердое тело – раствор» и «твердое тело – газ», выявить влияние на адсорбцию природы среды, адсорбтива и природы и свойств адсорбента.

При изучении ионной адсорбции следует уяснить влияние на адсорбцию величины заряда и радиуса иона. Особое внимание нужно уделить адсорбции ионов, способных достраивать решетку кристаллического адсорбента, и обратить внимание на то, что при ионной адсорбции на границе раздела фаз возникает двойной ионный слой.

Необходимо рассмотреть сущность ионообменной адсорбции, ее практическое применение, природные и синтетические иониты.

Отметить значение явлений адсорбции в природе и практической деятельности человека.

### Контрольные вопросы

3. Адсорбция растворенного вещества на границе «жидкий раствор – газ». Уравнение Гиббса. Уравнение Шишковского. Поверхностная активность вещества. ПАВ и ПИВ. Правило Дюкло-Траубе.
4. Адсорбция газа на твердом адсорбенте. Эмпирическое уравнение Фрейндлиха. Теория мономолекулярной адсорбции Ленгмюра. Теория БЭТ.
5. Адсорбция газов на пористых адсорбентах. Капиллярные явления. Капиллярная конденсация.
6. Адсорбция растворенного вещества на твердом адсорбенте, ее классификация. Молекулярная адсорбция, уравнение Фрейндлиха. Зависимость молекулярной адсорбции от природы растворителя, адсорбента, адсорбтива.
7. Ионная адсорбция, факторы, влияющие на ионную адсорбцию. Ионообменная адсорбция, ее практическое применение. Катиониты и аниониты.

### Примеры расчетов

**Пример 1.** Ниже приведены экспериментальные данные по адсорбции азота на активированном угле при температуре 220 К. Определить постоянные уравнения Ленгмюра ( $\alpha_\infty$  и  $K$ ).

Равновесное давление, $p \cdot 10^{-2}$ , Па	18,7	61,0	180,0	330,0	700,0
Адсорбция, $\alpha \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	5	14	33	50	41

Уравнение изотермы адсорбции Ленгмюра имеет вид:

$$\alpha = \alpha_{\infty} \times \frac{K \times p}{1 + K \times p},$$

где  $\alpha_{\infty}$  – предельная адсорбция при толщине адсорбционного слоя в 1 молекулу адсорбата (мономолекулярный слой);  
 $\alpha$  – величина равновесной адсорбции;  
 $p$  – давление газа над адсорбентом;  
 $K$  – постоянная для данного адсорбата.

Для того чтобы найти постоянные уравнения Ленгмюра ( $\alpha_{\infty}$  и  $K$ ), необходимо привести уравнение к линейной форме. В линейной форме уравнение изотермы адсорбции будет иметь вид:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\alpha_{\infty}} + \frac{1}{\alpha_{\infty} \cdot K} \times \frac{1}{p}.$$

Рассчитаем значения  $1/p$  и  $1/\alpha$ , используя исходные данные и представим их в виде таблицы.

$1/p \cdot 10^4, \text{Па}^{-1}$	5,53	1,64	0,51	0,30	0,14
$1/\alpha \cdot 10^{-2}, \text{кг/м}^3$	2,00	0,71	0,30	0,20	0,17

По этим данным строим график в координатах  $1/\alpha = f(1/p)$  рис. 1.

Из графика находим:  $m = 1/\alpha_{\infty} = 0,1 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$ , следовательно,  $\alpha_{\infty} = 0,1 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

$$\text{tg}\alpha = \frac{1}{\alpha_{\infty} \times K}.$$

Следует помнить, что для нахождения  $\text{tg } \alpha$  надо брать отношение противолежащего катета ( $y$ ) к прилежащему катету ( $x$ ) не в сантиметрах, а с учетом реального масштаба величин, откладываемых по осям координат.

Так  $y = 1,8 \cdot 10^2 - 1,0 \cdot 10^2 = 0,8 \cdot 10^2 \text{ кг/м}^3$ , а  $x = 5,0 \cdot 10^{-4} - 2,6 \cdot 10^{-4} = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ Па}^{-1}$ .

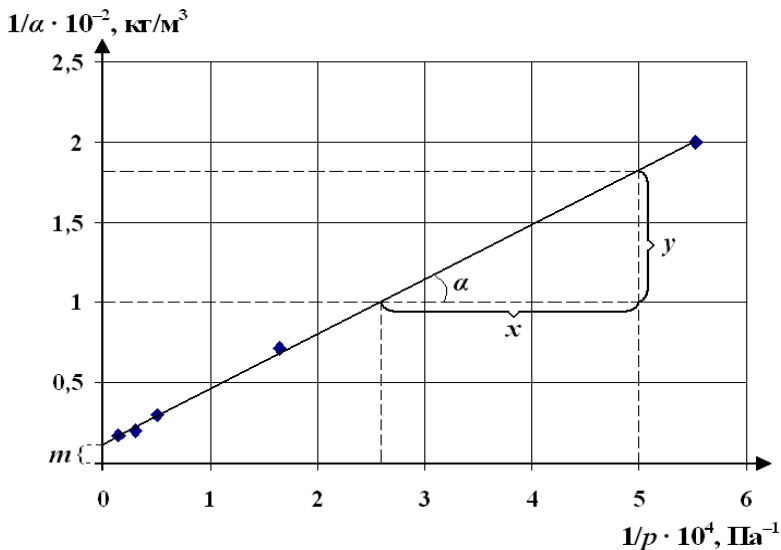


Рис.1 График зависимости  $1/\alpha = f(1/p)$

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{1}{\alpha_{\infty} \times K} = \frac{y}{x} = \frac{0,8 \cdot 10^2}{2,4 \cdot 10^{-4}} = 33,3 \cdot 10^4$$

$$K = \frac{1}{\alpha_{\infty} \times \operatorname{tg}\alpha} = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{Па}^{-1}.$$

Ответ:  $\alpha_{\infty} = 0,1 \text{ м}^3/\text{кг}$ ,  $K = 3,0 \cdot 10^{-5} \text{ Па}^{-1}$ .

**Пример 2.** Определить константы эмпирического уравнения Фрейндлиха, используя представленные ниже экспериментальные данные адсорбции  $\text{CO}_2$  на активированном угле при  $T = 231 \text{ К}$ .

Равновесное давление, $p \cdot 10^{-2}$ , Па	10,0	44,8	100,0	144,0	250,0	452,0
Адсорбция, $\alpha \cdot 10^3$ , кг/кг	32,3	66,7	96,2	117,2	145,0	177,0

Эмпирическое уравнение Фрейндлиха имеет вид:

$$\alpha = \beta \times p^{1/n}$$

где  $\alpha$  – величина равновесной адсорбции;  
 $p$  – давление газа над адсорбентом;  
 $\beta$ ,  $n$  – постоянные для данного адсорбата.

Чтобы найти константы уравнения Фрейндлиха ( $1/n$  и  $\beta$ ), необходимо уравнение привести к линейной форме. Так как исходное уравнение представляет собой степенную функцию, то для приведения к линейной форме его надо прологарифмировать.

$$\lg \alpha = \lg \beta + \frac{1}{n} \times \lg p$$

Рассчитаем значения  $\lg \alpha$  и  $\lg p$ , используя значения, приведенные в таблице. (Надо помнить, что если дано  $p \cdot 10^{-2} = 44,8$  Па, то  $p = 44,8/10^{-2} = 44,8 \cdot 10^2$  Па,  $\alpha \cdot 10^3 = 32,3$  кг/кг, то  $\alpha = 32,3/10^3 = 32,3 \cdot 10^{-3}$  кг/кг.)

$\lg p$	3,00	3,651	4,000	4,158	4,398	4,655
$\lg \alpha$	-1,491	-1,176	-1,017	-0,932	-0,839	-0,752

По этим данным строим график в координатах  $\lg \alpha = f(\lg p)$  рис. 2.

Из графика находим свободный член линейной функции –  $\lg \beta$ , который равен отрезку  $m$ , отсекаемому прямой на оси ординат  $m = \lg \beta = -2,85$ . Тогда  $\beta = 10^{-2,85} = 1,4 \cdot 10^{-3}$  кг/(кг · Па).

Угловой коэффициент линейной функции  $1/n$  равен тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс

$$\operatorname{tg} \alpha = 1/n = y/x = 0,46$$

Таким образом, уравнение Фрейндлиха имеет вид:

$$\alpha = 1,4 \cdot 10^{-3} \times p^{0,47}$$

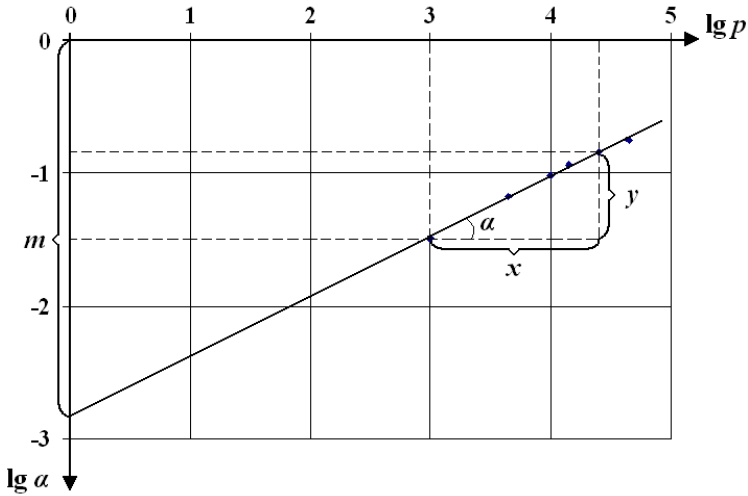


Рис. 2. График зависимости  $\lg \alpha = f(\lg p)$

Используя полученное уравнение можно рассчитать величину адсорбции  $CO_2$  на активированном угле при  $T = 231$  К во всем диапазоне давлений, для которого выполняется уравнение Фрейндлиха.

Ответ:  $\beta = 1,4 \cdot 10^{-3}$  кг/(кг · Па),  $1/n = 0,46$ .

