



The diagram illustrates a colloidal system with three concentric regions. The innermost region is a light green circle containing the chemical formula  $mKFe[Fe]$ . The middle region is a blue ring containing several  $Fe^{3+}$  ions. The outermost region is a green ring containing several  $Cl^-$  ions. The entire diagram is set against a light blue background.

**В. А. Яргаева**  
**Л. В. Сеничева**

# **ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ**

**Хабаровск 2019**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тихоокеанский государственный университет»

**В. А. Яргаева**  
**Л. В. Сеничева**

## **ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ**

Утверждено издательско-библиотечным советом университета  
в качестве учебного пособия

*2-е издание, дополненное и переработанное*

Хабаровск  
Издательство ТОГУ  
2019





УДК 541.183(075.8)

ББК Г 6я7

Я71

**Рецензенты:**

кафедра товароведения Хабаровского государственного университета экономики и права  
(рецензент проф. кафедры д-р хим. наук *В. Л. Бутуханов*, завкафедрой канд. техн. наук, доц. *А. В. Жебо*);  
завкафедрой химии Дальневосточного государственного медицинского университета  
канд. хим. наук, доц. *Н. Н. Минаева*

**Научный редактор**  
канд. хим. наук, доц. *Т. Б. Панасюк*

**Яргаева, В. А.**

Я71 Дисперсные системы : учеб. пособие / В. А. Яргаева, Л. В. Сеничева ;  
[науч. ред. Т. Б. Панасюк]. – 2-е изд., доп. и перераб. – Хабаровск : Изд-во  
Тихоокеан. гос. ун-та, 2019. – 140 с.

ISBN 978-5-7389-2868-0

Теоретический материал по дисперсным системам представлен в структурированном виде (22 рисунка, 4 таблицы). Приведены тестовые задания для самоподготовки и ответы к ним в приложении. Даны модифицированные методические указания к выполнению девяти лабораторных работ. Рассмотрены примеры решения основных типов задач. Предложен набор многовариантных задач для самоподготовки студентов.

Данное издание книги по сравнению с первым, вышедшим в 2004 г., дополнено методическими рекомендациями к выполнению 10-й учебно-исследовательской работы и переработано в соответствии с новым образовательным стандартом.

Предназначено для студентов бакалавриата высших учебных заведений химико-технологических направлений 18.03.01 и 18.03.02, изучающих дисциплину «Коллоидная химия» («Поверхностные явления и дисперсные системы»). Может быть рекомендовано для студентов всех направлений подготовки, изучающих эту дисциплину или раздел «Дисперсные системы» в других химических дисциплинах.

УДК 541.183(075.8)  
ББК Г 6я7

ISBN 978-5-7389-2868-0

© Хабаровский государственный  
технический университет, 2004  
© Яргаева В. А., Сеничева Л. В., 2004  
© Тихоокеанский государственный  
университет, 2019  
© Яргаева В. А., Сеничева Л. В., 2019,  
с изменениями



## ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие является вторым, дополненным и переработанным изданием, разработанным авторами в соответствии с программой изучения дисциплины «Коллоидная химия» или «Поверхностные явления и дисперсные системы» по разделу «Дисперсные системы».

Реальный окружающий нас мир, как и мы сами, состоит из дисперсных систем. Поэтому изучение таких систем представляет особый интерес. Дисперсные системы отличаются от истинных растворов и твердых тел большим многообразием различных признаков, совокупностью замечательных своеобразных физико-химических свойств, невоспроизводимостью и изменчивостью, что затрудняет их изучение.

Теоретические основы физико-химии дисперсных систем представлены в структурированном виде: 22 рисунка (конспекта-схемы) и 4 таблицы. После предварительного изучения соответствующих параграфов одного из учебников и учебных пособий по коллоидной химии [1–14], а также конспекта лекций студенты смогут, используя предлагаемые рисунки, конспекты-схемы и таблицы, глубже понять и лучше усвоить изучаемые материалы по соответствующим темам, подготовиться к выполнению лабораторных работ и лучше осмыслить их результаты. Преподаватель же может использовать представленный материал как развернутый план лекции.

Выполнение предлагаемых тестовых заданий для самоконтроля позволит студентам убедиться в качестве усвоения изученного теоретического материала. Ответы на 65 тестовых заданий даются в приложении 1.

Практическая часть учебного пособия включает методические указания к выполнению 10 лабораторных работ. Все предлагаемые работы выполнялись студентами в лаборатории коллоидной химии ТОГУ на протяжении многих лет. Во втором издании модифицированы методические указания ко многим лабораторным работам, а также предложены методические указания к работе «Исследование дисперсных примесей в водопроводной, природной и технической воде», которая может выполняться в форме не только учебного, но и научного исследования. При выборе лабораторных работ мы руководствовались тем, чтобы в них были представлены исследования различных типов дисперсных систем и проявляемых ими свойств и использованы разные методы химического и физико-химического анализа.

Многовариантные задачи 1, 2, 3, 7 с общим алгоритмом действия разработаны авторами, задачи 4, 5, 6, 8 подобраны из учебной литературы [15, 18, 20, 27] и переработаны. Задачи сгруппированы по отдельным характеристикам, закономерностям и свойствам дисперсных систем. Они предназначены для самостоятельной работы студентов с целью более глубокого усвоения теоретического материала. Предлагаемые примеры решения типовых задач помогут справиться с решением многих задач.

Авторы признательны студентам М. С. Ломову и А. С. Горшковой за помощь в оформлении пособия.



## Список сокращений и обозначений величин

ВМВ – высокомолекулярное вещество;  
ГЛБ – гидрофильно-липофильный баланс;  
ДЛФО (теория) – Дерягин – Ландау – Фервей – Овербек;  
ДЭС – двойной электрический слой;  
ИЭТ – изoeлектрическая точка;  
НМВ – низкомолекулярное вещество;  
ПАВ – поверхностно-активное вещество;  
ПОИ – потенциалопределяющие ионы;  
УИРС – учебно-исследовательская работа.  
Дисперсные системы: М/В – масло в воде; В/М – вода в масле;  
Фазы: Г – газообразная; Ж – жидкая; Т – твердая.

А – константа Ван-дер-Ваальса; оптическая плотность; коэффициент светорас-  
сеяния;  
В – множитель, зависящий от электрических потенциалов ДЭС; коэффициент в  
уравнении Рэлея, зависящий от показателей преломления фазы и среды;  
С – концентрация; константа асимметрии; емкость ДЭС;  
 $C_k$  – порог коагуляции электролита и иона;  
 $1/C_k$  – коагулирующая сила электролита;  
 $C_{кр}$  – критическая концентрация структурообразования;  
D – коэффициент диффузии; дисперсность;  
 $F_g$  – сила тяжести;  
Е – напряженность электрического поля; модуль сдвига;  
 $E_{п.т}$  – потенциал течения;  
 $E_{п.с}$  – потенциал седиментации;  
G – энергия Гиббса;  
 $G_s$  – свободная поверхностная энергия;  
H – энтальпия;  
I – сила тока;  
 $I_0$  – интенсивность падающего света;  
 $I_n$  – интенсивность прошедшего света;  
 $I_p$  – интенсивность рассеянного света;  
K – константа в уравнении Штаудингера;  
M – молярная масса;  
N – число частиц;  
Q – доля поглощенного растворителя;  
P – давление; напряжение сдвига;  
 $P_0$  – начальное напряжение сдвига;  
 $P_n$  – давление набухания;  
 $P_n$  – предел прочности;  
 $P_t$  – предел текучести;  
R – молярная газовая постоянная ( $8,314 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ );

$S$  – общая поверхность частиц дисперсной фазы; энтропия; смещение границы золя;  
 $S_{уд}$  – удельная поверхность дисперсной системы;  
 $T$  – абсолютная температура; светопропускание;  
 $U$  – разность потенциалов (напряжение); скорость течения (сдвига);  
 $U_{от}$  – энергия отталкивания;  
 $U_{пр}$  – энергия притяжения;  
 $\Delta U_б$  – потенциальный энергетический барьер;  
 $\Delta U_я^0$  – потенциальная (энергетическая) яма;  
 $\Delta U_я$  – вторая потенциальная (энергетическая) яма;  
 $V$  – объем частиц дисперсной фазы; объем студня;  
 $V_0$  – объем частицы; объем сухого ВМВ;  
 $V_p$  – объем раствора ВМВ; объем раствора;  
 $V_{р-ля}$  – объем растворителя НМВ;  
 $V_c$  – объем сольватированного ВМВ;  
 $X$  – толщина слоя на межфазной границе;  
 $a$  – размер частицы (диаметр шара, длина ребра куба, длина нити, толщина поверхностного слоя и др.) дисперсной фазы;  
 $b$  – константы в уравнении теплоты набухания; уравнении Галлера;  
 $d$  – диаметр частицы;  
 $e$  – заряд электрона ( $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл);  
 $g$  – ускорение свободного падения ( $9,81 \text{ м/с}^2$ );  
 $h$  – высота; расстояние между частицами;  
 $k$  – константа Больцмана ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К);  
 $l$  – толщина поглощающего свет слоя; расстояние между электродами; длина ребра куба;  
 $m$  – масса; масса студня;  
 $m_0$  – масса частицы; масса сухого ВМВ;  
 $m_p$  – масса раствора;  
 $n$  – константа в уравнении давления набухания;  
 $n_{эк}(B)$  – количество вещества моль эквивалентов;  
 $n_1$  – показатель преломления дисперсной фазы;  
 $n_0$  – показатель преломления дисперсионной среды;  
 $r$  – радиус частицы (иона);  
 $t$  – время;  
 $t_r$  – время релаксации;  
 $v$  – скорость;  
 $v_l$  – скорость перемещения частиц дисперсной фазы;  
 $v_{об}$  – объемная скорость движения дисперсионной среды;  
 $v_{сед}$  – скорость седиментации;  
 $z(Z)$  – заряд иона; число эквивалентности;  
 $\alpha$  – степень набухания ВМВ; константа в модифицированном уравнении Штаудингера;





$\alpha_{\infty}$  – степень предельного набухания;  
 $\alpha_t$  – степень набухания, соответствующая времени  $t$ ;  
 $\beta$  – кратность пены;  
 $\delta$  – толщина адсорбционного слоя;  
 $\Delta$  – толщина диффузного слоя;  
 $\bar{\Delta}$  – среднеквадратичный сдвиг;  
 $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость; молярный коэффициент поглощения;  
 относительная деформация сдвига;  
 $\varepsilon_0$  – электрическая постоянная ( $8,82 \cdot 10^{-12}$  Ф/м);  
 $\zeta$  – электрокинетический (дзета) потенциал;  
 $v$  – частичная (численная) концентрация – число частиц в единице объема;  
 $v_0$  – частичная концентрация на высоте  $h = 0$ ;  
 $v_h$  – частичная концентрация на высоте  $h$ ;  
 $\pi$  ( $P_{осм}$ ) – осмотическое давление;  $\pi$  – константа (3,14);  
 $\rho$  – плотность дисперсной фазы;  
 $\rho_0$  – плотность дисперсионной среды;  
 $\sigma$  – межфазное поверхностное натяжение; поверхностный заряд;  
 $\eta$  – вязкость;  
 $\eta_0$  – вязкость растворителя;  
 $\eta^*$  – пластическая вязкость;  
 $\eta_{отн}$  – относительная вязкость;  
 $\eta_c$  – структурная вязкость;  
 $\eta_{пр}$  – приведенная вязкость;  
 $\eta_{уд}$  – удельная вязкость;  
 $[\eta]$  – характеристическая вязкость;  
 $\lambda$  – длина волны света;  
 $\tau$  – мутность;  
 $\varphi$  – объемная доля;  
 $\varphi^0$  – полный термодинамический (поверхностный) потенциал;  
 $\aleph(\aleph)$  – удельная электрическая проводимость;  
 $\chi$  – величина, обратная толщине диффузного слоя;  
 $\omega$  – массовая доля.



# І. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФИЗИКО-ХИМИИ

## ДИСПЕРНЫХ СИСТЕМ В СХЕМАХ, РИСУНКАХ, ТАБЛИЦАХ

**Дисперсными** называют многофазные системы, состоящие из *дисперсной фазы* (множества мелких частиц, капелек или пузырьков), равномерно распределенных в сплошной *дисперсионной среде* (жидкой, газообразной или твердой). Дисперсные системы характеризуют определенными параметрами и признаками. Основными признаками дисперсных систем является дисперсность, гетерогенность и равномерное распределение фазы в среде. Гетерогенность – это способность многофазной дисперсной системы образовывать на границе раздела фаз поверхностный слой, в котором протекают различные поверхностные явления. *Дисперсность* – основная характеристика, определяется как величина, обратная размеру частиц: диаметру шарика, длине ребра куба и т. п. в зависимости от типа изучаемой дисперсной системы (рис. 1).

Дисперсные системы классифицируют по размеру частиц дисперсной фазы (дисперсности), по агрегатному состоянию фазы и среды (Т/Ж, Ж/Ж и др.), взаимодействию дисперсной фазы и дисперсионной среды, взаимодействию частиц дисперсной фазы и частиц дисперсионной среды (рис. 2). Главными условиями получения дисперсных систем являются: нерастворимость фазы в среде, достижение необходимой степени дисперсности и наличие стабилизатора. Методы получения дисперсных систем весьма разнообразны, к ним относятся как самопроизвольные (конденсация, пептизация), так и не самопроизвольные, например, диспергирование. Многие из них являются естественными природными процессами (рис. 3).

Особое место в ряду дисперсных систем занимают **коллоидные системы**. Кроме лиофобных коллоидных растворов к ним относят растворы высокомолекулярных веществ (ВМВ) и растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ), так как их объединяет общность многих физико-химических свойств. Частицы дисперсной фазы различных типов и строения в коллоидных системах называют *мицеллами*. В лиофобных коллоидных растворах мицелла состоит из ядра: агрегата из малорастворимого соединения с адсорбированными потенциалопределяющими ионами (ПОИ), адсорбционного и диффузного слоёв. Ядро с адсорбционным слоем называют *коллоидной частицей* или *гранулой* – это частица, имеющая положительный или отрицательный заряд в зависимости от заряда ПОИ, т. е. условий получения лиофобного коллоидного раствора (рис. 4).

Дисперсные системы характеризуются разнообразными молекулярно-кинетическими, оптическими и электрокинетическими свойствами (рис. 5, 6, табл. 1), зависящими от размера, формы и строения частиц дисперсной фазы (рис. 7). Многие из этих свойств лежат в основе методов исследования дисперсных систем и имеют большое практическое значение (рис. 8, 9).