**Пример 3.** Для водных растворов амилового спирта при температуре  $T = 298$  К,  $\sigma_0 = 72,75 \cdot 10^{-3}$  Н/м,  $B = 20,22 \cdot 10^{-3}$  Н/м,  $K = 46,2$  м<sup>3</sup>/кмоль. Используя уравнение Шишковского, рассчитайте поверхностное натяжение растворов амилового спирта для указанных ниже концентраций  $c$ . Постройте изотерму поверхностного натяжения растворов амилового спирта. По уравнению Гиббса рассчитайте избыточную адсорбцию амилового спирта из растворов, указанных концентраций. Постройте изотерму адсорбции.

$c,$ кмоль/м <sup>3</sup>	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
------------------------------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Уравнение Шишковского имеет следующий вид.

$$\sigma = \sigma_0 - B \times \ln(1 + K \times c).$$

где  $\sigma$  – поверхностное натяжение раствора;

$\sigma_0$  – поверхностное натяжение растворителя;

$B$  – константа, независящая от длины углеводородного радикала;

$c$  – молярная концентрация;

$K$  – постоянная для данного адсорбата.

Рассчитанные по данному уравнению значения поверхностного натяжения водных растворов амилового спирта заданных концентраций представлены ниже в виде таблицы.

$c,$ кмоль/м <sup>3</sup>	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
$\sigma \cdot 10^3,$ Н/м	65,07	59,52	55,17	51,59	48,55	45,91	43,57	41,48	39,58

По полученным значениям строим изотерму поверхностного натяжения растворов амилового спирта. Изотерма поверхностного натяжения – это зависимость поверхностного натяжения раствора ( $\sigma$ ) от концентрации ПАВ ( $c$ ) (рис. 3).

Избыточную адсорбцию амилового спирта из растворов, указанных концентраций рассчитываем по уравнению Гиббса:

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \left( \frac{d\sigma}{dc} \right)$$

Если известны константы  $B$  и  $K$  то уравнение Гиббса можно записать в виде:

$$\Gamma = \frac{BK}{1 + Kc} \times \frac{c}{RT}$$

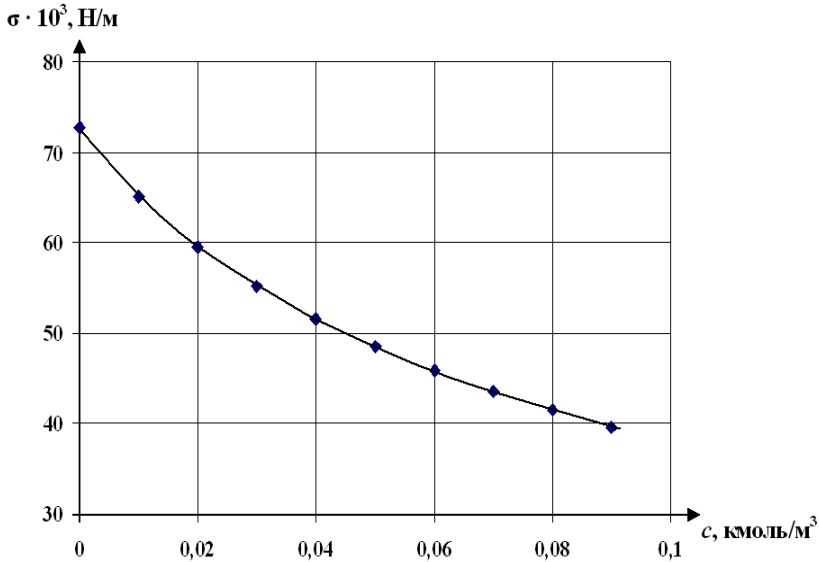


Рис. 3. Изотерма поверхностного натяжения

Рассчитанные по данному уравнению значения избыточной адсорбции представим в виде таблицы.

$c$ , кмоль/м <sup>3</sup>	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
$\Gamma \cdot 10^6$ , моль/м <sup>2</sup>	2,58	3,92	4,74	5,30	5,70	6,00	6,23	6,42	6,58

Полученные данные позволяют нам построить изотерму адсорбции, которая представляет собой зависимость избыточной адсорбции от концентрации  $\Gamma = f(c)$  (рис. 4).



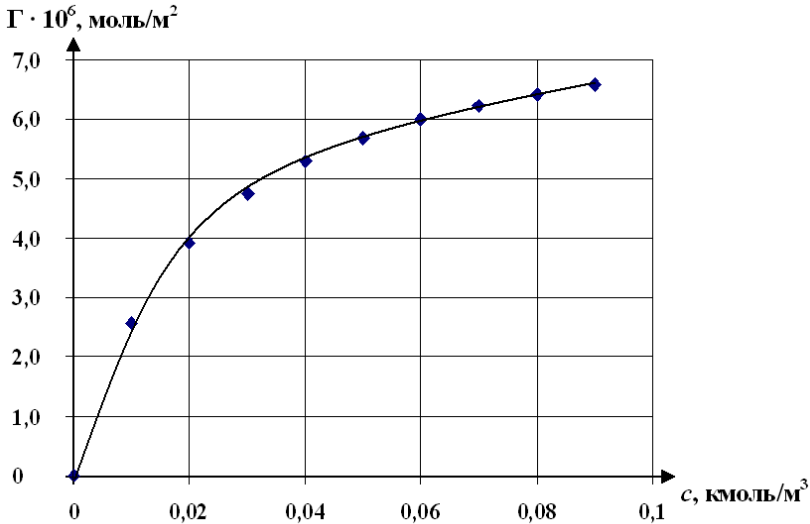


Рис. 4. Изотерма адсорбции

### 2.3. Двойной электрический слой и электрокинетические явления

В коллоидных растворах наблюдаются электрокинетические явления: электрофорез, электроосмос, потенциал течения, потенциал седиментации. Причина их заключена в противоположности знаков зарядов твердой частицы и жидкой дисперсионной среды, другими словами, в существовании на поверхности твердой частицы **двойного электрического слоя (ДЭС)**. Важно отметить, что существуют 2 принципиально разных пути его образования:

- избирательная адсорбция поверхностью твердой частицы ионов из дисперсионной среды;
- ионизация поверхностных молекул твердой частицы.

Следует помнить, что избирательная адсорбция ионов осуществляется в соответствии с правилом Панета-Фаянса. Необходимо сформулировать основные положения строения ДЭС:

дать определения понятиям «термодинамический» и «электрокинетический» (дзета-) потенциалы, изобразить график изменения потенциала в ДЭС, составить формулу **мицеллы лиофобного золя**. Знак и величина дзета-потенциала определяются:

- величиной термодинамического потенциала и характером изменения потенциала в ДЭС;
- характером движения жидкости вблизи твердой частицы (положение плоскости скольжения).

Необходимо указать факторы, влияющие на величину дзета-потенциала, причины, вызывающие уменьшение его значения до нуля, и изменение его знака (перезарядка).

### Контрольные вопросы

- Пути образования ДЭС. Строение ДЭС. Термодинамический и электрокинетический потенциалы.
- Строение мицеллы гидрофобного золя.
- Электрокинетический потенциал. Влияние индифферентного электролита на величину электрокинетического потенциала. Перезарядка коллоидной частицы многозарядным индифферентным электролитом.
- Электрокинетический потенциал. Влияние неиндифферентного электролита на величину электрокинетического потенциала, перезарядка этим электролитом.
- Электрокинетические явления в гидрозольях. Методы определения электрокинетического потенциала.

### Пример расчета

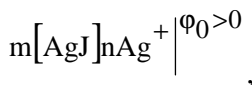
**Пример.** Составить формулу мицеллы гидрофобного золя иодида серебра, полученного при взаимодействии иодида калия с избытком нитрата серебра. Указать знак заряда коллоидной частицы. Изобразить график падения (изменения) потенциала в пределах ДЭС, показать на графике величину электрокинетического потенциала.

В гидрофобном золе (водном коллоидном растворе) иодид серебра находится в виде микрокристаллов, имеющих размеры от  $10^{-7}$  до  $10^{-5}$  см. Чтобы предотвратить дальнейший их рост, в растворе должен присутствовать стабилизатор. Им является то исходное вещество, которое было взято в избытке в химической реакции получения золя. Оно образует на поверхности микрокристаллов двойной электрический слой, который препятствует дальнейшей их кристаллизации или слипанию, обеспечивая сохранение неизменными их размеров. Твердая частица с двойным электрическим слоем (ДЭС) на своей поверхности называется мицеллой лиофобного золя, а если среда, в которой находится частица, является водой, то она называется мицеллой гидрофобного золя («гидро» - вода).

Рассмотрим подробно образование и строение мицеллы иодида серебра, стабилизированного нитратом серебра.

$m[\text{AgI}]$  - нерастворимый агрегат иодида серебра (микрокристалл), где  $m$  - число молекул, его образующих.

ДЭС на поверхности микрокристалла образует  $\text{AgNO}_3$ , так как в нашем примере именно он взят в избытке. В растворе он распадается на ионы  $\text{Ag}^+$  и  $\text{NO}_3^-$ . Надо решить, какие из этих ионов будут адсорбироваться на поверхности агрегата, т.е. являться **потенциалопределяющими**. Согласно правилу Панета-Фаянса адсорбироваться будут те ионы, которые входят в состав кристаллической решетки агрегата или изоморфны ей. Мы видим, что такими ионами являются ионы  $\text{Ag}^+$ . Именно они способны «достроить» кристаллическую решетку агрегата, поэтому прочно адсорбируются на его поверхности, переходя из жидкой фазы, и придают ей положительный заряд:

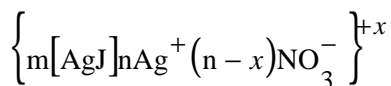


где  $n$  – число потенциалопределяющих ионов  $\text{Ag}^+$ .

На поверхности агрегата возникает потенциал, который называется термодинамическим ( $\varphi_0$ ). В жидкой же фазе оказывается избыток противоположно заряженных ионов, которые

притягиваются к заряженной поверхности агрегата, образуя слой противоионов. В нашем примере это ионы  $\text{NO}_3^-$ . Общее количество противоионов должно быть таким, чтобы полностью скомпенсировать заряд потенциалопределяющих ионов. Так как по величине заряды потенциалопределяющих и противоионов одинаковы (оба однозарядные), то общее количество противоионов равно  $n$ . Слой противоионов имеет сложное строение и состоит из 2 частей: адсорбционного и диффузного слоев.

**Адсорбционный слой ( $d$ )** имеет толщину, близкую к диаметру противоиона (это несколько  $\text{\AA}$ ), и те противоионы, которые попадают в это пространство, называются противоионами адсорбционного слоя. Они связаны с заряженным агрегатом двумя типами сил: электростатическими и адсорбционными силами притяжения так прочно, что образуют с ним единое кинетическое целое (при движении эти ионы не отрываются от агрегата и передвигаются вместе с ним). Число адсорбционных противоионов равно  $(n - x)$ . Это единое кинетическое целое называется **гранулой**, или **коллоидной** частицей, и при написании выделяется фигурными скобками:



Так как  $(n - x) < n$  на величину  $x$ , коллоидная частица имеет заряд  $+x$ , а на ее поверхности возникает потенциал, который называется **электрокинетическим** ( $\xi$ ) или дзета-потенциалом. Противоионы адсорбционного слоя распределены равномерно, поэтому уменьшение потенциала в адсорбционном слое происходит линейно и равно  $\varphi_d$ .

**Диффузный слой ( $\delta$ )** образуют те противоионы, которые находятся от заряженного агрегата на расстоянии больше  $d$ , но в пределах  $\delta$ . Их число равно  $x$ . Эти противоионы притягиваются к агрегату только электростатическими силами, следовательно, менее прочно, чем противоионы адсорбционного слоя (в этом и состоит их отличие). Поэтому при движении агрегата они отрываются от него. На противоионы диффузного слоя, из-за их слабой связи с агрегатом, большее влияние оказывает тепловое

движение, это приводит к тому, что противоионы в диффузном слое распространены неравномерно, уменьшение потенциала ( $\xi$ ) в этом слое происходит нелинейно.

Полное изменение потенциала в ДЭС ( $\varphi_0$ ) складывается как сумма  $\varphi_d$  и  $\xi$ . На рис. 5 приведен график падения потенциала в ДЭС с увеличением расстояния ( $r$ ) в глубину дисперсионной среды.

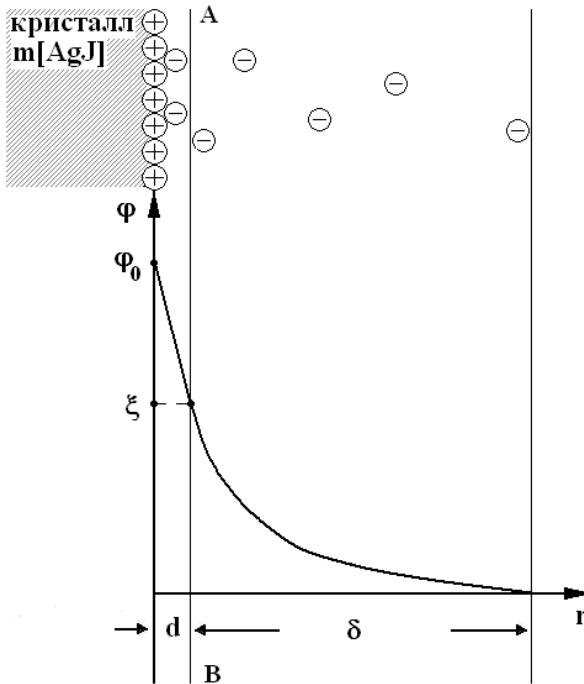
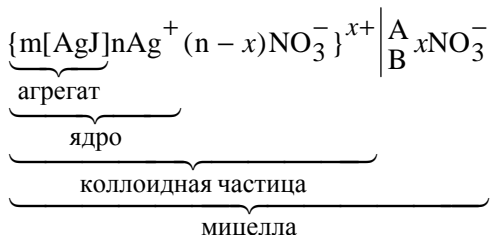


Рис. 5. Падение потенциала в ДЭС в зависимости от расстояния для золя AgI:

AB – граница скольжения;  $\varphi_0$  – термодинамический потенциал ДЭС;  
 $\xi$  – электрокинетический потенциал ДЭС

Формулу мицеллы лиофобного золя, суммируя все вышесказанное, надо записать следующим образом:



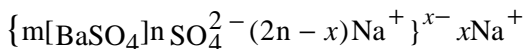
где  $m$  – число молекул  $\text{AgJ}$ , из которых состоит твердый агрегат;  
 $n\text{Ag}^+$  – число потенциалопределяющих ионов;  
 $(n-x)\text{NO}_3^-$  – число противоионов адсорбционного слоя;  
 $x\text{NO}_3^-$  – число противоионов диффузного слоя.

Схема строения мицеллы золя  $\text{AgJ}$  представлена на рис. 6.

Мицелла является электронейтральной: число положительных зарядов равно  $n$  и число отрицательных – тоже  $n$  ( $n-x+x=n$ ).

При движении мицелла разрывается по плоскости скольжения фаз (линия АВ), образуя коллоидную частицу и диффузные противоионы. Заряд коллоидной частицы равен по величине суммарному заряду диффузных противоионов, но противоположен по знаку. В нашем примере он равен  $+x$ .

Если в образовании мицеллы участвуют многозарядные ионы, то необходимо ставить соответствующие им коэффициенты. Например, запишем формулу мицеллы золя сульфата бария, стабилизированного сульфатом натрия:



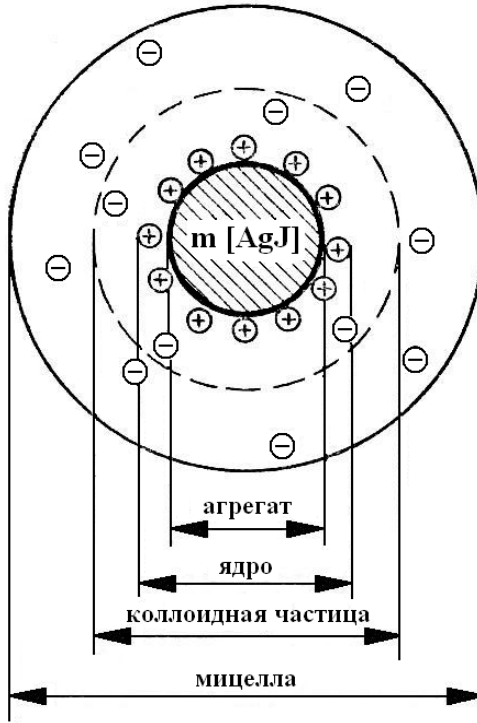


Рис 6. Схема строения мицеллы золя AgI

## 2.4. Получение дисперсных систем и их очистка

При изучении этого раздела необходимо рассмотреть получение дисперсных систем различными методами: физической и химической конденсацией, дроблением. Необходимо ознакомиться с методами дробления: механическое дробление, коллоидные мельницы, дробление ультразвуком и в вольтовой дуге. Рассмотреть пептизацию как метод получения золь, способы пептизации. Самопроизвольное диспергирование. Роль стабилизатора в процессе получения дисперсных систем.

При изучении способов очистки дисперсных систем следует обратить внимание на диализ, электродиализ, ультрафильтрацию, мембранные технологии и их применение в пищевой промышленности.

### **Контрольные вопросы**

13. Классификация методов получения дисперсных систем.
14. Конденсационные методы получения дисперсных систем.
15. Диспергационные методы получения дисперсных систем.
16. Методы очистки дисперсных систем.
17. Мембранная технология и ее применение в пищевой промышленности.

### **2.5. Молекулярно-кинетические свойства и кинетические методы исследования дисперсных систем**

К молекулярно-кинетическим свойствам коллоидных систем относятся броуновское движение, диффузия, осмотическое давление.

Установлено, что частицы коллоидных и микроскопических размеров находятся в непрерывном беспорядочном (хаотичном), не затухающем во времени движении, которое получило название «броуновское движение». Важно понять его природу, знать, что количественно броуновское движение оценивается величиной среднего квадратичного сдвига частицы ( $\Delta \bar{x}^2$ ), который не только измеряется, но и рассчитывается на основе статистической теории Эйнштейна-Смолуховского. Следствием броуновского движения является диффузия, которая характеризуется коэффициентом диффузии ( $D$ ), зависящим от вязкости дисперсионной среды ( $\eta$ ), температуры и радиуса частиц ( $r$ ), по уравнению:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r},$$

где  $k$  – постоянная Больцмана.



Количественную связь диффузии и броуновского движения устанавливает уравнение:

$$\Delta \bar{x}^2 = 2 \times D \times \tau,$$

где  $\tau$  – время, в течение которого ведется наблюдение за движением частиц, мин.

Броуновское движение коллоидных частиц в гравитационном поле приводит к установлению седиментационно-диффузионного равновесия: частицы дисперсной фазы относительно поверхности Земли распределяются в соответствии с законом Лапласа-Перрена:

$$v_h = v_0 \times e^{-A \times h}$$

$$A = \frac{4\pi r^3 (\rho - \rho_0)}{3kT},$$

где  $v_0$  и  $v_h$  – соответственно концентрация частиц у дна сосуда и на высоте  $h$  от него;  
 $\rho$  и  $\rho_0$  – соответственно плотности частиц и среды,  $\text{кг/м}^3$ .

Из этого закона следует, что распределение частиц по высоте сосуда является экспоненциальным.

Коллоидные растворы обнаруживают осмотическое давление, которое рассчитывается по уравнению:

$$P_{\text{осм.}} = v \times k \times T,$$

где  $v$  – концентрация частиц;  
 $k$  – постоянная Больцмана;  
 $T$  – температура, К.

Так как  $v$  – концентрация частиц невелика, то и осмотическое давление в коллоидных растворах намного меньше, чем в истинных растворах такой же массовой концентрацией.

### **Контрольные вопросы**

18. Броуновское движение. Статистическая теория броуновского движения. Диффузия. Осмотическое давление.
19. Седиментационная устойчивость коллоидных растворов. Седиментационно-диффузное равновесие, уравнение Лапласа-Перрена.
20. Основы седиментационного анализа. Ультрацентрифугирование.