Несмотря на то, что практически все лиофобные дисперсные системы обладают избыточной свободной энергией и являются термодинамически неравновесными и неустойчивыми, многие из них существуют весьма длительное



время. Это подтверждает их агрегативную, кинетическую и фазовую устойчивости, которые обусловлены самыми разнообразными факторами (рис. 10). Под агрегативной устойчивостью понимают способность системы сохранять неизменную дисперсность (устойчивость против слипания). Кинетическая устойчивость – это способность сохранять равномерное распределение частиц в объёме (устойчивость против оседания). Фазовая устойчивость – возможное образование структурированной системы. Нарушение факторов устойчивости приводит к разрушению (чаще всего к коагуляции) дисперсных систем (рис. 11). В соответствии с теорией ДЛФО устойчивость и коагуляция дисперсных систем обусловлены балансом сил притяжения и отталкивания частиц дисперсной фазы при их сближении (рис. 12). Важнейшим и наиболее изученным фактором, вызывающим коагуляцию дисперсных систем, является действие электролитов (рис. 13). В зависимости от условий ряд факторов неоднозначно действует на устойчивость дисперсных систем (рис. 14).

Многие методы разрушения дисперсных систем под действием различных физико-химических факторов, а также методы очистки коллоидных растворов от примесей низкомолекулярных веществ, имеют большое практическое значение (табл. 2, 3).

К весьма своеобразным процессам, протекающим в дисперсных системах, относят процессы структурообразования (рис. 15), которые обуславливают их структурно-механические (реологические) свойства (рис. 16). Важное практическое значение имеют также процессы, протекающие в коагуляционных структурах: гелях и студнях (рис. 17).

Как уже упоминалось, растворы ВМВ, несмотря на то, что они представляют собой истинные растворы, термодинамически устойчивые и обратимые, не нуждающиеся в стабилизаторе, рассматривают в ряду дисперсных систем и часто называют лиофильными коллоидными растворами. Для ВМВ, их растворов и студней характерны такие особые свойства, как набухание, контракция, синерезис, структурная и пластическая вязкости, мембранное равновесие Доннана и др., которые в свою очередь зависят от особенностей строения молекул ВМВ (рис. 18, 19, 20).

Для микрогетерогенных (грубодисперсных) систем с жидкой и газообразной дисперсионными средами кроме общих для всех дисперсных систем свойств характерны особые свойства (рис. 21).

Дисперсные системы и процессы, протекающие в них, имеют огромное практическое значение (табл. 2, 3, 4). Все объекты окружающей среды: атмосфера, природные воды, почвы, горные породы и др. – являются дисперсными системами. Нарушение равновесия в окружающей среде связано как с естественными природными процессами, так и с деятельностью человека (рис. 22). Глубокое знание природы дисперсных систем и сущности процессов, протекающих в них, позволит будущим специалистам-технологам различных направлений, экологам и др. успешно решать как различные технологические задачи, так и проблемы защиты окружающей нас среды (см. рис. 22, табл. 2).



Рис. 1. Общая характеристика дисперсных систем





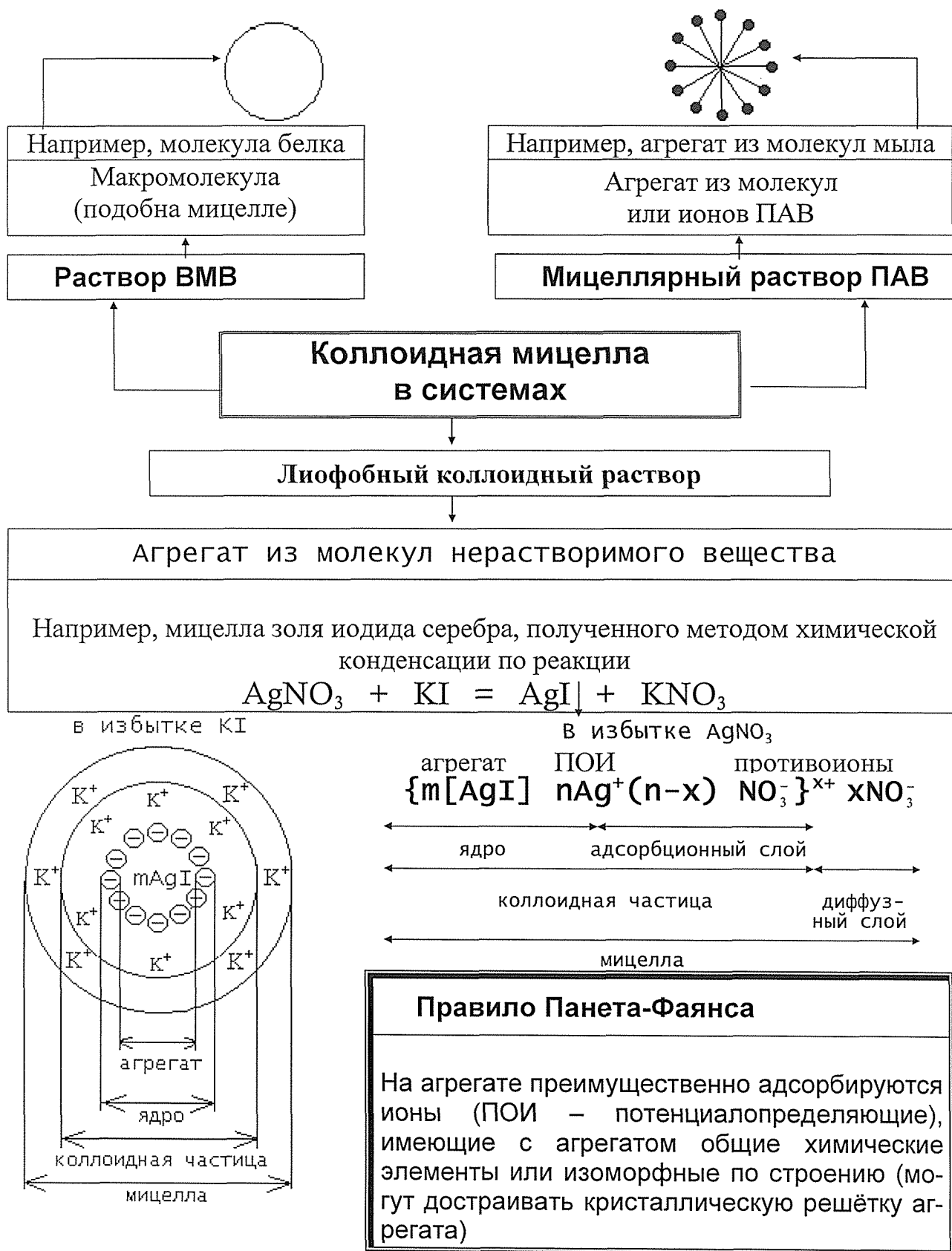


Рис. 2. Классификация дисперсных систем



Рис. 3. Методы получения дисперсных систем





■ ■ Числа  $m$ ,  $n$ ,  $x$  изменяются в широких пределах в зависимости от условий получения и очистки золя;  $m \gg n$ ,  $n > x$

Рис. 4. Строение коллоидной мицеллы различных типов

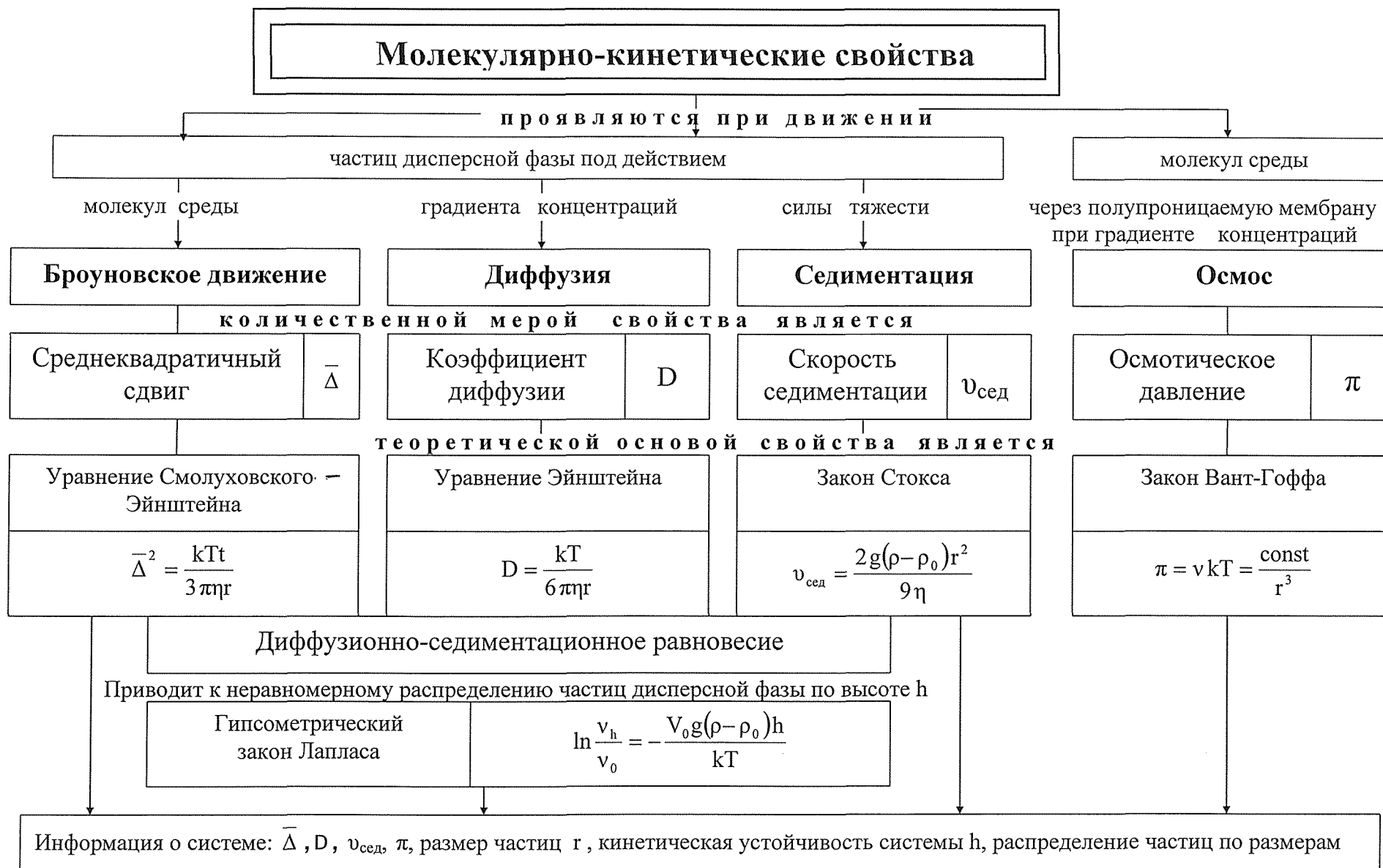


Рис. 5. Характеристика молекулярно-кинетических свойств дисперсных систем



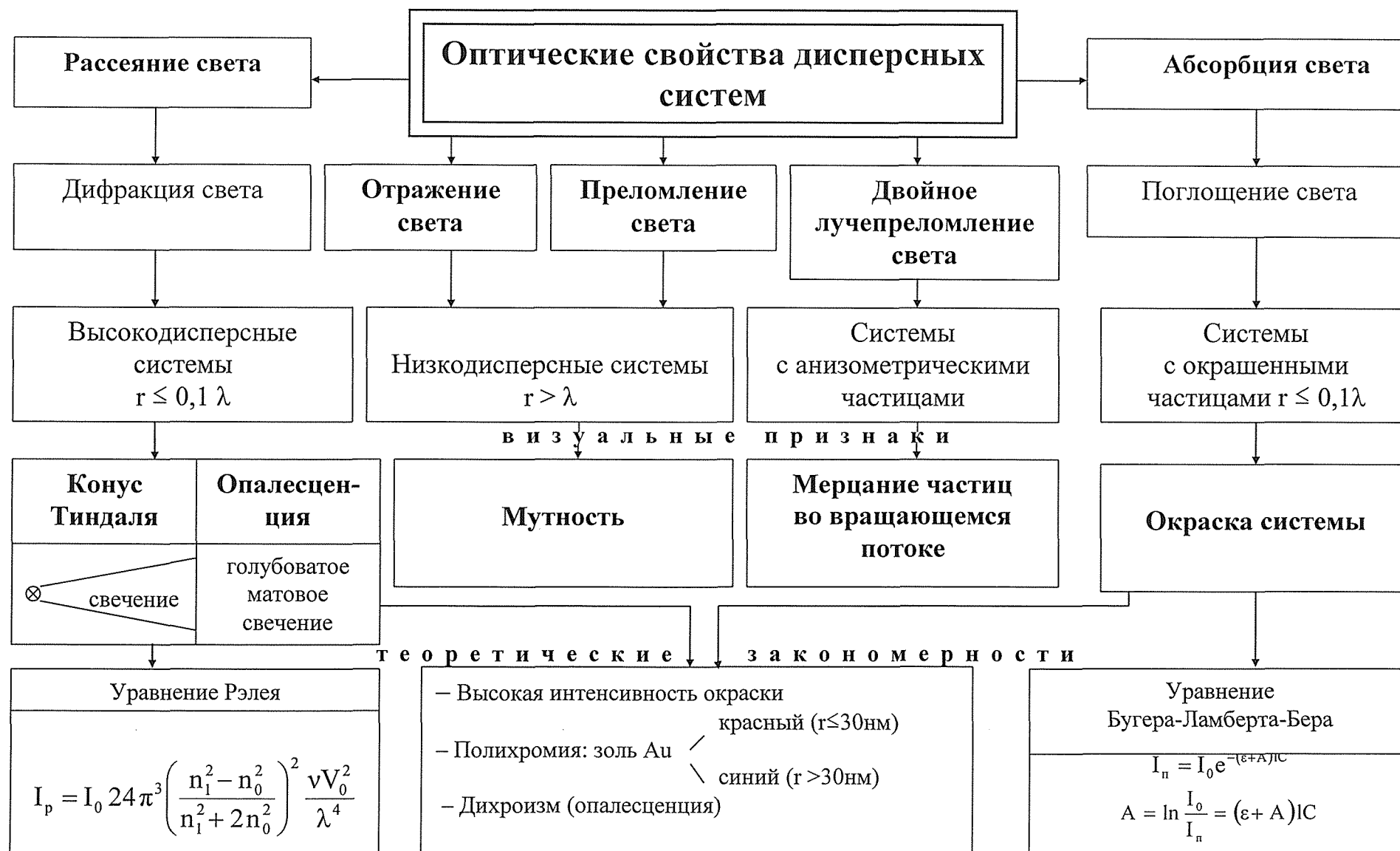
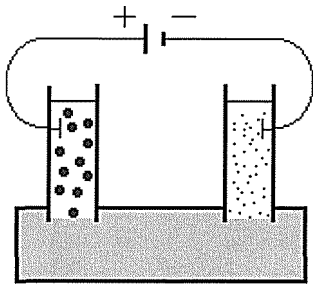
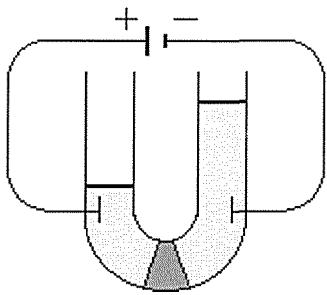
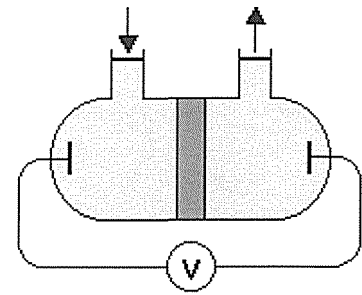
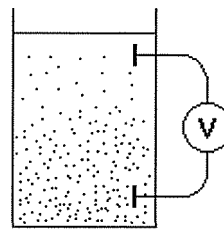