### **2.6. Оптические свойства и методы исследования дисперсных систем**

Изучая оптические свойства, необходимо понять, почему светорассеяние белого (солнечного) света присуще только коллоидным растворам, узнать, для каких коллоидных растворов используется уравнение Релея, уметь его проанализировать. Следует ознакомиться с оптическими методами исследования: рефрактометрией, поляриметрией, нефелометрией, турбидиметрией, ультрамикроскопией, электронной микроскопией. Необходимо рассмотреть возможности данных оптических методов исследования и изучить уравнения лежащие в их основе.

### **Контрольные вопросы**

21. Рассеяние света. Уравнение Релея, его анализ.
22. Оптические методы исследования коллоидных растворов: нефелометрия, турбидиметрия, сравнительный анализ этих методов.
23. Световая микроскопия, ультрамикроскопия, электронная микроскопия.
24. Рефрактометрический метод исследования.
25. Поляриметрия.

## Примеры расчета

**Пример 1.** При определении аминного азота навеску пивного сусле ( $m_c = 1,00$  г) поместили в мерную колбу вместимостью  $50,0$  см<sup>3</sup> и разбавили дистиллированной водой до метки. Молярный коэффициент светопоглощения аминного азота при  $\lambda = 320$  нм равен 63. Наименьшая оптическая плотность в кювете с толщиной светопоглощающего слоя  $5,0$  см составляет 0,02. Вычислить минимальную определяемую концентрацию аминного азота в пивном сусле.

Минимальную определяемую концентрацию вычисляют, исходя из закона Бугера:

$$A = \lg \frac{I_0}{I} = \varepsilon c \ell$$

где  $A$  – оптическая плотность раствора;  
 $\varepsilon$  – молярный коэффициент поглощения;  
 $c$  – молярная концентрация раствора;  
 $\ell$  – толщина слоя раствора.

Таким образом

$$c = \frac{A}{\varepsilon \times \ell} = \frac{0,02}{63 \cdot 5,0} = 6,35 \cdot 10^{-5} \text{ моль/дм}^3$$

Находим массу аминного азота в  $50,0$  см<sup>3</sup> полученного раствора:

$$m(\text{NH}_2) = \frac{c(\text{NH}_2) \times M(\text{NH}_2) \times V}{1000} =$$

$$= \frac{6,35 \cdot 10^{-5} \cdot 16,00 \cdot 50,0}{1000} = 5,08 \cdot 10^{-5} \text{ г.}$$

Минимальная определяемая концентрация аминного азота в пивном сусле:

$$\omega(\text{NH}_2) = \frac{m}{m_c} \times 100\% = \frac{5,08 \cdot 10^{-5}}{1,00} \cdot 100 = 5,08 \cdot 10^{-3} \% \text{ мас.}$$

*Ответ:*  $\omega(\text{NH}_2)_{\min} = 5,08 \cdot 10^{-3} \% \text{ мас.}$

**Пример 2.** Среднее арифметическое значение показателя преломления раствора сахарозы 1,3439. По данным табл. 1 (приложения) рассчитать массовую долю сахарозы в растворе.

Согласно табл. 1 (приложения) искомое содержание сахарозы находится в пределах 6,00 – 8,00 % мас. При массовой доле сахарозы  $\omega = 6,00 \%$  показатель преломления  $n_D^{20} = 1,3417$ ; при  $\omega = 8,00 \% \text{ мас.}$   $n_D^{20} = 1,3448$ , т. е. изменение концентрации сахарозы на 2 % мас. соответствует изменению показателя преломления на  $1,3488 - 1,3417 = 0,0031$ . По условию изменение показателя преломления:

$$1,3439 - 1,3417 = 0,0022.$$

Поэтому:

0,0031 соответствует 2,00 % мас. сахарозы в растворе,

0,0022 соответствует  $x$  % мас. сахарозы в растворе,

$$x = 1,42 \% \text{ мас.}$$

В анализируемом растворе массовая доля сахарозы  $6,00 + 1,42 = 7,42\% \text{ мас.}$

В общей форме массовую долю сахарозы находят по уравнению:

$$\omega_x = \omega_1 + \frac{(\omega_2 - \omega_1) \times (n_x - n_1)}{n_2 - n_1}$$

где  $\omega_1$  – массовая доля менее концентрированного стандартного раствора;

$\omega_2$  – массовая доля более концентрированного раствора;

$n_x, n_1, n_2$  – показатели преломления анализируемого раствора и растворов с массовыми долями  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

$$\omega_x = 6,00 + \frac{(8,00 - 6,00) \times (1,3439 - 1,3417)}{1,3448 - 1,3417} = 7,42\% \text{ мас.}$$

*Ответ:*  $\omega_1 (\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 7,42\% \text{ мас.}$

**Пример 3.** Раствор рафинозы  $\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  в поляризметрической трубке длиной 10 см вращает плоскость поляризации вправо на  $9,96^\circ$ . Вычислить молярную концентрацию рафинозы в растворе.

Вращение плоскости поляризации в правую или левую сторону, происходящее при прохождении через слой раствора в 1 дм, с концентрацией 1 г/см<sup>3</sup> называют удельным вращением,

которое обозначают  $[\alpha]_D^t$  (D – длина волны света линии D в спектре натриевой лампы, а  $t^\circ$  – температура раствора).

Удельное вращение для растворов определяют по формуле:

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha \times 100}{C \times \ell}$$

где  $\alpha$  – угол вращения плоскости поляризации раствором оптически активного вещества в градусах;

$\ell$  – длина поляризметрической трубки, дм;

C – массовая концентрация оптически активного вещества, г/100 см<sup>3</sup> раствора;

По табл. 2 (приложения) находим удельное вращение рафинозы  $[\alpha]_D^{20} = 104,0$ .

Массовую концентрацию оптически активного вещества (раффинозы) будет равна:

$$C = \frac{\alpha \times 100}{l \times [\alpha]_D^{20}} = \frac{9,96 \cdot 100}{1,0 \cdot 104,0} = 9,58 \text{ г/100см}^3.$$

Следовательно, в 1 дм<sup>3</sup> раствора содержится 95,8 г рафинозы, тогда молярная концентрация:

$$\begin{aligned} c(\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}) &= \frac{m(\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O})}{M(\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = \\ &= \frac{95,8}{504} = 0,190 \text{ моль/дм}^3. \end{aligned}$$

*Ответ:*  $c(\text{C}_{18} \text{H}_{32}\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 0,190 \text{ моль/дм}^3$ .

**Пример 4.** Раствор никотина  $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2$  с концентрацией 0,0200 моль/дм<sup>3</sup> поместили в поляриметрическую трубку длиной  $\ell = 10$  см. Угол вращения плоскости поляризации при длине волны света 589 нм и температуре 20 °С составил 2,25 °. Вычислить удельное вращение никотина.

Удельное вращение вычисляют по формуле:

$$[\alpha]_D^{20} = \frac{\alpha \times 100}{C \times \ell}$$

Рассчитывают массовую концентрацию (С) никотина:

$$C = \frac{c \times M}{10}$$

где  $c$  – молярная концентрация никотина, моль/дм<sup>3</sup>;  
 $M$  – молярная масса никотина (162,0 г/моль);  
 10 – коэффициент пересчета 100 см<sup>3</sup> на 1000 см<sup>3</sup>.

$$C = \frac{0,0200 \cdot 162,0}{10} = 3,24 \text{ г/100см}^3$$

Тогда:

$$[\alpha]_{\text{D}}^{20} = \frac{5,25 \cdot 100}{3,24 \cdot 1,0} = 162^\circ.$$

*Ответ:*  $[\alpha]_{\text{D}}^{20} = 162^\circ$ .

**Пример 5.** Вычислить молярное вращение плоскости поляризации рафинозы  $\text{C}_{18}\text{H}_{32}\text{O}_{16} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  при длине волны  $\lambda = 589$  нм и температуре 20 °С.

Рассчитывают молярную массу кристаллогидрата рафинозы:  $M = 594$  г/моль. По табл. 2 (приложения) находят удельное вращение плоскости поляризации рафинозы при длине волны  $\lambda = 589$  нм и 20 °С:  $[\alpha]_{\text{D}}^{20} = 104,0^\circ$ .

Для того чтобы рассчитать молярное вращение ( $\Phi$ ), необходимо удельное вращение умножить на молярную массу вещества, в данном случае рафинозы.

$$\Phi = [\alpha]_{\text{D}}^{20} \times M = 104,0 \cdot 594 = 64776.$$

*Ответ:*  $\Phi = 64776$ .

**Пример 6.** При турбидиметрическом определении тяжелых металлов в золе пищевых продуктов светопропускание суспензии составило 44,5 %. Рассчитать оптическую плотность суспензии.

В методе турбидиметрии светопропускание ( $T$ ) показывает отношение интенсивности прошедшего через суспензию светового потока  $I_t$  к интенсивности падающего на суспензию светового потока  $I_0$ . Выражают  $T$  в относительных единицах или процентах:

$$T = \frac{I_t}{I_0} \times 100\% = 44,5\%.$$

В относительных единицах  $T = 0,445$ .

Рассчитывают обратную величину светопропускания:

$$\frac{1}{T} = \frac{I_0}{I_t} = \frac{1}{0,445} = 2,247.$$

Находят оптическую плотность суспензии:

$$A = \lg \frac{I_0}{I_t} = \lg 2,247 = 0,352.$$

*Ответ:*  $A = 0,352$ .

## 2.7. Стабилизация и коагуляция дисперсных систем

При изучении этого раздела надо исходить из того, что дисперсные системы (в отличие от гомогенных систем) являются принципиально (термодинамически) неустойчивыми. Они обладают только относительной устойчивостью, которая подразделяется на два вида: **седиментационную** (кинетическую) и **агрегативную**.

Надо четко понять, в чем заключается седиментационная устойчивость и в чем – агрегативная, каким образом они могут быть достигнуты.

Необходимо знать 5 факторов устойчивости:

- электростатический;
- адсорбционно-сольватный;



- структурно-механический;
- энтропийный;
- гидродинамический.

Знать, в чем они заключаются. При нарушении агрегативной устойчивости происходит **коагуляция** – слипание частиц.

Необходимо изучить закономерности коагуляции, обратить особое внимание на правила коагуляции электролитами, научиться различать нейтрализационную и концентрационную коагуляции. Усвоить основные положения теории ДЛФО и то, как эта теория объясняет коагуляцию электролитами. Рассмотреть коагуляцию смесями электролитов: их аддитивное действие, антагонизм, синергизм, принципы коллоидной защиты, явление сенсбилизации.