Рис. 6. Характеристика оптических свойств дисперсных систем

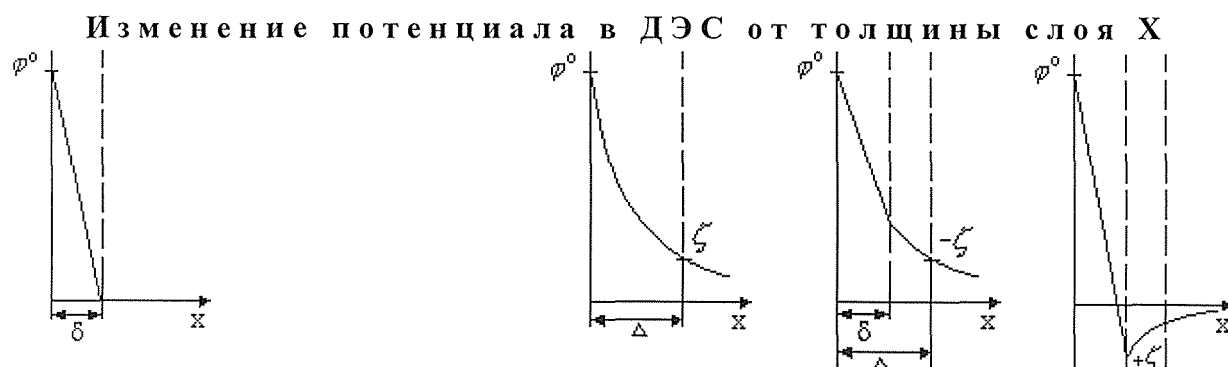
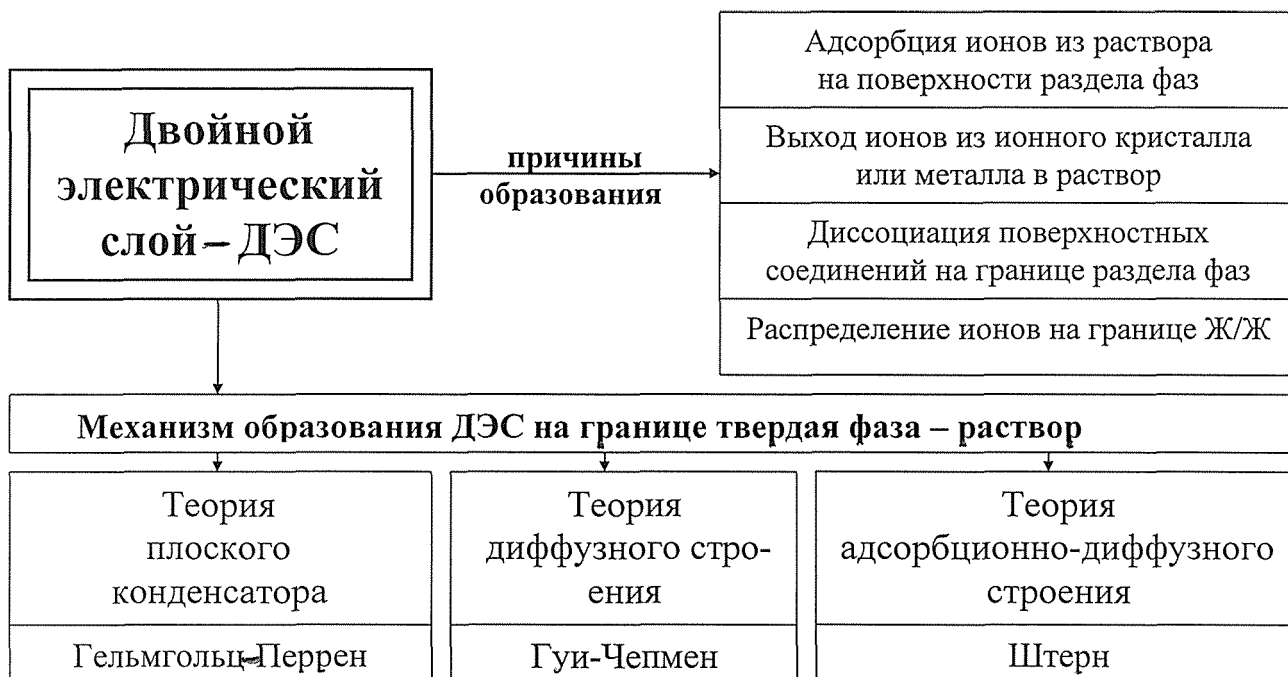


Таблица 1

## Общая характеристика электрокинетических свойств дисперсных систем

Характеристика	Явление			
	Относительное перемещение фаз дисперсной системы			
	Электрический ток → перемещение фаз		Перемещение фаз → электрический ток	
Причина явления	Образование ДЭС; возникновение электрокинетического потенциала ζ ; заряд частиц дисперсной фазы и дисперсионной среды			
Воздействие на систему	Наложение электрического поля: U – разность потенциалов; I – сила тока		Давление P, вызывающее течение дисперсионной среды	Сила тяжести F <sub>g</sub> , вызывающая оседание частиц
Сущность явления	Движение частиц дисперсной фазы со скоростью v <sub>л</sub>	Движение дисперсионной среды со скоростью v <sub>об</sub>	Возникновение потенциала течения E <sub>п.т</sub>	Возникновение потенциала седиментации E <sub>п.с</sub>
Название явления	Электрофорез	Электроосмос	Потенциал течения	Потенциал седиментации
Схема процесса				
Величина ζ потенциала	Уравнения Гельмгольца–Смолуховского			
	$\zeta = \frac{\eta v_{л}}{\epsilon \epsilon_0 E}; E = \frac{U}{l}$	$\zeta = \frac{\eta v_{об} \kappa}{\epsilon \epsilon_0 I}$	$\zeta = \frac{E_{п.т} \eta \kappa}{\epsilon \epsilon_0 P}$	$\zeta = \frac{E_{п.с} \eta \kappa}{\epsilon \epsilon_0 F_g l}$
Автор открытия, год	Рейс, 1808		Квинке, 1859	Дорн, 1878





### Основные параметры ДЭС

Полный термодинамический потенциал (поверхностный потенциал)	$\phi^0$	Электрокинетический потенциал	$\zeta$
Толщина адсорбционного слоя	$\delta$	Толщина диффузного слоя	$\Delta$
Поверхностный заряд	$\sigma$	Емкость ДЭС	C

Рис. 7. Общая характеристика двойного электрического слоя



Рис. 8. Характеристика методов исследования дисперсных систем



Рис. 9. Практическое использование электрокинетических явлений



Рис. 10. Характеристика устойчивости дисперсных систем







Рис. 11. Классификация процессов разрушения дисперсных систем





Рис. 12. Теория устойчивости и коагуляции гидрофобных дисперсных систем Дерягина – Ландау – Фервея – Овербека (ДЛФО)



Рис. 13. Эмпирические закономерности электролитной коагуляции лиофобных золей



Рис. 14. Изменение устойчивости дисперсных систем под влиянием ряда факторов





## Методы разрушения дисперсных систем под действием физико- химических факторов

Физико-химический фактор	Метод разрушения	Сущность метода	Пример процесса
Введение электролита-коагулятора	<b>Электролитная коагуляция</b>	Уменьшение заряда частиц	Образование отмелей в устье впадения рек в моря и океаны. Очистка воды методом коагулирования
Смешивание двух дисперсных систем	<b>Взаимная коагуляция</b>	Электростатическое притяжение положительно заряженных частиц одной системы к отрицательным частицам другой	Смешивание потоков сточных вод от разных предприятий, поступающих на станцию водоочистки
Наличие твердой поверхности	<b>Гетерокоагуляция</b>	Осаждение и прилипание частиц дисперсной фазы к макроповерхности	Осаждение частиц на мешалках, в трубах и на стенках сосудов и отстойников
Введение флокулянта	<b>Флокуляция</b>	Связывание в хлопья частиц высокомолекулярными флокулянтами	Ускорение осаждения частиц в отстойниках при водоочистке
Воздействие химических реагентов	<b>Коагуляция</b>	Химическое разрушение стабилизатора или изменение его химической природы	Разрушение эмульсий в нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности и др.
Гравитационное поле	<b>Седиментация</b>	Осаждение частиц под действием сил тяжести	В практике водоочистки. При разрушении туманов, облаков, дымов и др.
Размер пор фильтра, мембраны	<b>Фильтрация</b>	Осаждение частиц на фильтре, мембране, пористом адсорбенте	Фракционирование дисперсных систем. Разрушение дымов, пылей и др.
Электрическое поле	<b>Электрокоагуляция</b>	Снижение заряда частиц	В практике водоочистки
	<b>Электрофоретическое осаждение</b>	Перемещение коллоидных частиц и ионов ВМВ с прилипанием их к электроду	Нанесение неметаллических покрытий на металлические поверхности
Центробежное поле	<b>Центрифугирование</b>	Осаждение частиц и разделение фаз дисперсной системы	Уплотнение осадков в суспензиях. Сепарирование эмульсий, например, молока
Изменение температуры	<b>Термокоагуляция Термоосаждение</b>	Изменение растворимости дисперсной фазы или испарение дисперсионной среды	В практике очистки сточных вод. В аналитической практике: перекристаллизация – изотермическая перегонка



*Методы очистки коллоидных растворов*

Метод	Сущность метода	Пример процесса
<b>Диализ</b>	Извлечение из зольных низкомолекулярных веществ или ионов электролита чистым растворителем с помощью полупроницаемой мембраны, через которую не проходят коллоидные частицы, в диализаторе (медленный процесс)	Очистка лиофобных зольных и растворов ВМВ от низкомолекулярных или ионных примесей. Очистка молочной сыворотки от неорганических ионов. Анализ крови на присутствие глюкозы и мочевины. Прижизненное определение в крови низкомолекулярных составных частей (вивидиализ). Работа аппарата «Искусственная почка»: очищение крови от продуктов обмена веществ
<b>Электро-диализ</b>	Процесс диализа, ускоренный путем наложения электрического тока, в электродиализаторе (быстрый процесс)	Опреснение природных минерализованных вод, очистка промышленных стоков, вакцин, сывороток и многих других дисперсных систем
<b>Ультра-фильтрация</b>	Фильтрация раствора через полупроницаемую мембрану, пропускающую дисперсионную среду с низкомолекулярными примесями и задерживающую частицы дисперсной фазы или макромолекулы. Для ускорения процесса его проводят под вакуумом или повышенным давлением	Отделение низкомолекулярных и ионных примесей от коллоидных растворов. Концентрирование коллоидных растворов. Разделение коллоидных растворов на фракции по размерам при использовании мембран с порами разного размера, ориентировочное определение размеров частиц





Рис. 15. Общая характеристика процессов структурообразования в дисперсных системах





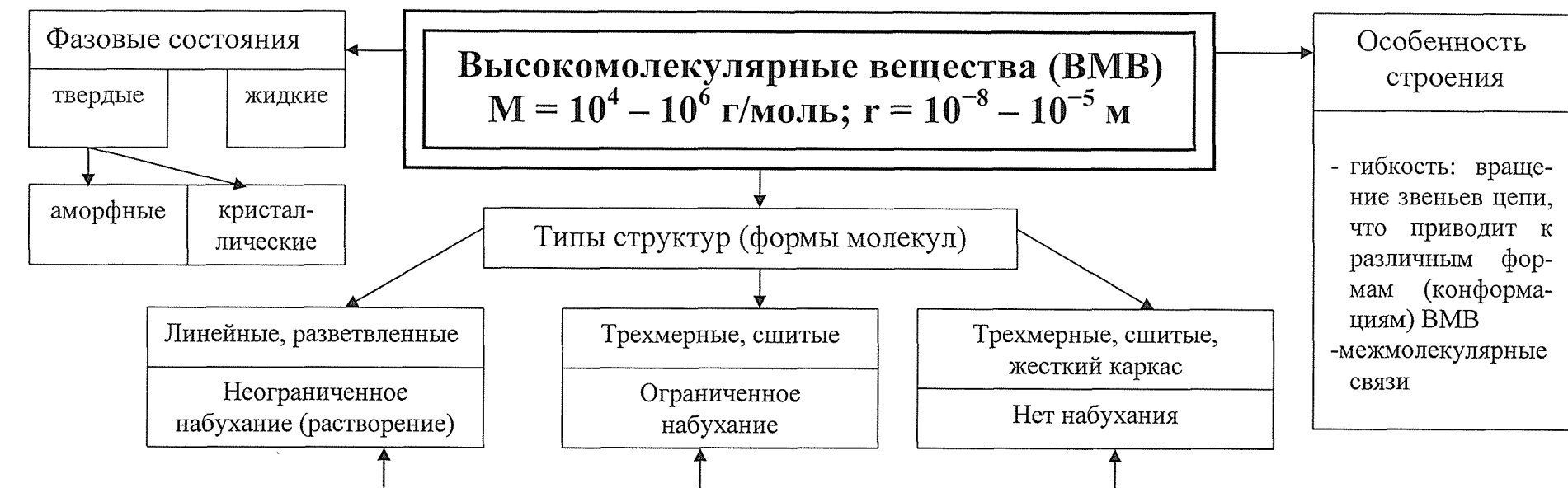
Рис. 16. Общая характеристика структурно-механических (реологических) свойств дисперсных систем





Рис. 17. Общая характеристика процессов в коагуляционных структурах





в з а и м о д е й с т в и е   В М В   с   р а с т в о р и т е л е м

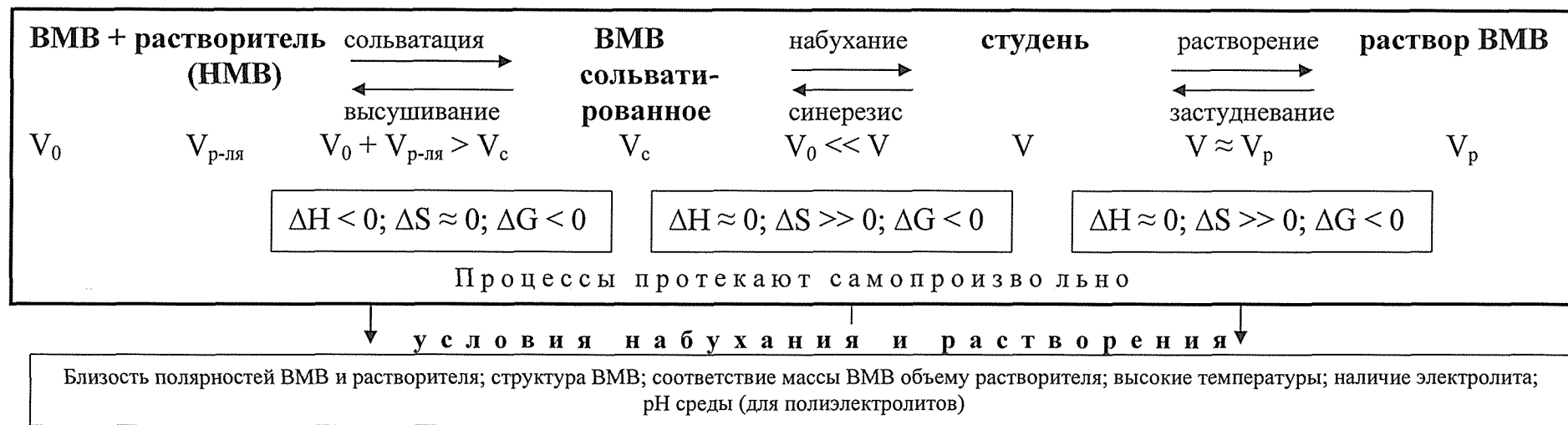


Рис. 18. Общая характеристика высокомолекулярных веществ





Рис. 19. Общая характеристика студня

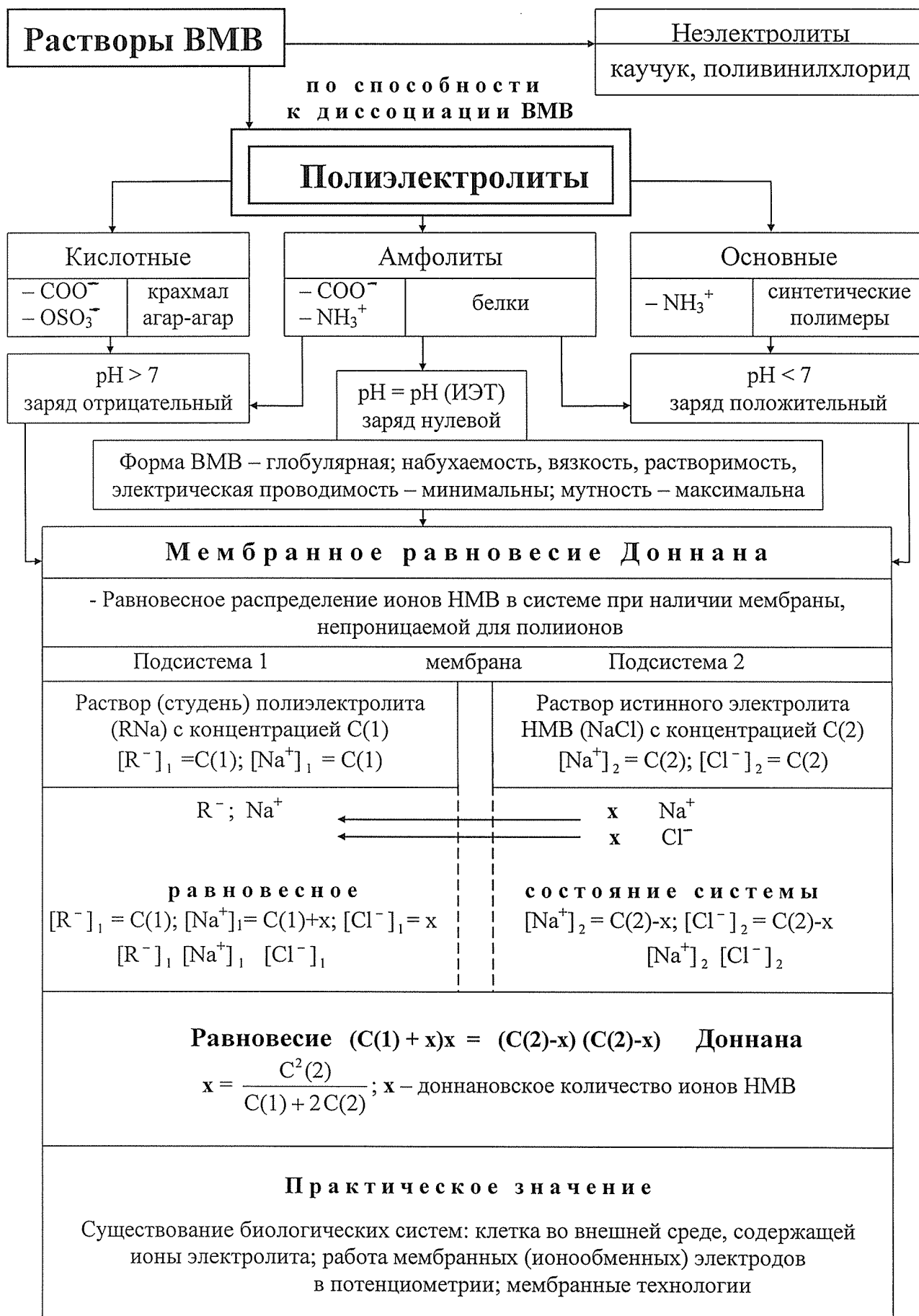


Рис. 20. Характеристика полиэлектролитов

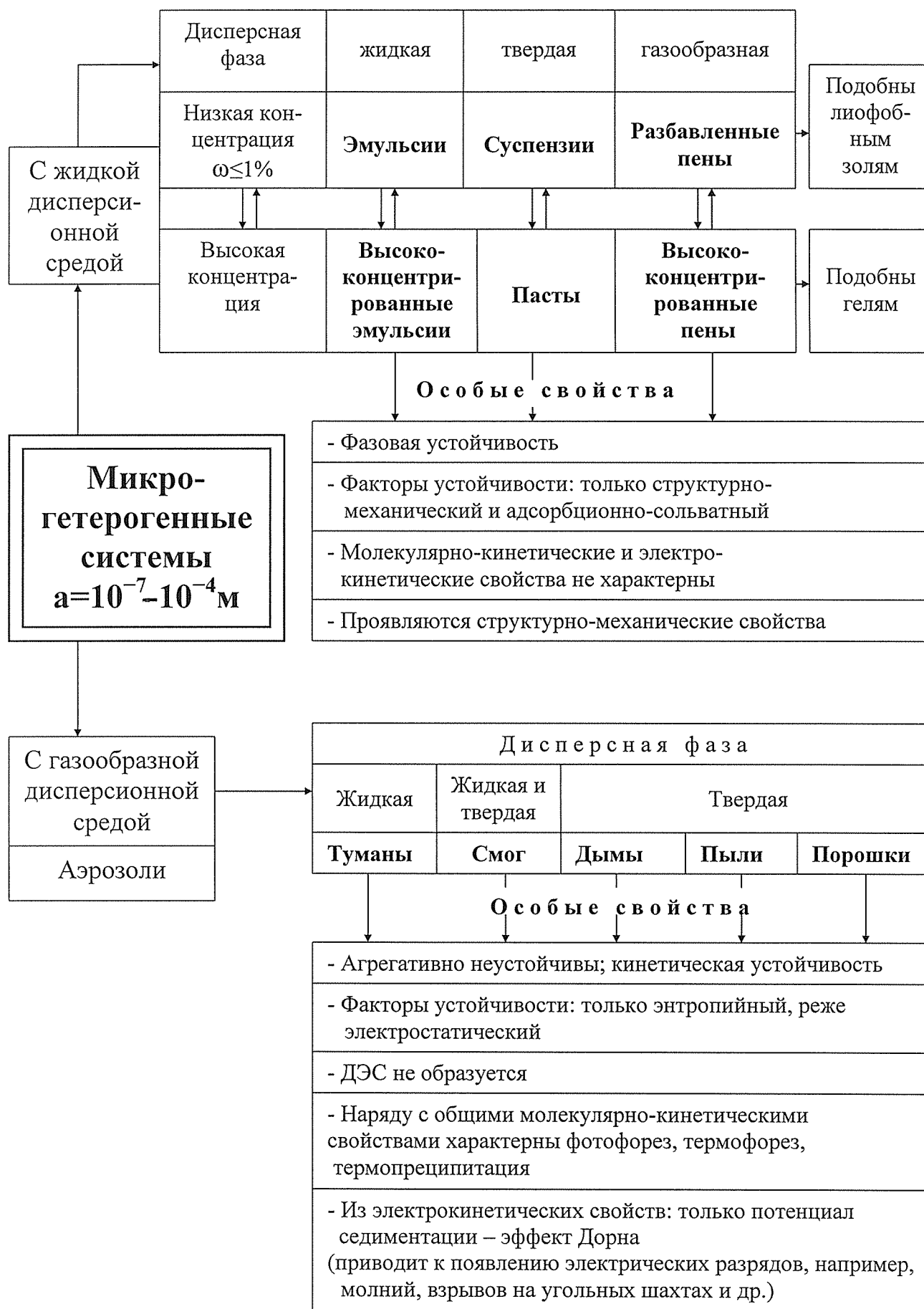


Рис. 21. Характеристика микрогетерогенных (грубодисперсных) систем



## Некоторые области использования дисперсных систем

Область	Примеры объектов или процессов
Пищевая промышленность	Продукты питания и исходное сырьё для их получения: порошки (мука, какао, крахмал); эмульсии (соусы, маргарин, майонез); студни и гели (кисель, желе, холодец, сыр); коллоидные растворы (супы, бульоны) и др.
Сельское хозяйство	Формирование структуры плодородных почв (коагелей). Распыление в виде аэрозолей инсектицидов, фунгицидов, гербицидов для борьбы с вредными насекомыми, болезнями растений и сорняками. Разрушение аэрозолей – искусственное дождевание. Использование удобрений в виде порошков, гранул, суспензий, эмульсий и др.
Фармацевтическая промышленность	Лекарственные препараты в виде золь (колларгол, протаргол), эмульсий (нафталановая, альбихоловая), паст (оксолиновая мазь), суспензий (пенициллиновая, линимент синтомицина), аэрозолей (ингаляционные), пенных препаратов (противоожоговые, кровоостанавливающие) и др.
Медицина	Лечение (электрофорез) и диагностика заболеваний на основе анализа коллоидных систем организма человека: крови, плазмы, лимфы, мочи, слюны, слезной жидкости, и др.
Косметическая промышленность	Косметические препараты в виде эмульсий (кремы, мази, шампуни, лаки), паст, аэрозолей, пен, порошков, гранул, суспензий и др.
Военное дело	Использование аэрозолей (дымы $P_2O_5$ , $ZnO$ ) для светомаскировки
Различные технологические производства	<p><u>В энергетике</u>: распыление твердого и жидкого топлива в виде аэрозолей при подаче в топку.</p> <p><u>В строительстве</u>: исходное сырьё и строительные материалы в виде порошков (цемент, известковая мука, глина), твердых пен (пенобетон, пенопласт), эмульсий (лаков, красок), суспензий (известь, цементный раствор), разнообразных композиционных материалов. Нанесение лаков и красок в виде аэрозолей при распылении из пульверизатора.</p> <p><u>В нефтедобывающей промышленности</u>: использование суспензий из глины для удаления измельченной выбуренной горной породы за счет тиксотропных свойств систем.</p> <p><u>В металлургии</u>: получение дисперсных систем Т/Т (сплавов): чугуна, стали и др. Состав стали: мартенсит – коллоидный раствор, перлит – микрогетерогенная система.</p> <p><u>В химической промышленности</u>: исходное сырьё, промежуточные вещества, конечные продукты в виде эмульсий, суспензий, паст, порошков, пен, аэрозолей и многое другое.</p>





Рис. 22. Дисперсные системы и окружающая среда

## II. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

### Выберите правильный ответ

1. Признаками дисперсной системы являются оба условия:  
а) растворимость фазы в среде; равномерное распределение;  
б) дисперсность; летучесть среды;  
в) гетерогенность; летучесть фазы;  
г) дисперсность; равномерное распределение;  
д) растворимость фазы в среде; летучесть среды.
2. Для основной характеристики дисперсной системы используют обе величины:  
а) объем и поверхность частицы; б) массу и объем частицы;  
в) объем и массу всех частиц; г) объем и поверхность всех частиц;  
д) дисперсность и удельную поверхность частиц.
3. Термодинамически устойчивой является дисперсная система:  
а) лиофильный золь; б) лиофобный золь; в) суспензия; г) эмульсия; д) пена.
4. Для лиофобной дисперсной системы характерны оба фактора:  
а) термодинамически устойчива; при образовании системы  $\Delta G > 0$ ;  
б) термодинамически неустойчива; при образовании системы  $\Delta G < 0$ ;  
в) термодинамически устойчива; при образовании системы  $\Delta G < 0$ ;  
г) термодинамически неустойчива; при образовании системы  $\Delta G > 0$ ;  
д) термодинамически устойчива; при образовании системы  $\Delta G = 0$ .
5. Золев является дисперсная система с размером частиц:  
а)  $10^{-5}$  м; б)  $10^{-8}$  м; в)  $10^{-6}$  м; г)  $10^{-2}$  м; д)  $10^{-11}$  м.
6. К конденсационным методам получения дисперсных систем относятся оба метода:  
а) электрораспыление и замена растворителя;  
б) ультразвуковое диспергирование и пептизация;  
в) пептизация и конденсация из паров;  
г) механическое диспергирование и реакция обмена;  
д) реакция гидролиза и замена растворителя.
7. При получении дисперсных систем должны выполняться все три условия:  
а) гетерогенность; дисперсность; растворимость фазы в среде;  
б) гетерогенность; наличие стабилизатора; растворимость фазы в среде;  
в) дисперсность; наличие стабилизатора; нерастворимость фазы в среде;  
г) гомогенность; дисперсность; нерастворимость фазы в среде;  
д) гомогенность; дисперсность; наличие стабилизатора.