### Контрольные вопросы

26. Седиментационная и агрегативная устойчивость коллоидных растворов. Коагуляция. Причины, вызывающие коагуляцию. Правила коагуляции электролитами.
27. Теория быстрой коагуляции Смолуховского. Медленная коагуляция. Факторы устойчивости коллоидных растворов.
28. Теория ДЛФО. Потенциальный барьер коагуляции и его зависимость от величины электрокинетического потенциала.
29. Нейтрализационная и концентрационная коагуляция лиофобного золь электролитами. Порог коагуляции.
30. Коагуляция смесью электролитов. Антагонизм и синергизм электролитов. Коллоидная защита. Золотое число. Сенсбилизация.

### Пример расчета

**Пример.** Порог коагуляции ( $\gamma_k$ ) гидрозоль золота с отрицательно заряженными коллоидными частицами под действием  $KSCN$  равен  $2,30 \cdot 10^{-2}$  кмоль/м<sup>3</sup>. С помощью правила Шульце-Гарди рассчитать для этого золь пороги коагуляции электролитами  $AlCl_3$  и  $ZnSO_4$ .

Вспомним некоторые, необходимые для решения задачи, правила коагуляции электролитами:

1. Все сильные электролиты, добавленные в достаточном количестве, вызывают коагуляцию золя. Минимальная концентрация электролита, при которой начинается коагуляция золя, называется **порогом коагуляции** ( $\gamma_k$ ).
2. Коагулирующим действием обладает не весь электролит, а только тот его ион, заряд которого одинаков по знаку с зарядом противоиона мицеллы или противоположен знаку заряда коллоидной частицы. Этот ион называется **ионом-коагулянтом**.
3. Коагулирующая способность иона зависит от величины его заряда. Чем больше заряд иона, тем больше его коагулирующая способность, а значит, меньше порог коагуляции ( $\gamma_k$ ). Количественно эта закономерность описывается эмпирическим правилом Шульце-Гарди:

$$\gamma_k^I : \gamma_k^{II} : \gamma_k^{III} = 1 : \frac{1}{2^6} : \frac{1}{3^6} \text{ или}$$

$$\gamma_k = \frac{B}{Z^6},$$

где  $B$  – постоянная для данного золя величина, не зависящая от природы иона-коагулянта;

$\gamma_k^I : \gamma_k^{II} : \gamma_k^{III}$  – соответственно пороги коагуляции одно-, двух и трехзарядных ионов-коагулянтов, кмоль/м<sup>3</sup>.

В первую очередь для заданных электролитов необходимо установить ионы, которые обладают коагулирующим действием. Так как коллоидная частица гидрозоль золота имеет отрицательный заряд, то такими ионами будут катионы, для соли  $KCl$  – однозарядный катион  $K^+$ , для соли  $ZnSO_4$  – двухзарядный катион  $Zn^{2+}$ , для соли  $AlCl_3$  – трехзарядный катион  $Al^{3+}$ .

Следовательно, порог коагуляции  $\text{ZnSO}_4$  ( $\gamma_{\text{к}}^{\text{II}}$ ) в 64 раза меньше порога коагуляции  $\text{KCl}$  ( $\gamma_{\text{к}}^{\text{I}}$ ):

$$\gamma_{\text{кZnSO}_4}^{\text{II}} = \frac{\gamma_{\text{к}}^{\text{I}}}{64} = \frac{2,3 \cdot 10^{-2}}{64} = 3,59 \cdot 10^{-4} \text{ кмоль/м}^3,$$

а порог коагуляции  $\text{AlCl}_3$  ( $\gamma_{\text{к}}^{\text{III}}$ ) в 729 раз меньше, чем  $\gamma_{\text{к}}^{\text{I}}$   $\text{KCl}$ .

$$\gamma_{\text{кAlCl}_3}^{\text{III}} = \frac{\gamma_{\text{к}}^{\text{I}}}{729} = \frac{2,3 \cdot 10^{-2}}{729} = 3,15 \cdot 10^{-5} \text{ кмоль/м}^3.$$

*Ответ:*  $\gamma_{\text{кZnSO}_4}^{\text{II}} = 3,59 \cdot 10^{-4} \text{ кмоль/м}^3,$

$$\gamma_{\text{кAlCl}_3}^{\text{III}} = 3,15 \cdot 10^{-5} \text{ кмоль/м}^3.$$

## 2.8. Структурообразование в дисперсных системах

Структура – это пространственное взаимное расположение дисперсных частиц системы. Ребиндер предложил структурированные дисперсные системы подразделять, исходя из характера межчастичных взаимодействий, на два типа: **коагуляционные** (тиксотропно-обратимые) и **конденсационно-кристаллиза-ционные** (необратимо разрушающиеся) структуры. Наиболее характерные свойства коагуляционных структур: тиксотропия, синерезис, небольшая механическая прочность, ползучесть, пластичность, набухание. Необходимо разобраться, в чем заключаются эти свойства, отметить факторы, которые влияют на гелеобразование и основными из которых являются: концентрация частиц дисперсной фазы, их размеры и форма, температура, механическое воздействие.

В отличие от коагуляционных структур конденсационно-кристаллизационные структуры обладают упруго-хрупкими

свойствами. Эти структуры характерны для связнодисперсных систем с твердой дисперсионной средой. Такие структуры придают телам прочность, хрупкость и не восстанавливаются после разрушения.

Появление и характер образующихся структур определяют по структурно-механическим свойствам систем, таким как: вязкость, упругость, пластичность, прочность. Необходимо рассмотреть кривые течения различных структурированных систем (жидкообразных и твердообразных).

### Контрольные вопросы

31. Структурообразование в дисперсных системах. Коагуляционные структуры, их свойства. Тиксотропия. Синерезис.
32. Структурообразование в дисперсных системах. Конденсационно-кристаллизационные структуры, их свойства.

### 2.9. Микрогетерогенные системы с жидкой дисперсионной средой

Дисперсионные системы, в которых частички дисперсной фазы больше, чем  $10^{-5}$  см вплоть до  $10^{-2}$  см, называются **микрогетерогенными**. Условно они обозначаются в виде дроби, в числителе которой указывается агрегатное состояние фазы, а в знаменателе – среды: Ф/С.

К микрогетерогенным системам с жидкой дисперсионной средой относятся:

- суспензии (Т/Ж);
- эмульсии (Ж/Ж);
- пены (Г/Ж).

Изучая микрогетерогенные системы, полезно придерживаться следующей схемы:

- дать определение данной системы;
- проанализировать классификацию;
- рассмотреть методы получения;
- рассмотреть основные свойства;

- обратить внимание на проблемы устойчивости, отметить, какие вещества используются в качестве стабилизаторов этих систем, какие способы используются для разрушения данных систем;
- определить области распространения и применения соответствующих систем, обязательно указать применение их в пищевой промышленности, приведя соответствующие примеры.

### **Контрольные вопросы**

33. Суспензии, классификация, методы получения, свойства, агрегативная устойчивость, стабилизаторы суспензий, методы разрушения суспензий. Суспензии в пищевой промышленности.
34. Эмульсии, классификация, методы получения, свойства. Способы определения типа эмульсии, обращение фаз эмульсий, типы эмульгаторов, зависимость типа эмульсии от природы эмульгаторов. Способы разрушения эмульсий. Эмульсии в пищевой промышленности.
35. Пены, структура, классификация, методы получения, основные характеристики пен, пенообразователи. Методы разрушения пен. Пены в пищевой промышленности.

### **2.10. Системы с газообразной дисперсионной средой**

К этим системам относятся аэрозоли (Т/Г – пыли, дымы и Ж/Г - туманы) и порошки (Т/Г). При их изучении полезно воспользоваться рекомендациями, данными в предыдущем разделе.

### **Контрольные вопросы**

36. Аэрозоли, классификация, методы получения, устойчивость аэрозолей: седиментационная и агрегативная, методы разрушения аэрозолей. Практическое применение аэрозолей.
37. Порошки, классификация, методы получения, характерные свойства порошка: способность к течению и распылению,

флуидизация, гранулирование, слеживание. Порошки в пищевой промышленности.

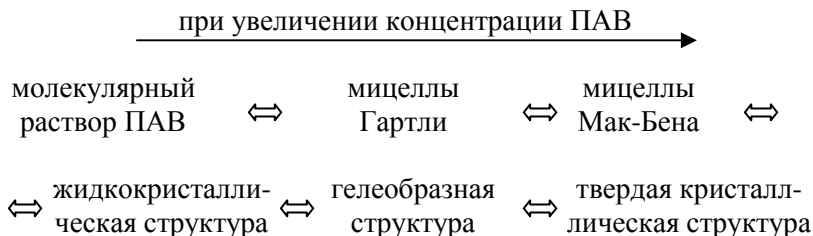
## 2.11. Коллоидные поверхностно-активные вещества

Коллоидные поверхностно-активные вещества (ПАВ) – это вещества, которые не только снижают поверхностное натяжение на границе раздела фаз, но при достижении определенных концентраций способны к самопроизвольному мицеллообразованию, т.е. к образованию новой фазы. Это вещества, содержащие больше 8 – 10 атомов углерода в углеводородном радикале. Концентрация ПАВ, после достижения которой в растворе образуется сразу много сферических мицелл, **называется критической концентрацией мицеллообразования (ККМ)**. Необходимо ознакомиться с классификацией ПАВ, научиться приводить соответствующие примеры, изучить основные свойства водных растворов ПАВ:

1. способность значительно снижать поверхностное натяжение на границе раздела фаз;
2. способность к самопроизвольному мицеллообразованию;
3. солюбилизация.

Необходимо указать методы определения ККМ и факторы, влияющие на величину ККМ.

Следует понимать, что состояние ПАВ в растворе в первую очередь зависит от его концентрации, с изменением которой происходят обратимые переходы:



Необходимо ознакомиться с областями применения коллоидных ПАВ, отметив особо использование их в пищевой промышленности.

## Контрольные вопросы

38. Коллоидные ПАВ, их классификация. Свойства водных растворов коллоидных ПАВ. ККМ, методы определения ККМ, факторы, влияющие на величину ККМ. Строение мицелл коллоидного ПАВ.
39. Стабилизирующее и моющее действие коллоидных ПАВ. Гидрофобизация поверхности. Солюбилизация. Применение коллоидных ПАВ в пищевой промышленности.