8. Для очистки золей от ионных примесей используют оба метода:  
 а) электрофорез и электроосмос;  
 б) диализ и ультрафильтрацию;  
 в) электрораспыление и электродиализ;  
 г) диализ и фотоэлектроколориметрию;  
 д) ультрафильтрацию и электроосмос.
9. К молекулярным коллоидам относят систему:  
 а) золь  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ;  
 б) раствор олеата натрия;  
 в) раствор  $\text{NaCl}$ ;  
 г) раствор крахмала;  
 д) суспензию мела в воде.
10. Лиофобным коллоидным раствором является система:  
 а) раствор пальмитата калия;  
 б) суспензия  $\text{BaSO}_4$ ;  
 в) раствор яичного альбумина;  
 г) золь  $\text{AgI}$ ;  
 д) раствор  $\text{HCl}$ .
11. Мицеллярный коллоидный раствор образует система:  
 а) раствор желатина;  
 б) раствор олеата калия;  
 в) золь  $\text{BaSO}_4$ ;  
 г) раствор  $\text{KCl}$ ;  
 д) эмульсия масла в воде.
12. Для золя берлинской лазури, полученного при сливании водных растворов  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  и избытка  $\text{FeCl}_3$ , потенциалоопределяющим является ион:  
 а)  $\text{K}^+$ ; б)  $\text{Fe}^{3+}$ ; в)  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ ; г)  $\text{Cl}^-$ ; д)  $\text{CN}^-$ .
13. Для золя гидроксида алюминия с мицеллой  
 $\left\{ m[\text{Al}(\text{OH})_3] \cdot n\text{Al}^{3+} \cdot x\text{Cl}^- \right\} (3n-x)\text{Cl}^-$  заряд гранулы равен величине:  
 а)  $3n+$ ; б)  $3x+$ ; в)  $(3n-x)+$ ; г)  $(2n-x)+$ ; д)  $x+$ .
14. Величина и заряд поверхностного  $\phi^0$ -потенциала определяются факторами:  
 а) величиной и зарядом коллоидных частиц;  
 б) числом и зарядом потенциалоопределяющих ионов;  
 в) числом и зарядом противоионов адсорбционного слоя;  
 г) числом и зарядом противоионов диффузного слоя;  
 д) величиной и зарядом электрокинетического потенциала.



15. При разведении золя и повышении температуры электрокинетический потенциал изменяется следующим образом  
а) увеличивается; б) уменьшается; в) не изменяется;  
г) проходит через минимум; д) проходит через максимум.
16. Для дисперсной системы золь золота проявляются все три свойства:  
а) электрофорез; отражение света; броуновское движение;  
б) электрофорез; рассеяние света; диффузия;  
в) седиментация; преломление света; потенциал оседания;  
г) диффузия; отражение света; потенциал течения;  
д) седиментация; прохождение света; электроосмос.
17. Структурно-механические свойства пластичность и эластичность характерны для дисперсной системы:  
а) золь  $\text{AgI}$ ; б) эмульсии бензола в воде; в) тумана;  
г) суспензии  $\text{Al}_2\text{O}_3$  в воде; д) студня крахмала.
18. Диффузия, осмос и броуновское движение в большей степени проявляются для дисперсных систем с размером частиц:  
а)  $10^{-8}$  м; б)  $10^{-5}$  м; в)  $10^{-4}$  м; г)  $10^{-6}$  м; д)  $10^{-3}$  м.
19. Седиментация возможна в дисперсных системах с размером частиц:  
а)  $10^{-8}$  м; б)  $10^{-5}$  м; в)  $10^{-9}$  м; г)  $10^{-11}$  м; д)  $10^{-10}$  м.
20. Не проявляет молекулярно-кинетические и электрокинетические свойства дисперсная система:  
а) пена; б) эмульсия; в) суспензия; г) аэрозоль; д) гидрозоль.
21. Структурообразованию (гелеобразованию) коллоидного раствора способствуют все три фактора:  
а) высокие температуры; высокие концентрации; введение электролита;  
б) низкие температуры; перемешивание системы; особая форма частиц;  
в) высокие температуры; высокие концентрации; анизометрическая форма частиц;  
г) низкие температуры; низкие концентрации; особая форма частиц;  
д) низкие температуры; высокие концентрации; анизометрическая форма частиц.
22. К конденсационно-кристаллизационным структурам относят систему:  
а) табачный дым;  
б) эмульсию толуола в воде;  
в) студень желатина;  
г) гидрозоль  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ; д) пенопласт.





23. Для коагуляционной структуры характерны оба свойства:  
а) синерезис и тиксотропия;  
б) хрупкость и эластичность;  
в) синерезис и прочность;  
г) тиксотропия и прочность;  
д) прочность и хрупкость.
24. Аэрозолю соответствуют оба свойства:  
а) прохождение света и потенциал течения;  
б) термопреципитация и фотофорез;  
в) коагуляция и фильтрация;  
г) обращение фаз и коалесценция;  
д) флотация и кратность.
25. Для суспензии характерны оба свойства:  
а) флотация и кратность; б) коагуляция и фильтрация;  
в) обращение фаз и коалесценция; г) фотофорез и флотация;  
д) термопреципитация и термофорез.
26. Только эмульсия проявляет оба свойства:  
а) флотация и фильтрация; б) фотофорез и термофорез;  
в) обращение фаз и коалесценция; г) коагуляция и электрофорез;  
д) термопреципитация и рассеяние света.
27. Для пены характерны оба свойства:  
а) коагуляция и термопреципитация; б) коалесценция и фотофорез;  
в) электрофорез и термофорез; г) электроосмос и фильтрация;  
д) флотация и кратность.
28. Светорассеяние не происходит в дисперсной системе:  
а) золь  $As_2S_3$ ; б) мучная пыль; в) пенобетон;  
г) эмульсия; д) студень агар-агара.
29. В большей степени рассеивается свет с длиной волны:  
а) 940 нм; б) 364 нм; в) 580 нм; г) 315 нм; д) 750 нм.
30. На измерении света, рассеянного дисперсной системой, основан оптический метод исследования:  
а) нефелометрия; б) микроскопия; в) турбидиметрия;  
г) фотоэлектроколориметрия; д) электронная микроскопия.
31. Уравнение Эйнштейна для диффузии имеет вид:

а)  $D = \frac{RT}{3\pi\eta r N_A}$ ; б)  $D = \frac{\pi r^3}{3\eta RT}$ ; в)  $D = \frac{kT}{6\pi\eta r}$ ;  
 г)  $D = \frac{kT}{6\pi r N_A}$ ; д)  $D = \frac{RT}{6\pi\eta r}$ .

32. Уравнение Эйнштейна-Смолуховского для среднеквадратичного сдвига частицы имеет вид:

а)  $\bar{\Delta}^2 = \frac{kTt}{3\pi\eta r}$ ; б)  $\bar{\Delta} = \frac{RTt}{3\pi\eta r N_A}$ ; в)  $\bar{\Delta}^2 = \sqrt{2Dt}$ ;  
 г)  $\bar{\Delta} = \frac{RT}{6\pi\eta r N_A}$ ; д)  $\bar{\Delta}^2 = \frac{RT}{3\pi\eta r N_A}$ .

33. Уравнение Вант-Гоффа для осмотического давления коллоидных растворов имеет вид:

а)  $\pi = \nu kT$ ; б)  $\pi = C_m RT$ ; в)  $\pi = \frac{C}{N_A} RT$ ; г)  $\pi = \nu RT$ ; д)  $\pi = \frac{N_A}{V_0} RT$ .

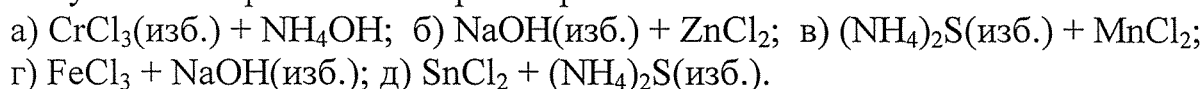
34. Уравнение Рэля для интенсивности рассеянного коллоидной системой света имеет вид:

а)  $I_p = I_0 \cdot \ell^{-\varepsilon lc}$ ; б)  $I_p = I_0 \cdot \ell^{-\tau l}$ ; в)  $I_p = I_0 \cdot B \frac{\nu V_0^2}{\lambda^4}$ ; г)  $A = -\varepsilon lc$ ; д)  $I_p = I_0 \cdot \frac{\nu V_0}{\lambda^x}$ .

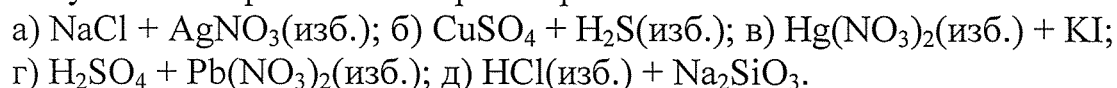
35. Уравнение Бугера-Ламберта-Бера для интенсивности прошедшего через дисперсную систему света имеет вид:

а)  $I_{\pi} = I_0 \cdot B \frac{\nu V_0^2}{\lambda^x}$ ; б)  $\lg \frac{I_0}{I_{\pi}} = \varepsilon lc$ ; в)  $A = -\varepsilon lc$ ;  
 г)  $I_{\pi} = I_0 \cdot e^{-(\varepsilon + A)lc}$ ; д)  $I_{\pi} = I_0 \cdot \frac{\nu V_0}{\lambda^4}$ .

36. К катоду при электрофорезе будут перемещаться коллоидные частицы золя, полученного при сливании растворов:



37. К аноду при электрофорезе будут перемещаться коллоидные частицы золя, полученного при сливании растворов:



38. Для определения электрокинетического потенциала методом электрофореза используют уравнение:

а)  $\zeta = \frac{\eta \kappa v}{I \epsilon \epsilon_0}$ ; б)  $\zeta = \frac{3 \pi \eta v}{\epsilon \epsilon_0 \cdot E}$ ; в)  $\zeta = \frac{\eta v}{\epsilon \epsilon_0 E}$ ; г)  $\zeta = \frac{4 \eta v}{\epsilon \epsilon_0 \cdot I}$ ; д)  $\zeta = \frac{4 \epsilon \epsilon_0}{E \eta}$ .

39. Агрегативная устойчивость дисперсной системы – это свойство:

- а) равномерное распределение частиц в объеме;
- б) способность системы противостоять слипанию и укрупнению частиц;
- в) объединение частиц в более крупные агрегаты;
- г) способность системы к структурообразованию;
- д) оседание частиц под действием сил тяжести.

40. Коагуляция коллоидного раствора начинается при достижении электрокинетическим потенциалом критической величины:

- а) 0 мВ; б) 10 мВ; в) 30 мВ; г) 70 мВ; д) 100 мВ.

41. Седиментационной устойчивости дисперсной системы соответствует свойство:

- а) способность частиц системы к седиментации;
- б) объединение частиц в более крупные агрегаты;
- в) способность системы противостоять слипанию и укрупнению частиц;
- г) равномерное распределение частиц в объеме;
- д) способность системы к структурообразованию.

42. Фазовая устойчивость дисперсной системы – это свойство:

- а) оседание частиц системы под действием сил тяжести;
- б) способность системы к структурообразованию;
- в) объединение частиц системы в более крупные агрегаты;
- г) способность системы противостоять слипанию и укрупнению частиц;
- д) равномерное распределение частиц в объеме.

43. В соответствии с теорией ДЛФО нейтрализационная коагуляция золь под действием электролитов обусловлена причиной:

- а) увеличением толщины диффузного слоя и уменьшением  $\zeta$ -потенциала;
- б) сжатием диффузного слоя и уменьшением  $\zeta$ -потенциала;
- в) десорбцией потенциалопределяющих ионов (ПОИ) и увеличением  $\phi^0$ -потенциала;
- г) сжатием диффузного слоя и увеличением  $\zeta$ -потенциала;
- д) десорбцией ПОИ и уменьшением  $\phi^0$ -потенциала.



44. Соотношения порогов коагуляции одно-, двух- и трехзарядных ионов в соответствии с закономерностью Дерягина – Ландау имеют вид:  
а) 1 : 0,2 : 0,5; б) 1: 0,016 : 0,001 3; в) 1: 0,52 : 0,12;  
г) 1: 0,05 : 0,03; д) 1: 0,0012 : 0,0005.
45. Концентрационная коагуляция золь под действием электролитов в соответствии с теорией ДЛФО обусловлена причиной:  
а) десорбцией ПОИ и уменьшением  $\varphi^0$ -потенциала;  
б) сжатием диффузного слоя и увеличением  $\zeta$ -потенциала;  
в) десорбцией потенциалопределяющих ионов (ПОИ) и увеличением  $\varphi^0$ -потенциала;  
г) сжатием диффузного слоя и уменьшением  $\zeta$ -потенциала;  
д) увеличением толщины диффузного слоя и уменьшением  $\zeta$ -потенциала.
46. Наиболее эффективным коагулятором для золь с положительным зарядом частиц является электролит:  
а) NaCl; б)  $K_2SO_4$ ; в)  $CaCl_2$ ; г)  $Na_3PO_4$ ; д)  $Al_2(SO_4)_3$ .
47. Наибольший порог коагуляции для золь с отрицательным зарядом частиц имеет электролит:  
а)  $FeSO_4$ ; б)  $MgCl_2$ ; в)  $K_3PO_4$ ; г)  $Ba(NO_3)_2$ ; д)  $AlCl_3$ .
48. Для золь с положительным зарядом частиц в порядке увеличения коагулирующей силы расположены ионы:  
а)  $Fe^{3+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ; б)  $Li^+$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Al^{3+}$ ; в)  $Cl^-$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $PO_4^{3-}$ ;  
г)  $Ba^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Th^{4+}$ ; д)  $Br^-$ ,  $CO_3^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ .
49. Для золь с отрицательным зарядом частиц коагулирующая сила увеличивается в ряду:  
а)  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $I^-$ ; б)  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $K^+$ ; в)  $Li^+$ ;  $Na^+$ ,  $K^+$ ;  
г)  $SO_4^{2-}$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $Cl^-$ ; д)  $Al^{3+}$ ,  $Na^+$ ,  $Th^{4+}$ .
50. Аддитивность при коагуляции смесью электролитов проявляется в следующем:  
а) коагулирующая способность определяется действием только одного электролита;  
б) коагулирующие способности электролитов суммируются;  
в) коагулирующая способность смеси электролитов меньше, чем каждого электролита отдельно;  
г) коагулирующая способность смеси электролитов больше, чем каждого электролита отдельно;  
д) коагулирующие способности не зависят друг от друга.