### 2.12. Физико-химические свойства полимеров и их растворов

При изучении этого раздела следует отметить две особенности строения полимеров:

1. наличие в молекулах двух различных типов связи:
  - химической связи, соединяющей атомы в полимерной цепи (ее энергия порядка сотен кДж/моль);
  - межмолекулярной связи, соединяющей между собой полимерные цепи и звенья (ее энергия порядка единиц или десятков кДж/моль);
2. гибкость цепей, обусловленная внутренним вращением звеньев.

Надо понимать, что растворение высокомолекулярных соединений (ВМС) обязательно идет через самопроизвольный процесс **набухания**, знать, из каких стадий он состоит, какие факторы на него влияют, в каких случаях наблюдается ограниченное, а в каких – неограниченное набухание.

Следует обратить внимание на свойства растворов электролитов, особенно на свойства растворов белков. Необходимо знать, что называется **изоэлектрической точкой белка**, и какие существуют методы ее определения.

Необходимо рассмотреть процесс образования студней, отметить факторы, влияющие на студнеобразование: форму, размеры и концентрацию макромолекул, время, температуру, pH среды, присутствие индифферентных электролитов. Изучить

свойства студней. Сформулировать роль студней и студнеобразования в пищевой промышленности.

### Контрольные вопросы

40. ВМС, основные особенности строения молекул полимера. Набухание, степень набухания, зависимость набухания от состава и строения полимера, стадии набухания.
41. Полиэлектролиты. Изоэлектрическая точка белка. Влияние pH среды на устойчивость белковых растворов. Методы определения изоэлектрической точки белка.
42. Студни. Студнеобразование. Отличие студней от гелей. Факторы, влияющие на студнеобразование. Свойства студней.

### Пример расчета

**Пример.** Определить молекулярную массу ( $M$ ) синтетического каучука, если известно, что характеристическая вязкость его раствора в хлороформе  $[\eta] = 0,0215 \text{ м}^3/\text{кг}$ , константы уравнения Марка-Хаувинка  $K = 1,85 \cdot 10^{-5}$  и  $\alpha = 1,56$ .

Для нахождения молекулярной массы используем уравнение Марка-Хаувинка:

$$[\eta] = K \cdot M^\alpha,$$

где  $[\eta]$  – характеристическая вязкость, которая отражает гидродинамическое сопротивление потоку молекул данного полимера;

$K$  и  $\alpha$  – постоянные для данного гомологического ряда и растворителя;

$M$  – молекулярная масса полимера.

Характеристическая вязкость определяется предельным значением следующего выражения при бесконечном разбавлении его раствора.



$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \left[ \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} \times \frac{1}{c} \right] = 0,0215 \text{ м}^3 / \text{кг},$$

где  $\eta$  – вязкость раствора;

$\eta_0$  – вязкость чистого растворителя – хлороформа;

$c$  – концентрация раствора,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Для расчета молекулярной массы полимера прологарифмируем уравнение Марка-Хаувинка

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

и решим относительно  $\lg M$

$$\lg M = \frac{\lg[\eta] - \lg K}{\alpha} = \frac{\lg 0,0215 - \lg(1,85 \cdot 10^{-5})}{0,56} = 5,47.$$

Следовательно,  $M = 10^{5,47} = 297639$ .

*Ответ:*  $M = 297639$ .

### 3. ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольная работа состоит из 5 теоретических вопросов и 5 задач (таблица 1). Номер варианта контрольной работы соответствует двум последним цифрам номера зачетной книжки студента. Если это число больше 20, 40, 60, тогда от этого числа нужно отнять соответственно 20, 40, 60. В контрольных работах должны быть приведены полностью условия задач и текст вопросов.

Таблица 1

Варианты контрольных работ

Варианты	Номера теоретических вопросов	Номера задач
1	17, 3, 8, 25, 31	1.1, 4.1, 5.1, 8, 28.1
2	1, 6, 9, 19, 40	1.2, 4.2, 5.2, 9, 28.2
3	4, 10, 16, 24, 32	1.3, 4.3, 5.3, 10, 28.3
4	2, 7, 11, 18, 42	1.4, 4.4, 5.4, 11, 28.4
5	5, 12, 13, 20, 33	1.5, 4.5, 5.5, 12, 28.5
6	1, 6, 23, 26, 41	1.6, 4.6, 5.6, 13, 28.6
7	3, 14, 21, 27, 37	1.7, 4.7, 5.7, 14, 28.7
8	2, 5, 22, 28, 35	2.1, 4.8, 5.8, 15, 28.8
9	4, 15, 25, 29, 41	2.2, 4.9, 6.1, 16, 28.9
10	1, 7, 23, 30, 39	2.3, 4.10, 6.2, 17, 28.10
11	3, 8, 17, 24, 34	2.4, 4.11, 6.3, 18, 28.11
12	2, 4, 22, 30, 42	2.5, 4.12, 6.4, 19, 28.12
13	5, 9, 14, 18, 36	2.6, 4.13, 6.5, 20, 28.13
14	1, 6, 21, 29, 40	2.7, 4.14, 6.6, 21, 28.14
15	7, 10, 13, 19, 37	3.1, 4.15, 6.7, 22, 28.15
16	2, 5, 20, 28, 31	3.2, 4.16, 6.8, 23, 28.16
17	4, 11, 16, 23, 38	3.3, 4.17, 7.1, 24, 28.17
18	1, 7, 19, 27, 32	3.4, 4.18, 7.2, 25, 28.18
19	3, 12, 14, 22, 39	3.5, 4.19, 7.3, 26, 28.19
20	2, 6, 18, 26, 33	3.6, 4.20, 7.4, 27, 28.20

**Задача № 1.** В соусах диаметр капель эмульсии масла зависит от способа приготовления и при ручном взбалтывании составляет  $d_p$  мкм, а при машинном перемешивании –  $d_m$  мкм. Определить дисперсность ( $D$ ), удельную поверхность дисперсной фазы ( $S_{уд}$ ), если плотность масла равна  $\rho$  кг/м<sup>3</sup> (таблица 2).

Таблица 2

## Исходные данные

№ варианта	$d_p \cdot 10^6$ , м	$d_m \cdot 10^6$ , м	$\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>
1	20	4	1,3
2	25	5	1,1
3	15	4	1,2
4	18	6	1,5
5	30	10	2,3
6	16	3	1,2
7	23	5	1,4

**Задача № 2.** На пакетах молока указано, что содержание жира составляет  $v_{об.}$ . Определить объем дисперсной фазы ( $V_{д.ф.}$ ) в упаковке вместимостью  $V_{д.с.}$ , л и численную концентрацию дисперсной фазы ( $v_v$ ), если диаметр жировых капель равен  $d$  мкм (таблица 3).

Таблица 3

## Исходные данные

№ варианта	$v_{об.}$ , %	$V_{д.с.}$ , л	$d \cdot 10^6$ , м
1	2,8	1	80
2	3,2	1	85
3	3,5	0,5	87
4	2,5	1	79
5	1,5	0,5	83
6	1,0	1	76
7	4,0	0,5	90

**Задача № 3.** Массовая концентрация пыли в воздухе рабочих зон помещений составляет ( $v_m$ )  $\text{мг/м}^3$ . Определить численную концентрацию пыли ( $v_n$ ), если средний диаметр частиц составляет  $d$   $\mu\text{м}$ , а их плотность  $\rho$   $\text{кг/м}^3$  (таблица 4).

Таблица 4

## Исходные данные

№ варианта	$v_m$ , $\text{мг/м}^3$	$d \cdot 10^6$ , м	$\rho \cdot 10^{-3}$ , $\text{кг/м}^3$
1	4,2	3,7	1,1
2	3,8	4,0	1,2
3	4,1	3,9	1,5
4	4,5	3,3	1,3
5	5,2	3,5	1,1
6	4,7	3,8	1,4

**Задача № 4.** Для гидрофобного золя вещества С, полученного при взаимодействии избытка вещества В с веществом А (см. таблицу 5), составьте формулу мицеллы, укажите заряд коллоидной частицы, изобразите график падения потенциала в двойном электрическом слое  $\varphi = f(r)$ , покажите на графике величину электрокинетического потенциала, назовите электролит, который может вызвать нейтрализационную коагуляцию.

Таблица 5

## Исходные данные

№ варианта	А	В избыток	С
1	$K_4[Fe(CN)_6]$	$FeCl_3$	$Fe_4[Fe(CN)_6]_3$
2	$Sr(CN)_2$	$Na_2CO_3$	$SrCO_3$
3	$Zn(NO_3)_2$	$Na_2S$	$ZnS$
4	$BaCl_2$	$K_2SO_4$	$BaSO_4$
5	$FeCl_3$	$KOH$	$Fe(OH)_3$
6	$Na_3PO_4$	$ZnBr_2$	$Zn_3(PO_4)_2$
7	$Ba(NO_3)_2$	$K_2SiO_3$	$BaSiO_3$

№ варианта	A	B избыток	C
8	$(CH_3COO)_2Pb$	$Na_2CrO_4$	$PbCrO_4$
9	$Na_2S$	$Zn(NO_3)_2$	$ZnS$
10	$FeCl_3$	$K_4[Fe(CN)_6]$	$Fe_4[Fe(CN)_6]_3$
11	$Bi(NO_3)_3$	$K_2CrO_4$	$BiCrO_4$
12	$MnBr_2$	$K_2S$	$MnS$
13	$K_2CrO_4$	$Bi(NO_3)_3$	$BiCrO_4$
14	$CaCl_2$	$K_2CO_3$	$CaCO_3$
15	$CrCl_3$	$NaCN$	$Cr(CN)_3$
16	$SrCl_2$	$NaF$	$SrF_2$
17	$Bi(NO_3)_3$	$(NH_4)_2SO_3$	$Bi_2(SO_3)_3$
18	$Na_3PO_4$	$ZnBr_2$	$Zn_3(PO_4)_2$
19	$K_2SO_4$	$BaCl_2$	$BaSO_4$
20	$MnCl_2$	$K_2CO_3$	$MnCO_3$

**Задача № 5.** По экспериментальным данным адсорбции адсорбтива А на адсорбенте В, представленным в таблице 6, построить изотерму адсорбции при температуре Т (К). Графическим путем определить константы уравнения Ленгмюра ( $\alpha_\infty$  и К).