51. Антагонизм при коагуляции смесью электролитов обусловлен фактором:
- а) коагулирующие способности не зависят друг от друга;
  - б) коагулирующая способность смеси электролитов больше, чем каждого электролита отдельно;
  - в) коагулирующая способность смеси электролитов меньше, чем каждого электролита отдельно;
  - г) коагулирующая способность электролитов суммируется;
  - д) коагулирующая способность определяется действием только одного электролита.
52. Синергизму при коагуляции смесью электролитов соответствует фактор:
- а) коагулирующие способности электролитов суммируются;
  - б) коагулирующие способности не зависят друг от друга;
  - в) коагулирующая способность смеси электролитов больше, чем каждого электролита отдельно;
  - г) коагулирующая способность определяется действием только одного электролита;
  - д) коагулирующая способность смеси электролитов меньше, чем каждого электролита отдельно.
53. Чередования зон устойчивого и неустойчивого состояния золь при коагуляции электролитами обусловлены причиной:
- а) чередованием высоких и низких температур;
  - б) разбавлением и концентрированием растворов;
  - в) введением индифферентного электролита, расширением и сжатием диффузного слоя;
  - г) введением неиндифферентного электролита с многозарядным ионом и перезарядкой поверхности коллоидных частиц;
  - д) введением индифферентного электролита и перемешиванием раствора.
54. Гетерокоагуляции соответствует механизм:
- а) слипание однородных частиц одного размера;
  - б) слипание разнородных частиц разного размера;
  - в) слипание однородных частиц, но с противоположным знаком;
  - г) отталкивание однородных частиц;
  - д) прилипание частиц к чужеродной твердой поверхности.
55. Гетероадагуляция обусловлена фактором:
- а) прилипанием частиц к чужеродной твердой поверхности;
  - б) отталкиванием однородных частиц;
  - в) слипанием однородных частиц, но с противоположным знаком;
  - г) слипанием разнородных частиц;
  - д) слипанием однородных частиц.



56. Взаимной коагуляции соответствует явление:
- а) отталкивание однородных частиц с одинаковым зарядом;
  - б) слипание однородных частиц, но с противоположным знаком;
  - в) прилипание частиц к чужеродной твердой поверхности;
  - г) слипание однородных частиц разного размера;
  - д) слипание разнородных частиц одинакового размера.
57. По величине золотого защитного числа наиболее эффективным стабилизатором для золя является ВМВ:
- а) крахмал (20); б) декстрин (30); в) сапонины (45);
  - г) казеинат натрия (0,1); д) желатин (0,01).
58. Стабилизирующее действие ПАВ или ВМВ для дисперсных систем обусловлено причиной:
- а) сжатием диффузного слоя и увеличением  $\zeta$ -потенциала;
  - б) десорбцией потенциалопределяющих ионов и увеличением  $\phi^0$ -потенциала;
  - в) сообщением частице электрического заряда и электростатическим расталкиванием между частицами;
  - г) образованием адсорбционного сольватного слоя на поверхности частицы и созданием расклинивающего давления при контакте частиц;
  - д) созданием структурно-механического барьера за счет адсорбции на поверхности частицы.
59. Стабилизирующее действие электролита для дисперсных систем проявляется в следующем:
- а) создании структурно-механического барьера и лиофилизации частиц;
  - б) образовании адсорбционного сольватного слоя на поверхности частиц и создании расклинивающего давления при контакте частиц;
  - в) образовании ДЭС с одноименным зарядом на частицах и электростатическим расталкиванием между частицами;
  - г) десорбции потенциалопределяющих ионов с поверхности частиц и увеличении  $\phi^0$ -потенциала;
  - д) сжатии диффузного слоя и увеличении  $\zeta$ -потенциала частиц.
60. Энтропийный фактор устойчивости дисперсной системы обусловлен фактором:
- а) образованием ДЭС на поверхности частиц;
  - б) интенсивным броуновским движением;
  - в) изменением свойств дисперсионной среды и системы в целом;
  - г) образованием адсорбционных слоев на поверхности частиц;
  - д) образованием сольватных слоев на частицах и ионах в ДЭС.



61. Ограниченно набухает ВМВ:
- а) резина в воде;
  - б) крахмал в бензоле;
  - в) полиэтилен в воде;
  - г) резина в бензоле;
  - д) крахмал в горячей воде.
62. Неограниченно набухает ВМВ:
- а) каучук в бензоле;
  - б) полиэтилен в воде;
  - в) резина в воде;
  - г) крахмал в холодной воде;
  - д) каучук в ацетоне.
63. Для процесса набухания ВМВ справедливы соотношения:
- а)  $\Delta S \gg 0$ ;  $\Delta G < 0$ ;
  - б)  $\Delta S < 0$ ;  $\Delta G < 0$ ;
  - в)  $\Delta H > 0$ ;  $\Delta S < 0$ ;
  - г)  $\Delta S \ll 0$ ;  $\Delta G > 0$ ;
  - д)  $\Delta H < 0$ ;  $\Delta S \ll 0$ .
64. Мембранное равновесие Доннана выражается уравнением:
- а)  $C(1) (C(1) + X) = C(2) (C(2) - X)$ ;
  - б)  $(C(1) + X)X = C(2) (C(2) - X)$ ;
  - в)  $C(1)X = (C(2) - X) (C(2) - X)$ ;
  - г)  $(C(1) + X)X = (C(2) - X) (C(2) - X)$ ;
  - д)  $(C(1) - X)X = C(2) (C(2) + X)$ .
65. Изoeлектрической точке белка соответствуют все три свойства:
- а) хорошая растворимость; высокая электрическая проводимость; высокое значение вязкости;
  - б) большая степень набухания; хорошая растворимость; низкое значение вязкости;
  - в) малая степень набухания; высокая электрическая проводимость; хорошая растворимость;
  - г) малая растворимость; высокое значение вязкости; низкая электрическая проводимость;
  - д) малая степень набухания; низкое значение вязкости; плохая растворимость.



### III. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

Предлагаемые методические указания к лабораторным работам сопровождаются кратким теоретическим введением со ссылками на теоретические основы (раздел I) и другую учебную литературу, подробной методикой выполнения и оформления работы в алгоритмизированной форме, рекомендациями к выводам по работе. Ответы на предлагаемые в конце каждой работы контрольные вопросы позволят лучше осмыслить результаты сделанной работы и глубже усвоить изученный теоретический материал.

#### **РАБОТА 1. ПОЛУЧЕНИЕ ЗОЛЯ И ЕГО КАЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

**Цель работы:** получить золь, определить заряд коллоидных частиц, написать формулу мицеллы, исследовать оптические свойства золя и оценить устойчивость его во времени.

**Методы исследования:** электрофорез, бумажная хроматография, визуальные методы наблюдения оптических свойств и устойчивости золя.

**Приборы и оборудование:** выпрямитель тока; прибор для наблюдения конуса Тиндаля; электролитическая ячейка в виде U-образной трубки с графитовыми электродами.

**Посуда:** мерный цилиндр на 50 мл; мерная пробирка или цилиндр на 10 мл; мерная пипетка на 1 мл; коническая колба на 50 или 100 мл; кювета с плоскопараллельными гранями толщиной 10, 20 или 40 мм.

**Реактивы:** водные растворы веществ в соответствии с вариантом индивидуального задания (табл. 5).

#### **1. КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

Золь, или коллоидный раствор – это один из видов дисперсных систем, характеризующийся определенным набором общих параметров (см. рис. 1) и классификационных признаков (см. рис. 2).

**Коллоидными системами** называют высокодисперсные гетерогенные системы, содержащие в виде дисперсной фазы коллоидные частицы, равномерно распределенные в дисперсионной среде.

**Гетерогенность системы** обусловлена тем, что вещество дисперсной фазы нерастворимо в дисперсионной среде, например в воде, находится в ней в виде коллоидных частиц с определенной степенью дисперсности. Эти гетерогенные системы характеризуются большой площадью общей поверхности раздела фаз, избыточной поверхностной энергией и термодинамической неустойчивостью, т. е. самопроизвольным укрупнением частиц во времени.

Равномерное распределение этих частиц возможно только при наличии стабилизатора на их поверхности.

Способность системы сохранять во времени постоянную дисперсность (размер частиц) принято называть агрегативной устойчивостью системы, а способность сохранять равномерное распределение частиц в объеме дисперсионной среды – кинетической устойчивостью (см. рис. 10).

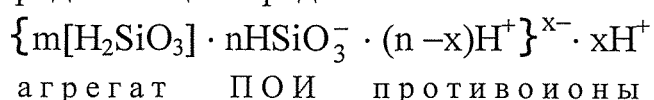
Получение коллоидных систем состоит, прежде всего, в достижении необходимой дисперсности частиц дисперсной фазы в заданной дисперсионной среде. Согласно термодинамическим условиям (см. рис. 3) коллоидные системы получают тремя путями:

- методами конденсации, т. е. объединения молекул или ионов в частицы коллоидной степени дисперсности при протекании химических реакций осаждения (химическая конденсация) или при создании условий, приводящих к уменьшению растворимости вещества (физическая конденсация);
- методами диспергирования, т. е. раздробления крупных частиц до более мелких частиц механическими или физическими способами;
- методами пептизации, т. е. перевода свежесоздаваемых частиц коллоидной степени дисперсности в дисперсионную среду под действием пептизатора (электролита, ПАВ, ВМВ или дисперсионной среды), стабилизирующего частицы.

Если дисперсионной средой является вода, то системы называют гидрозолями или просто золями, в которых стабилизатором являются ионы электролита. В зависимости от условий получения и ионного состава раствора у поверхности частиц дисперсной фазы создается двойной электрический слой (ДЭС) из потенциалопределяющих ионов (ПОИ) и противоионов (см. рис. 4, 7). В коллоидном растворе образуются электронейтральные мицеллы, включающие:

- агрегат, содержащий молекулы нерастворимого вещества;
- ПОИ, адсорбирующиеся на поверхности агрегата (по правилу Панета-Фаянса ПОИ могут быть те ионы, которые способны достраивать кристаллическую решетку агрегата), или те ионы, которые остаются в агрегате при диссоциации поверхностных молекул, например,  $\text{HSiO}_3^-$ ;
- противоионы, противоположные по заряду ПОИ, располагаются в адсорбционном и диффузном слоях.

Коллоидная частица (гранула) состоит из агрегата, ПОИ и противоионов в адсорбционном слое; заряд частицы определяют ПОИ:



При пропускании постоянного электрического тока через золь наблюдается движение коллоидных частиц: у одного из электродов раствор мутнеет в результате притяжения и последующей электрокоагуляции частиц, а у другого раствор становится более прозрачным за счет отталкивания частиц. Время появления таких изменений зависит от концентрации золя, размера и заряда частиц, величины напряжения на электродах. Процесс перемещения частиц дис-



персной фазы относительно дисперсионной среды в электрическом поле, создаваемом постоянным электрическим током, называется электрофорезом (см. табл. 1), который является одним из электрокинетических свойств дисперсных систем, используемых для определения электрокинетического потенциала и имеющих большое практическое значение (см. рис. 9).

Основные методы исследования дисперсных систем основаны на их молекулярно-кинетических и оптических свойствах (см. рис. 8).

При нарушении устойчивости коллоидной системы визуально можно наблюдать увеличение мутности, образование крупных частиц в объеме раствора, выпадение осадка (седиментацию) или изменение распределения частиц по высоте. Если таких изменений в золе нет, значит, система устойчива. При длительном хранении в коллоидном растворе может самопроизвольно произойти укрупнение частиц и выпадение их в осадок – это спонтанная коагуляция (см. рис. 11).

Основными оптическими свойствами высокодисперсных систем являются абсорбция (поглощение) и рассеяние (дифракция) света (см. рис. 6). Окрашенные системы поглощают видимый свет (400–750 нм). В низкодисперсных системах происходит отражение и преломление света частицами, визуальным проявлением является мутность. В коллоидных растворах происходит светорассеяние за счет дифракции света. Визуальными проявлениями светорассеяния являются опалесценция и конус Тиндаля. Для веществ в коллоидном состоянии характерны более интенсивная окраска, полихромия, т. е. зависимость цвета от размера частиц, и дихроизм, т. е. различие окраски бесцветного золя при рассмотрении его в проходящем и рассеянном свете.

## 2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

2.1. Получите гидрозоль (золь) в соответствии с вариантом задания (см. табл. 5).

В чистую колбу на 50–100 мл влейте растворы в той последовательности, которая указана в задании. Последний раствор приливайте по каплям и при интенсивном перемешивании содержимого колбы. Перемешивание приводит к увеличению числа центров кристаллизации, благодаря чему получают частицы малых размеров. Признаками получения золя являются изменение цвета раствора, полное исчезновение окраски исходных веществ, опалесценция или небольшое помутнение.

Т а б л и ц а 5

*Варианты заданий к лабораторной работе 1*

Вариант	Золь	Реактивы
1	AgBr	40 мл 0,005 М AgNO <sub>3</sub> + 10 мл 0,005 М KBr
2	AgBr	40 мл 0,005 М KBr + 10 мл 0,005 М AgNO <sub>3</sub>
3	Fe(OH) <sub>3</sub>	50 мл H <sub>2</sub> O, нагретой до кипения, + 1 мл насыщ. р-ра FeCl <sub>3</sub>



Вариант	Золь	Реактивы
4	Серы (S)	50 мл 0,05 М $\text{H}_2\text{SO}_4$ + 10 мл 0,05 М $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
5	$\text{CaCO}_3$	50 мл насыщ. р-ра $\text{Ca}(\text{OH})_2$ + $\text{CO}_2(\text{г})$ , полученный в аппарате Н. В. Разумова, до слабого помутнения
6	Канифоли ( $\text{RCOOH}$ )	50 мл $\text{H}_2\text{O}$ + 0,2 мл насыщ. спиртового р-ра канифоли
7	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	50 мл 20 %-ного р-ра $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ + 8 мл 1 %-ного р-ра $\text{FeCl}_3$
8	$\text{Co}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	50 мл 0,1 %-ного р-ра $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ + 6 мл 0,1 %-ного р-ра $\text{CoSO}_4$
9	$\text{AgI}$	40 мл 0,005 М $\text{KI}$ + 10 мл 0,005 М $\text{AgNO}_3$
10	$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$	50 мл $\text{H}_2\text{O}$ + 5 мл 0,1 %-ного р-ра $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ + 0,1 мл насыщ. р-ра $\text{FeCl}_3$
11	$\text{AgI}$	40 мл 0,005 М $\text{AgNO}_3$ + 10 мл 0,005 М $\text{KI}$
12	$\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$	50 мл 2 %-ного р-ра $\text{FeCl}_3$ + 1 мл 0,1 %-ного р-ра $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$
13	$\text{AgCl}$	40 мл 0,005 М $\text{KCl}$ + 10 мл 0,005 М $\text{AgNO}_3$
14	$\text{Cu}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	40 мл 20 %-ного р-ра $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ + 10 мл 0,1 %-ного р-ра $\text{CuSO}_4$
15	$\text{AgCl}$	40 мл 0,005 М $\text{AgNO}_3$ + 10 мл 0,005 М $\text{KCl}$
16	$\text{MnO}_2$	50 мл $\text{H}_2\text{O}$ + 5 мл 1 %-ного р-ра $\text{KMnO}_4$ + 2 мл 1 %-ного р-ра $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
17	$\text{Al}(\text{OH})_3$	50 мл $\text{H}_2\text{O}$ + 1 мл 20 %-ного р-ра $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ + 6 мл 1 %-ного р-ра $\text{AlCl}_3$
18	$\text{MnO}_2$	50 мл $\text{H}_2\text{O}$ + 5 мл 1 %-ного $\text{KMnO}_4$ + по каплям 1 %-ный р-р $\text{H}_2\text{O}_2$ до полного изменения цвета р-ра
19	Парафина	50 мл $\text{H}_2\text{O}$ + 10 мл спиртового р-ра парафина
20	$\text{Cr}(\text{OH})_3$	50 мл $\text{H}_2\text{O}$ + 1 мл 20 %-ного р-ра $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ + 3 мл 15 %-ного р-ра $\text{CrCl}_3$
21	$\text{FePO}_4$	50 мл $\text{H}_2\text{O}$ + 5 мл насыщ. р-ра $\text{FeCl}_3$ + 2 мл 2 %-ного р-ра $\text{CH}_3\text{COONa}$ + по каплям 10 %-ный р-р $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ до помутнения
22	$\text{Ag}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	40 мл 2 %-ного р-ра $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ + 4 мл 0,005 М $\text{AgNO}_3$
23	$\text{AlPO}_4$	50 мл $\text{H}_2\text{O}$ + 3 мл 30 %-ного р-ра $\text{AlCl}_3$ + 2 мл 2 %-ного р-ра $\text{CH}_3\text{COONa}$ + по каплям 10 %-ный р-р $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ до помутнения
24	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	20 мл $\text{H}_2\text{O}$ + 2 мл насыщ. р-ра $\text{FeCl}_3$ + 25 мл 20 %-ного р-ра $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$
25	$\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$	50 мл $\text{H}_2\text{O}$ + 10 мл 0,2 %-ного р-ра $\text{PbCl}_2$ + 1 капля 10 %-ного р-ра $\text{Na}_2\text{HPO}_4$



Если полученная система является мутной, т. е. наряду с золей получилась низкодисперсная система, то раствор необходимо либо разбавить, т. е. пептизировать осадок, либо отфильтровать, либо повторить опыт.