**Задача № 6.** По экспериментальным данным адсорбции адсорбтива А на адсорбенте В, представленным в таблице 7, построить изотерму адсорбции при температуре Т (К). Графическим путем определить константы эмпирического уравнения Фрейндлиха ( $\beta$  и  $1/n$ ).

**Задача № 7.** Уравнение Шишковского имеет следующий вид:  $\sigma = \sigma_0 - B \cdot \ln(1 + Kc)$ . Для водных растворов ПАВ при температуре Т известны константы  $\sigma_0$ , В и К (таблица 8). Рассчитайте поверхностное натяжение растворов ПАВ для концентраций  $c$  (табл. 8). Постройте изотерму поверхностного натяжения растворов ПАВ. По уравнению Гиббса рассчитайте избыточную адсорбцию ПАВ из растворов, указанных концентраций. Постройте изотерму адсорбции.

Таблица 6

## Экспериментальные данные адсорбции

№	А	В	Т, К	Экспериментальные данные						
				$p \cdot 10^{-2}$ , Па						
1	паров воды	силикагеле	298	$p \cdot 10^{-2}$ , Па	3,0	4,7	7,7	11,7	14,0	17,8
				$\alpha$ , моль/кг	4,4	6,3	9,2	11,7	13,2	14,9
2	азота	угле	467	$p \cdot 10^{-3}$ , Па	1,9	6,1	18,0	33,7	68,9	
				$\alpha \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	5,1	14,3	23,6	32,6	40,8	
3	бензола	саже	293	$p$ , Па	1,0	1,3	1,7	2,5	6,7	
				$\alpha \cdot 10^2$ , моль/кг	1,57	1,94	2,6	3,5	7,6	
4	СО <sub>2</sub>	слюде	155	$p$ , Па	0,5	1,2	2,1	4,1	9,8	
				$\alpha \cdot 10^{10}$ , моль/см <sup>3</sup>	1,22	1,9	2,6	3,2	3,6	
5	метана	саже	113	$p \cdot 10^{-2}$ , Па	0,4	0,7	1,2	1,6	2,8	7,3
				$\alpha \cdot 10^3$ , моль/кг	7,5	15	30	50	80	100
6	СО <sub>2</sub>	цеолите	298	$p \cdot 10^{-2}$ , Па	1,0	5,0	10,0	30,0	75,0	100,0
				$\alpha \cdot 10^3$ , кг/кг	35	86	112	152	174	178
7	бензола	саже	290	$p \cdot 10^{-4}$ , Па	1,4	4,0	5,3	6,6	8,0	10,6
				$\alpha$ , моль/г	0,15	0,38	0,47	0,55	0,62	0,75
8	метана	саже	150	$p \cdot 10^{-2}$ , Па	1,2	2,1	3,6	5,3	10,5	27,1
				$\alpha \cdot 10^3$ , моль/кг	7,5	15	30	50	80	100

Таблица 7

## Экспериментальные данные адсорбции

№	А	В	Т, К	Экспериментальные данные						
				$p \cdot 10^{-3}$ , Па						
1	СО <sub>2</sub>	угле	293	$p \cdot 10^{-3}$ , Па	1,0	4,5	10,0	14,4	25,0	45,2
				$\alpha \cdot 10^2$ , кг/кг	3,2	6,7	9,6	11,7	14,5	17,7
2	криптон	катали- заторе	350	$p$ , Па	13,2	24,0	49,1	75,7	91,2	
				$\alpha \cdot 10^3$ , м <sup>3</sup> /кг	1,27	1,50	1,76	1,90	1,98	
3	бензола	угле	293	$p$ , Па	0,13	0,51	1,30	3,33	16,7	37,3
				$\alpha$ , моль/кг	1,13	1,69	2,25	2,82	3,94	4,50
4	СО	слоде	363	$p$ , Па	75	139	600	727	1050	1400
				$\alpha \cdot 10^3$ , моль/см <sup>3</sup>	10,8	13,4	17,2	17,6	18,9	19,6
5	бензола	саже	323	$p$ , Па	0,04	0,30	1,87	14,7	49,5	102,9
				$\alpha$ , моль/кг	0,41	0,68	1,36	2,38	3,26	3,80
6	этана	цеолите	298	$p \cdot 10^{-3}$ , Па	10,0	13,0	15,0	18,0	20,0	
				$\alpha$ , моль/кг	2,37	2,45	2,53	2,57	2,63	
7	паров во- ды	угле	293	$p \cdot 10^{-2}$ , Па	10,0	12,5	17,3	20,0	23,3	
				$\alpha$ , моль/кг	4,0	6,8	14,8	20,2	28,5	
8	СО <sub>2</sub>	угле	544	$p \cdot 10^{-3}$ , Па	2,0	5,0	10,0	15,0	20,0	
				$\alpha \cdot 10^2$ , кг/кг	20,3	31,6	44,0	53,5	61,5	

## Исходные данные

№	ПАВ	Т, К	$\sigma_0 \cdot 10^3$ , Н/м	$B \cdot 10^3$ , Н/м	К, м <sup>3</sup> /кг	с, кмоль/м <sup>3</sup>					
						0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
1	себациновая кислота	293	72,9	10,13	24,0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06
2	валериановая кислота	353	62,6	17,7	19,72	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15	0,20
3	масляная кислота	273	75,6	18,6	16,8	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,15
4	валериановая кислота	273	75,62	14,72	10,4	0,02	0,04	0,06	0,01	0,15	0,25



**Задача 8.** При определении свинца в винном сусле органический реагент образует с  $Pb^{2+}$  окрашенный комплекс состава 1:1. Концентрат из водной вытяжки содержит  $2,07 \cdot 10^{-3}$  г/дм<sup>3</sup>  $Pb^{2+}$  и избыток реагента. Оптическая плотность концентрата 0,63 ( $\lambda = 440$  нм,  $\ell = 1,0$  см). Вычислить молярный коэффициент светопоглощения.

*Ответ:*  $\varepsilon_{440} = 6,3 \cdot 10^4$ .

**Задача 9.** Светопропускание мясной вытяжки после реакции с биуретовым реагентом 48 %. Светопропускание контрольного раствора при отсутствии определяемого компонента 92 %. Вычислить молярный коэффициент светопоглощения раствора при  $\ell = 1,0$  см и молярной концентрации анализируемого раствора  $8 \cdot 10^{-3}$  моль/дм<sup>3</sup>.

*Ответ:*  $\varepsilon = 35,5$ .

**Задача 10.** Молярный коэффициент светопоглощения пиридина при  $\lambda = 257$  нм  $\varepsilon = 10^3$ . Вычислить светопропускание 0,001 моль/дм<sup>3</sup> раствора пиридина при толщине светопоглощающего слоя 5 и 1 мм.

*Ответ:*  $T(5 \text{ мм}) = 31,6\%$ ,  $T(1 \text{ мм}) = 79,4\%$ .

**Задача 11.** При  $\lambda = 320$  нм молярный коэффициент светопоглощения аминного азота  $\varepsilon = 63$ . При толщине светопоглощающего слоя  $\ell = 0,5$  см светопропускание  $T = 40,0\%$ . Вычислить молярную концентрацию аминного азота в пивном сусле. Рассчитать светопропускание того же раствора для другой полосы поглощения при  $\varepsilon = 120$ .

*Ответ:*  $c(NH_2) = 0,0126$  моль/дм<sup>3</sup>,  $T = 17,4\%$ .

**Задача 12.** При определении белка в ячмене оптическая плотность анализируемой пробы равна 0,44 ( $\ell = 2,0$  см). Оптическая плотность стандартного раствора, содержащего 0,50 мг/см<sup>3</sup> белка, составляет 0,60 ( $\ell = 3,0$  см). Вычислить содержание белка в ячмене.

*Ответ:*  $c(\text{белка}) = 0,55$  мг/см<sup>3</sup>.

**Задача 13.** Оптическая плотность водной вытяжки из мяса после проведения биуретовой реакции равна 0,40. Найти светопропускание анализируемой вытяжки.

*Ответ:*  $T = 39,8 \%$ .

**Задача 14.** При определении массовой доли жира в смеси сливочного масла, меда и фруктового сока получили следующие данные:

$n_D^{20}$	1,5290	1,5300	1,5305	1,5320
массовая доля жира, %	89,8	87,9	86,9	83,7

Показатель преломления анализируемого образца равен 1,5344. Рассчитать массу жира в 500 г смеси сливочного масла, меда и фруктового сока.

*Ответ:*  $m = 425,0$  г.

**Задача 15.** После измельчения навеску семян подсолнечника ( $m = 1,000$  г) обработали  $2,00 \text{ см}^3$   $\alpha$ -монобромнафталина. Показатель преломления полученного экстракта равен 1,6350. Показатели преломления  $\alpha$ -монобромнафталина и подсолнечного масла составляют 1,6570 и 1,4736 соответственно. Плотность подсолнечного масла  $\rho = 0,924 \text{ г/см}^3$ . Вычислить массовую долю масла в семенах подсолнечника.

*Ответ:*  $\omega = 25,19 \%$  мас.

**Задача 16.** Жир из навески маргарина ( $m = 15,500$  г) извлекли двумя порциями бромформа объемом по  $2 \text{ см}^3$ . После смешения экстрактов показатель преломления составил 1,5307. Показатели преломления бромформа и жира маргарина равны 1,5924 и 1,4690 соответственно, плотность жира  $0,9230 \text{ г/см}^3$ . Вычислить массовую долю жира в маргарине.

*Ответ:*  $\omega = 23,82 \%$  мас.

**Задача 17.** При рефрактометрическом определении лактозы  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  в цельном молоке показатель преломления равен

1,3412. Показатели преломления проб молока с массовыми долями лактозы 4,03 и 4,13 % равны 1,3411 и 1,3413 соответственно. Вычислить массовую долю лактозы в анализируемой пробе цельного молока.

*Ответ:*  $\omega(C_6H_{12}O_6) = 4,08 \%$  мас.