Сильно окрашенные системы необходимо разбавить в 2–3 раза, потом – исследовать.

2.2. Исследуйте полученный золь при разных способах рассмотрения:

- в проходящем свете, т. е. в направлении на источник света, например на окно;

- в рассеянном свете, т. е. при боковом освещении, перпендикулярном направлению рассмотрения золя.

Отметьте, наблюдаются ли явления опалесценции, является ли золь прозрачным, слабомутным или мутным, имеются ли взвешенные частицы в объеме золя или произошла их седиментация.

Укажите цвет золя, обратите внимание на интенсивность окраски и изменения в цвете при разных способах рассмотрения.

2.3. Налейте золь в кювету соответствующей толщины, поместите ее в прибор для наблюдения конуса Тиндаля.

Оцените способность золя рассеивать свет: виден световой луч или нет, след луча прямой или конусообразный.

2.4. Определите заряд частиц золя методом бумажной хроматографии, если золь интенсивно окрашен, или методом электрофореза, если золь бесцветный или является слабоокрашенным.

**Метод бумажной хроматографии.** В центр фильтровальной бумаги, которая отрицательно заряжена, внесите 1–2 капли золя и наблюдайте за растеканием капли: если окрашенные частицы остаются в центре, а бесцветная дисперсионная среда перемещается к краям бумаги, то частицы положительно заряжены; в противном случае частицы заряжены отрицательно.

**Метод электрофореза.** Влейте золь в U-образную трубку (на  $\frac{1}{2}$  высоты), погрузите графитовые электроды, предварительно промытые в дистиллированной воде и осушенные фильтровальной бумагой, подключите их к выпрямителю, установите напряжение 120 или 240 В и наблюдайте за изменениями у электродов. Если помутнение, вызванное притяжением частиц, сильнее у анода (+), то частицы – отрицательные, если у катода (–), то частицы – положительные. Частицы могут отталкиваться от одноименно заряженных электродов и тогда около их поверхности происходит осветление золя; частицы заряжены положительно (+), если осветление около анода и отрицательно (–), если осветление около катода.

2.5. Оцените устойчивость золя во времени по изменению его мутности и цвета, по образованию и седиментации осадка в момент приготовления, в конце занятия и через неделю.

2.6. Внесите результаты качественной характеристики полученного золя в табл. 6.



*Экспериментальные данные исследования  
гидрозоля*

Свойство	Характеристика свойства	Метод определения
1. Оптические свойства золя 1.1. Прозрачность или мутность 1.2. Опалесценция: - цвет золя в проходящем свете - цвет золя в рассеянном свете 1.3. Конус Тиндаля 1.4. Окраска золя 2. Заряд частиц в золе 3. Устойчивость золя: - в момент приготовления - в конце занятия - через неделю		

### 3. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

3.1. Напишите уравнение химической реакции или схему процесса получения золя.

3.2. Определите вещество, образующее агрегат мицеллы, и ионный состав раствора, выберите, какие ионы будут ПОИ, а какие – противоионы.

3.3. Напишите формулу мицеллы и укажите ее составные части.

3.4. Укажите, какие видимые изменения происходят в золе с течением времени.

### 4. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

4.1. Назовите метод получения золя.

4.2. Определите тип золя по всем классификационным признакам дисперсных систем.

4.3. Перечислите визуальные признаки, подтверждающие образование золя.

4.4. Перечислите, какими молекулярно-кинетическими, оптическими и электрокинетическими свойствами обладает золь.

4.5. Оцените устойчивость золя и возможность его спонтанной коагуляции.

### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие системы называют дисперсными?
2. Почему золь можно назвать дисперсной системой?
3. Какими методами получают дисперсные системы?



4. Какова сущность каждого метода получения дисперсных систем?
5. Какие признаки характерны для дисперсных систем?
6. Почему дисперсные системы термодинамически неустойчивы?
7. При каких условиях получается устойчивая дисперсная система?
8. Какие критерии и параметры характеризуют дисперсную систему?
9. Чем дисперсная система с жидкой дисперсионной средой отличается от истинного раствора?
10. Что такое мицелла и каково ее строение?
11. Можно ли объекты окружающей среды (атмосферу, почву, природные воды и т. д.) считать дисперсными системами?
12. Какими методами можно подтвердить факт получения дисперсной системы?
13. По каким признакам классифицируют дисперсные системы?
14. Каковы пути образования заряда на коллоидных частицах?
15. Как располагаются противоионы в мицеллах?
16. Какими оптическими свойствами обладают золи?
17. Какими молекулярно-кинетическими свойствами обладают золи?
18. Какова сущность агрегативной и кинетической устойчивости?
19. Какими электрокинетическими свойствами обладают дисперсные системы?
20. Какими методами можно очистить золь?
21. Какими методами можно исследовать золи?

## **РАБОТА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ КОАГУЛЯЦИИ ЛИОФОБНЫХ ЗОЛЕЙ ЭЛЕКТРОЛИТАМИ**

**Цель работы:** изучить условия коагуляции и устойчивости лиофобного золя, определить пороги коагуляции золя электролитами.

**Методы исследования:** визуальное наблюдение; фотоэлектроколориметрия.

**Приборы и оборудование:** фотоэлектроколориметр КФК-1,2; титровальная установка.

**Посуда:** конические колбы на 50 и 100 мл; пробирки; мерный цилиндр на 50 мл; мерная пробирка на 10 мл; мерная пипетка на 1 или 2 мл; бюретка на 25 мл.

**Реактивы:** растворы электролитов-коагуляторов: 2-молярные растворы  $KCl$ ,  $NaCl$ ,  $KNO_3$ ,  $NaNO_3$ ; растворы  $K_2SO_4$ ,  $Na_2SO_4$ ,  $Ba(NO_3)_2$ ,  $BaCl_2$  с молярной концентрацией  $C_M = 0,5$  моль/л; растворы  $AlCl_3$ ,  $Al(NO_3)_3$ ,  $Na_3PO_4$ ,  $K_3[Fe(CN)_6]$  с концентрацией  $C_M = 0,05$  моль/л; раствор  $K_4[Fe(CN)_6]$  с концентрацией  $C_M = 0,005$  моль/л.



## 1. КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Дисперсные системы, обладающие большим запасом свободной поверхностной энергии, самопроизвольно разрушаются во времени (см. табл. 2, рис. 11).

В лиофобных золях чаще всего протекает коагуляция – процесс укрупнения частиц за счет их слипания под действием различных факторов. При этом нарушается агрегативная устойчивость, которая, как правило, сопровождается нарушением и кинетической устойчивости (см. рис. 10).

Чаще всего коагуляцию лиофобных золей вызывают электролиты, изменяющие энергию взаимодействия между коллоидными частицами (см. рис. 12). В соответствии с теорией ДЛФО электролиты по влиянию на строение ДЭС в мицелле, заряд коллоидных частиц и величину электрокинетического потенциала подразделяются на индифферентные и неиндифферентные. Минимальная концентрация электролита, при которой начинает происходить коагуляция с заметной скоростью, называется порогом коагуляции  $C_k$ .

Все электролиты вызывают коагуляцию золей. Однако ионы в растворе электролита обладают разной коагулирующей способностью; только один из них называют ионом-коагулятором. Коагуляцию золей с положительно заряженными частицами вызывают анионы-коагуляторы, а золей с отрицательно заряженными частицами – катионы-коагуляторы. Скорость коагуляции лиофобных золей растет с увеличением коагулирующей способности иона-коагулятора (см. рис. 13). Коагулирующее действие органических ионов сильнее, чем неорганических, но также возрастает с увеличением их размера и заряда.

Таким образом, коагуляция золя под действием электролита начинается при концентрациях, равных порогу коагуляции или выше него, сопровождается уменьшением величины заряда коллоидной частицы (по модулю) и стремлением величины электрокинетического потенциала к своему критическому значению ( $\pm 0,030$  В).

Протекание электролитной коагуляции золя зависит от многих факторов (см. рис. 13, 14), которые следует учитывать при обсуждении результатов исследования. Например, использование золя, предварительно не очищенного от электролита, добавление электролита к золю разными порциями, непостоянство времени между введением электролита и началом наблюдения коагуляции, изменение рН среды и т. д. могут привести к отклонению полученных экспериментальных данных от эмпирических или теоретических закономерностей.

Для изучения коагуляционных процессов исследуют любые изменения в состоянии коллоидного раствора: например, рассеяние света, изменение цвета, вязкости, мутности, скорости седиментации, структуры осадка или других свойств. Количественными параметрами электролитной коагуляции золей могут быть: время появления любого из вышеперечисленных признаков, порог коагуляции, характер зависимости оптической плотности, вязкости, интенсив-



ности рассеяния света, скорости седиментации при разрушении золя или другой измеряемой величины от концентрации введенного электролита.

## 2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Для исследования процесса коагуляции под действием растворов электролитов, представленных в разделе «Реактивы», выберите те, которые содержат ион-коагулятор заданного золя.

*Помните, что основанием для выбора иона электролита является заряд коллоидных частиц в заданном золе.*

Предлагается несколько вариантов выполнения лабораторной работы, отличающихся своими задачами.

### Вариант 1. Исследование коагуляции золя электролитами

2.1.1. Используйте золь, полученный в работе 1, если в нем не произошла спонтанная коагуляция при хранении, или вновь получите не менее 50 мл золя, в соответствии с вариантом (работа 1, табл. 5).

2.1.2. Определите заряд коллоидных частиц в исследуемом золе.

2.1.3. Определите ион-коагулятор и выберите три раствора электролита (растворы солей), отвечающие требованиям:

- электролит является индифферентным (рис. 12);
- ионы-коагуляторы в выбранных электролитах отличаются друг от друга величинами заряда или радиуса;
- второй ион в молекулах выбранных электролитов должен быть одинаковым.

2.1.4. Изучите влияние солей на устойчивость и коагуляцию золя, для чего:

- возьмите три чистые пробирки примерно одинакового диаметра и налейте в них по 5 мл золя (объем золя –  $V_z$ );
- из бюретки по каплям в первую пробирку с золем добавьте один из выбранных растворов до появления помутнения в растворе (признаков коагуляции), определите объем раствора соли и внесите его в табл. 7;
- аналогично определите объемы второго и третьего растворов электролитов, необходимые для начала коагуляции золя во второй и третьей пробирках, и внесите их в табл. 7.
- сделайте повторные опыты с целью получения более точных объемов электролитов;
- рассчитайте среднее значение объема для каждого электролита  $V_{эл}$  и внесите его значение в табл. 7.

*Примечание:* если при добавлении 5 мл электролита признаков коагуляции не наблюдается, добавление электролита прекратить. Для дальнейшего (приближенного) расчёта порога коагуляции объём электролита  $V_{эл}$  считать равным 5 мл.



## Экспериментальные и расчётные данные (вариант 1)

Золь \_\_\_\_\_ Заряд частицы \_\_\_\_\_

Электролит-коагулятор				Ион-коагулятор	
Формула соли	Концентрация раствора $C_{эл}$ , моль/л	Объём $V_{эл}$ , мл	Порог коагуляции $C_{к(эл)}$ , моль/л	Формула иона	Порог коагуляции $C_{к(иона)}$ , моль/л
1.					
2.					
3.					

## 3.1. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

3.1.1. Укажите, какие свойства исследуемого золя изменились под действием электролитов.

3.1.2. Рассчитайте и внесите в табл. 7 порог коагуляции  $C_{к(эл)}$  исследуемого золя ( $V_3 = 5$  мл) по формуле

$$C_{к(эл)} = \frac{C_{эл} \cdot V_{эл}}{V_3 + V_{эл}}.$$

**Примечание:** Молекула каждой из рекомендуемых солей содержит один ион коагулятора, поэтому  $C_{к(иона)} = C_{к(эл)}$ .

3.1.3. Рассчитайте соотношение порогов коагуляции ионов в зависимости от заряда  $Z$  иона:  $Z = 1$ ,  $Z = 2$ ,  $Z = 3$  по формуле

$$C_{к}(Z=1) : C_{к}(Z=2) : C_{к}(Z=3) = \frac{C_{к}(Z=1)}{C_{к}(Z=1)} : \frac{C_{к}(Z=2)}{C_{к}(Z=1)} : \frac{C_{к}(Z=3)}{C_{к}(Z=1)}.$$

3.1.4. Изобразите схему строения мицеллы и покажите, какие изменения происходят в ней под действием электролита.

3.1.5. Оцените устойчивость золя в присутствии электролитов.

## 4.1. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

4.1.1. Определите тип коагуляции.

4.1.2. Укажите, как изменяется агрегативная и кинетическая устойчивость золя под действием электролитов.

4.1.3. Дайте сравнительную характеристику коагулирующего действия ионов на золь и определите, согласуются ли рассчитанные пороги коагуляции ионов с теоретическими закономерностями (см. рис. 13).