**Задача 18.** Показатели преломления водных растворов аскорбиновой кислоты с массовой долей 4,44 и 6,36 % соответственно равны 1,3400 и 1,3430. Рассчитать массовую долю аскорбиновой кислоты в анализируемом растворе,  $n = 1,3420$ .

*Ответ:*  $\omega(C_6H_8O_6) = 5,72 \%$  мас.

**Задача 19.** Угол вращения плоскости поляризации водного раствора  $d$  – винной кислоты  $HOOCCH(OH)CH(OH)COOH$  равен  $+1,48^\circ$  ( $\ell = 15$  см). Вычислить молярную концентрацию раствора кислоты.

*Ответ:*  $c(HOOCCH(OH)CH(OH)COOH) = 0,55$  моль/дм<sup>3</sup>.

**Задача 20.** Раствор глюкозы  $C_6H_{12}O_6$  с концентрацией  $0,0500$  г/см<sup>3</sup> вращает плоскость поляризации при  $\lambda = 589$  нм,  $20^\circ C$  и длине поляриметрической трубки  $\ell = 2,0$  дм на  $+ 5,25^\circ$ . Найти удельное и молярное вращение глюкозы.

*Ответ:*  $[\alpha]_D^{20} = + 52,5^\circ$ ;  $\Phi = + 9450$ .

**Задача 21.** Раствор хинина ( $C_{20}O_2N_2H_{23}$ ) с концентрацией  $0,017$  моль/дм<sup>3</sup> при  $\lambda = 589$  нм и  $20^\circ C$  в поляриметрической трубке длиной  $\ell = 25$  см вращает плоскость поляризации на  $- 2,37^\circ$ . Найти удельное вращение хинина.

*Ответ:*  $[\alpha]_D^{20} = - 172^\circ$ .

**Задача 22.** Удельное вращение плоскости поляризации виноградного сахара  $C_6H_{12}O_6$  рассчитали по уравнению:

$$[\alpha]_D^{20} = + 52,5 + 2,27 \cdot 10^{-2} \cdot C + 2,20 \cdot 10^{-2} \cdot C^3,$$

где  $C$  – концентрация, г/100 см<sup>3</sup>.

Измерения провели в поляризметрической трубке длиной 10 см. Исследуемый раствор содержал 3,4 г сахара в 25 см<sup>3</sup> раствора. Вычислить угол вращения плоскости поляризации раствора.

*Ответ:*  $\alpha = +7,26^\circ$ .

**Задача 23.** Растворы, содержащие по 3,5 и 6,8 г аскорбиновой кислоты  $C_6H_8O_6$  в 25 см<sup>3</sup>, вращают плоскость поляризации на  $6,7^\circ$  и  $13,4^\circ$  соответственно. Угол вращения плоскости поляризации контрольного раствора в аналогичных условиях равен  $10,3^\circ$ . Вычислить молярную концентрацию аскорбиновой кислоты в контрольном растворе.

*Ответ:*  $c(C_6H_8O_6) = 1,20$  моль/дм<sup>3</sup>.

**Задача 24.** При прохождении света через слой суспензии толщиной 1 см его интенсивность снижается на 30 %. Как изменится интенсивность света при прохождении через слой этой суспензии толщиной 10 см?

*Ответ:* уменьшится в 2,9 раза.

**Задача 25.** При нефелометрическом изучении динамики образования кристаллов сахарозы в сахарном сиропе оптическая плотность суспензии составила 0,26. Вычислить светопропускания сахарного сиропа.

*Ответ:*  $T = 55,0\%$ .

**Задача 26.** При нефелометрическом определении сульфатов в водопроводной воде оптическая плотность суспензии сульфата бария равна 0,36. Вычислить светопропускание суспензии сульфата бария.

*Ответ:*  $T = 43,6\%$ .

**Задача 27.** При турбидиметрическом определении хлоридов в минеральной воде светопропускание суспензии хлорида серебра равно 26,0 %. Вычислить оптическую плотность суспензии хлорида серебра.

*Ответ:*  $A = 0,59$ .

**Задача № 28.** По данным вискозиметрических определений характеристической вязкости  $[\eta]$  растворов ВМС и значениям констант  $K$  и  $\alpha$  уравнения Марка-Хаувинка рассчитать молекулярную массу полимера (см. таблицу 9).

Таблица 9

Данные для расчета

№	Полимер (ВМС)	Растворитель	$[\eta]$	$K \cdot 10^4$	$\alpha$
1	Полиэтилен	Декалин	1,71	10,5	0,63
2	Полипропилен	Декалин	0,45	1,0	0,80
3	Полиизобутилен	Толуол	1,22	8,7	0,56
4	Полибутадиен	Бензол	1,41	1,0	0,77
5	Бутилкаучук	Бензол	0,85	69,0	0,50
6	Полистирол	Циклогексан	0,27	8,2	0,50
7	Поливиниловый спирт	Вода	1,33	5,95	0,67
8	Полиакриламид	Вода	1,12	0,63	0,80
9	Полиметилметакрилат	Этилацетат	1,24	4,79	0,60
10	Поливинилацетат	Ацетон	1,44	2,80	0,67
11	Натуральный каучук	Толуол	0,28	2,80	0,67
12	Ацетилцеллюлоза	Ацетон	2,16	1,59	0,82
13	Метилцеллюлоза	Вода	2,02	2,80	0,62
14	Оксиэтилцеллюлоза	Вода	1,82	3,70	0,80
15	Полиметилметакрилат	Хлороформ	0,95	0,49	0,82
16	Натуральный каучук	Бензол	0,126	5	0,67
17	Поливинилацетат	Хлороформ	0,34	6,5	0,71
18	Поливинилацетат	Бензол	0,225	5,7	0,70
19	Нитроцеллюлоза	Ацетон	0,204	0,89	0,90
20	Полистирол	Толуол	0,105	17,0	0,69

Таблица 1

## Показатели преломления водных растворов сахарозы

Мас.доля сахарозы,	$n_D^{20}$	Мас.доля сахарозы,	$n_D^{20}$	Мас. доля сахарозы,	$n_D^{20}$
0	1,3330	28	1,3775	56	1,4329
2	1,3359	30	1,3811	58	1,4373
4	1,3388	32	1,3847	60	1,4418
6	1,3417	34	1,3883	62	1,4464
8	1,3448	36	1,3920	64	1,4509
10	1,3478	38	1,3958	66	1,4555
12	1,3509	40	1,3997	68	1,4608
14	1,3541	42	1,4036	70	1,4651
16	1,3573	44	1,4076	72	1,4700
18	1,3605	46	1,4117	74	1,4749
20	1,3638	48	1,4151	76	1,4799
22	1,3672	50	1,4200	78	1,4850
24	1,3706	52	1,4242	80	1,4901
26	1,3740	54	1,4285	82	1,4954

Окончание прил.

Таблица 2

Удельное вращение некоторых органических веществ  
(водные растворы, 20 °С)

Оптически активное вещество	$[\alpha]_{\text{D}}^{20}$	Оптически активное вещество	$[\alpha]_{\text{D}}^{20}$
рафиноза	+104,0	сахароза	+66,8
глюкоза	+53,1	d-фруктоза	-91,5
d-винная кислота	+12,0	<i>l</i> -морфин (в метаноле)	-134,8
<i>l</i> -винная кислота	-12,0	хинин	-172,0
аскорбиновая кислота	+21,0	$\alpha$ -аспарагиновая кислота	-25,5
$\alpha$ -молочная кислота	+1,7	никотин	+162,0
$\beta$ -лактоза	+53,5	<i>l</i> -ментол	-50,6

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие.....	3
1. ПРОГРАММА КУРСА КОЛЛОИДНО–ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ.....	5
2. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИХ АСПЕКТОВ И МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ.....	12
2.1. Коллоидное состояние .....	12
Контрольные вопросы .....	13
Примеры расчетов .....	13
2.2. Поверхностные явления и адсорбция .....	17
Контрольные вопросы .....	18
Примеры расчетов .....	18
2.3. Двойной электрический слой и электрокинетические явления .....	25
Контрольные вопросы .....	26
Пример расчета .....	26
2.4. Получение дисперсных систем и их очистка .....	31
Контрольные вопросы .....	32
2.5. Молекулярно-кинетические свойства и кинетические методы исследования дисперсных систем .....	32
Контрольные вопросы .....	34
2.6. Оптические свойства и методы исследования дисперсных систем .....	34
Контрольные вопросы .....	34
Примеры расчета .....	35
2.7. Стабилизация и коагуляция дисперсных систем .....	40
Контрольные вопросы .....	41
Пример расчета .....	41
2.8. Структурообразование в дисперсных системах.....	43
Контрольные вопросы .....	44
2.9. Микрогетерогенные системы с жидкой дисперсионной средой .....	44
Контрольные вопросы .....	45
2.10. Системы с газообразной дисперсионной средой.....	45
Контрольные вопросы .....	45
2.11. Коллоидные поверхностно-активные вещества .....	46
Контрольные вопросы .....	47
2.12. Физико-химические свойства полимеров и их растворов ..	47



Контрольные вопросы .....	48
Пример расчета .....	48
3. ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.....	50
Приложение.....	62

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

**КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И  
МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ  
ПРОДУКТОВ**

Методические указания  
для студентов заочной формы обучения

*Составители*

**Короткая** Елена Валерьевна  
**Розаленок** Нина Васильевна

Зав. Редакцией *И.Н. Журина*  
Редактор *Н.В. Шишкина*  
Технический редактор *Т.В. Васильева*  
Художественный редактор *Л.П. Токарева*

ЛР № 020524 от 02.06.97  
Подписано в печать \_\_\_\_\_ Формат 60×84<sup>1/16</sup>  
Бумага типографская. Гарнитура Times  
Уч. – изд. л. \_\_\_\_\_. Тираж \_\_\_\_\_.  
Заказ № \_\_\_\_\_.

Оригинал-макет изготовлен в редакционно-издательском отделе  
Кемеровского технологического института пищевой промышленности  
650056, г. Кемерово, б–р Строителей, 47

ПЛД № 44-09 от 10.10.99  
Отпечатано в лаборатории множительной техники  
Кемеровского технологического института пищевой промышленности  
650010, г. Кемерово, ул. Красноармейская, 52.