4.1.4. Оцените эффективность действия электролитов-коагуляторов на коагуляцию и устойчивость исследуемого золя.



## Вариант 2. Исследование коагуляции золя электролитами, содержащими ионы-коагуляторы разных зарядов

2.2.1. Используйте золь, полученный в работе 1, или приготовьте его снова в соответствии с вариантом (работа 1, табл. 5). Необходимо получить не менее 100 мл золя, который при наличии взвешенных частиц следует отфильтровать.

2.2.2. Определите заряд коллоидных частиц в золе.

2.2.3. Выберите электролиты, содержащие ионы-коагуляторы с зарядом 1, 2 и 3, из растворов, представленных на с. 48 «Реактивы».

2.2.4. Подготовьте 30 пробирок примерно одинакового диаметра, установите в штатив в три ряда и пронумеруйте от 1 до 10 в каждом ряду.

2.2.5. Влейте из бюретки по 3 мл золя в каждую пробирку.

2.2.6. В первые 10 пробирок добавьте к золю из бюретки воду и электролит с однозарядным ионом-коагулятором, во вторые 10 пробирок – воду и электролит с двухзарядным ионом-коагулятором, в третьи 10 пробирок – воду и электролит с трехзарядным ионом-коагулятором в объемах, указанных в табл. 8. Пробирки закройте пробками и содержимое перемешайте.

Таблица 8

*Объемы растворов в пробирках*

Объем раствора (воды), мл	Номер пробирки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Золь	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Вода	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8	0,6	0,4	0,2	0
Раствор электролита	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8
Общий объем полученного золя	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8

Таблица 9

*Результаты визуальных наблюдений (вариант 2)*

Формула электролита	Концентрация электролита $C_{эл}$ , моль/л	Время действия электролита	Изменения в пробирках									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.	2,0	20 мин										
		24 ч										
		Порог коагуляции $C_k(Z = 1) =$										
2.	0,5	20 мин										
		24 ч										
		Порог коагуляции $C_k(Z = 2) =$										
3.	0,05	20 мин										
		24 ч										
		Порог коагуляции $C_k(Z = 3) =$										

2.2.7. Через 20 мин после смешивания растворов отметьте визуальные изменения в состоянии золя в пробирках и занесите результаты наблюдений в табл. 9 следующим образом: ос – осадок, м – помутнение, ц – изменение цвета. Если изменений нет, то в этой клетке таблицы ничего не пишете, т. е. золь в соответствующей пробирке не коагулирует.

2.2.8. Через сутки вновь проверьте состояние золя в пробирках, и результаты наблюдений также занесите в ту же табл. 9.

## 3.2. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

3.2.1. Укажите, какие свойства золя изменяются под действием электролитов.

3.2.2. Выберите две рядом расположенные пробирки, в одной из которых с концентрацией  $C_1$  еще нет коагуляции, а в другой – с концентрацией  $C_2$  уже есть признаки коагуляции. Рассчитайте эти концентрации по формулам

$$C_1 = \frac{C_{\text{эл}} \cdot V_{\text{эл}}(1)}{V_3}; \quad C_2 = \frac{C_{\text{эл}} \cdot V_{\text{эл}}(2)}{V_3},$$

где  $C_{\text{эл}}$  – концентрация электролита, моль/л;

$V_3$  – общий объем полученного золя: 4,8 мл;

$V_{\text{эл}}(1)$  и  $V_{\text{эл}}(2)$  – объемы электролита в пробирке без коагуляции и в пробирке с признаками коагуляции, мл.

3.2.3. Рассчитайте порог коагуляции электролита  $C_K$  по формуле

$$C_K(\text{эл}) = \frac{C_1 + C_2}{2} = C_K(\text{иона})$$

3.2.4. Рассчитайте соотношения порогов коагуляции золя электролитами, содержащими ионы-коагуляторы разных зарядов по формуле

$$C_K(Z=1) : C_K(Z=2) : C_K(Z=3) = \frac{C_K(Z=1)}{C_K(Z=1)} : \frac{C_K(Z=2)}{C_K(Z=1)} : \frac{C_K(Z=3)}{C_K(Z=1)}.$$

3.2.5. Рассчитайте коагулирующую способность  $1/C_K$  ионов-коагуляторов и расположите ионы в порядке увеличения коагулирующего действия на золь.

3.2.6. Изобразите схему строения мицеллы и покажите, какие изменения происходят в ней под действием электролитов.

3.2.7. Оцените влияние электролитов на время коагуляции золя.

## 4.2. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

4.2.1. Определите тип коагуляции золя.

4.2.2. Оцените влияние заряда иона-коагулятора на порог коагуляции, на коагулирующую способность иона, на скорость процесса.

4.2.3. Проверьте, подчиняется ли действие ионов-коагуляторов правилу Шульца-Гарди и теории ДЛФО.

4.2.4. Объясните, наблюдалось ли явление чередования зон устойчивости и коагуляции.



4.2.5. Укажите причины коагуляции под действием электролитов, изобразите схему строения мицеллы и покажите, какие изменения происходят в ней под действием электролита.

### Вариант 3. Исследование зон коагуляции и зон устойчивости лиофобного золя методом фотоэлектроколориметрии

2.3.1. Получите бесцветный лиофобный золь объемом не менее 50 мл по заданию преподавателя.

2.3.2. Определите заряд коллоидных частиц в золе (см. работу 1, п. 2.4).

2.3.3. Выберите индифферентный электролит, содержащий трех- или четырехзарядный ион-коагулятор, или неиндифферентный электролит.

2.3.4. Приготовьте 10 пробирок, пронумеруйте их, влейте в каждую из них по 5 мл исходного раствора золя  $V_0(з)$  и дистиллированную воду в объемах, указанных в табл. 10.

Т а б л и ц а 10

Экспериментальные и расчетные данные (вариант 3)

Золь \_\_\_\_\_ Электролит – коагулятор \_\_\_\_\_

№ пробирки	$V_0(з)$ , мл	Объем воды $V_{H_2O}$ , мл	Исходный раствор электролита		Исследуемый раствор золя с электролитом		Оптическая плотность $A$ (Д)	Пропускание света $T$ , %	$\tau_z$	$lgC_{эл}$
			$V_0(эл)$ , мл	$C_0(эл)$ , моль/л	$V_3$ , мл	$C_{эл}$ , моль/л				
1	5	1	0	0,0005	6	0				
2	5	0,7	0,3	0,0005	6	$2,5 \cdot 10^{-5}$				
3	5	0,4	0,6	0,0005	6	$5,0 \cdot 10^{-5}$				
4	5	0	1,0	0,0005	6	$8,3 \cdot 10^{-5}$				
5	5	0,7	0,3	0,005	6	$2,5 \cdot 10^{-4}$				
6	5	0,4	0,6	0,005	6	$5,0 \cdot 10^{-4}$				
7	5	0	1,0	0,005	6	$8,3 \cdot 10^{-4}$				
8	5	0,7	0,3	0,05	6	$2,5 \cdot 10^{-3}$				
9	5	0,4	0,6	0,05	6	$5,0 \cdot 10^{-3}$				
10	5	0	1,0	0,05	6	$8,3 \cdot 10^{-3}$				

**Примечание:** Исследуемый раствор золя получают смешиванием воды и исходных растворов золя и электролита:  $V_3 = 5 + V_{H_2O} + V_0(эл) = 6$  мл.

2.3.5. Приготовьте в мерных колбах растворы электролита с концентрацией 0,05; 0,005 и 0,0005 моль/л, добавьте каждый раствор в пробирку с золем непосредственно перед измерением с помощью пипетки на 1–2 мл в соответствии с данными табл. 10. Раствор в пробирке перемешайте, налейте в кювету и измерьте оптическую плотность  $A$  и светопропускание  $T$ .





**Помните:**

1. Необходимо ознакомиться с инструкцией работы на фотоэлектроколориметре.
2. Время между вливанием электролита в золь и измерением оптической плотности и светопропускания должно быть одинаковым, примерно равным 5 мин.
3. Измерения выполняют на одном фотоколориметре, в одной и той же кювете, при одной длине волны проходящего света.
4. Устанавливают длину волны  $\lambda = 440$  нм или  $\lambda = 490$  нм для бесцветного золя.
5. Кюветы выбирают такой толщины, чтобы оптическая плотность раствора была в пределах 0,05–1,0; кювету необходимо промыть небольшим количеством исследуемого раствора и только потом заполнить до метки тем же раствором.
6. Раствором сравнения является дисперсионная среда, т. е. дистиллированная вода.

### 3.3. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

3.3.1. Вычислите мутность золя по формуле

$$\tau_z = \frac{2,3 \cdot A}{l},$$

где  $\tau_z$  – мутность золя, появившаяся через 5 мин после внесения электролита;  $A$  – оптическая плотность золя;  $l$  – толщина кюветы, см.

3.3.2. Постройте график зависимости  $\tau_z$  от логарифма концентрации электролита в золе:  $\tau_z - \lg C_{\text{эл}}$ . Отметьте на графике зоны устойчивости и коагуляции.

3.3.3. Постройте график зависимости пропускания света  $T$  от  $\lg C_{\text{эл}}$  и отметьте зоны устойчивости и зоны коагуляции.

3.3.4. Напишите формулу мицеллы для всех зон устойчивости и зон коагуляции.

### 4.3. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

4.3.1. Укажите причины появления зон устойчивости и зон коагуляции (неправильных рядов) золя под действием электролита.

4.3.2. Объясните характер взаимодействия частиц по мере увеличения концентрации электролита-коагулятора.

4.3.3. Охарактеризуйте изменение величин заряда и электрокинетического потенциала частиц в золе.

4.3.4. Определите область концентрации электролита, в которой золь устойчив, и укажите, как это связано с порогом коагуляции.

### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы причины устойчивости дисперсных систем?
2. Какие силы действуют между коллоидными частицами?
3. Какие известны методы разрушения дисперсных систем?
4. На какие виды подразделяется коагуляция?
5. Чем отличается скрытая коагуляция от явной коагуляции?



6. Какие факторы вызывают коагуляцию дисперсных систем?
7. Какой бывает коагуляция по скорости протекания?
8. Как изменяется энергия взаимодействия частиц при их сближении?
9. Какую коагуляцию называют электролитной?
10. Что произойдет при приливании золя с положительными частицами к золю с отрицательными частицами?
11. Какие процессы протекают в золе при помещении его в электрическое поле?
12. Под действием каких электролитов протекает нейтрализационная коагуляция? К каким изменениям в системе она приводит?
13. Какие ионы вызывают концентрационную коагуляцию? Что при этом происходит в системе?
14. Что называют порогом коагуляции?
15. Какие характеристики электролита влияют на порог коагуляции?
16. Молекулы или ионы электролита вызывают коагуляцию?
17. Каковы принципы выбора электролита-коагулятора?
18. Каковы особенности коагуляции золя под действием многозарядных ионов?
19. Изменяется ли коагулирующая способность ионов, если воздействовать на систему двумя электролитами сразу?
20. Каковы причины привыкания золя к электролиту?
21. Что такое коллоидная защита золя?
22. По каким изменениям в золе можно сказать, что коагуляция началась?
23. Какой свет бесцветный золь рассеивает сильнее – синий или красный?
24. Что значит «изучение коагуляции золя»?
25. Какие методы используют для изучения коагуляции?

### ***РАБОТА 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СРЕДНЕГО РАЗМЕРА ЧАСТИЦ В БЕСЦВЕТНОМ ЗОЛЕ***

**Цель работы:** изучить зависимость оптической плотности и светопропускания бесцветного золя от длины волны падающего света и концентрации золя. Определить средний размер частиц и установить влияние концентрации золя на размер частиц.

**Метод исследования:** турбидиметрия.

**Приборы и оборудование:** фотозлектроколориметр с набором кювет.

**Посуда:** коническая колба на 25–30 мл; мерная пипетка на 25 мл;  
градуированная пипетка на 10 мл; 3 мерные колбы на 25–50 мл.

**Реактивы:** растворы, необходимые для получения бесцветного золя (варианты заданий к работе 1, табл. 5); жидкость для протирания кювет.

**Рекомендуемые бесцветные золи:** золь серы, золь канифоли, золь парафина, золь фосфата алюминия, золь гидроксида алюминия, золи галогенидов серебра: хлорида, бромида и иодида серебра.



## 1. КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Метод анализа, основанный на измерении интенсивности светового потока  $I_n$ , проходящего через бесцветную дисперсную систему, называется турбидиметрией (см. рис. 8). Уменьшение интенсивности прошедшего через бесцветный коллоидный раствор света будет вызвано исключительно за счет светорассеяния. Рассеянный свет можно считать фиктивно поглощенным и принять, что закономерности рассеяния света подчиняются закону Бугера – Ламберта – Бера (см. рис. 6):

$$I_n = I_0 \cdot e^{-A l C} = I_0 \cdot e^{-\tau l},$$

где  $I_n$  – интенсивность прошедшего через коллоидный раствор света;

$I_0$  – интенсивность падающего света;

$A$  – молярный коэффициент светорассеяния;

$l$  – толщина слоя коллоидного раствора;

$C$  – концентрация коллоидного раствора;

$\tau$  – мутность.

В практике фотоэлектроколориметрии (турбидиметрии) обычно измеряют оптическую плотность  $A$  (исторически сложившееся обозначение  $D$ ) или светопропускание  $T$ .

$$A = \ln \frac{I_0}{I_n}, \quad T = \frac{I_n}{I_0}.$$

Через оптическую плотность уравнение Бугера – Ламберта – Бера можно записать в виде

$$A = A l C = \tau l.$$

Интенсивность света  $I_p$ , рассеиваемого сферическими частицами в неметаллических бесцветных золях, подчиняется уравнению Рэлея (см. рис. 6):

$$I_p = I_0 \cdot B \frac{v V_0^2}{\lambda^x},$$

где  $I_0$  – интенсивность падающего света;

$B$  – коэффициент, зависящий от показателей преломления дисперсионной среды и дисперсной фазы;

$v$  – частичная (численная) концентрация;

$V_0$  – объем частицы;

$\lambda$  – длина волны падающего света;

$x$  – коэффициент, изменяющийся от 1 до 4 и зависящий от размера частиц дисперсной фазы.

Интенсивность светорассеяния зависит от размера частиц  $d$ , следовательно, молярный коэффициент светорассеяния  $A$  также зависит от размера частиц. В соответствии с уравнениями Рэлея и Бугера – Ламберта – Бера Геллер предложил эмпирическое уравнение

$$I_{\pi} = I_0 \cdot e^{\frac{-K'1C}{\lambda^x}}$$

Через оптическую плотность уравнение Геллера будет иметь вид

$$A = \frac{2,3K'1C}{\lambda^x} \text{ или } A = K \cdot \lambda^{-x},$$

где  $K'$ ,  $K$  – константы в уравнении Геллера, не зависящие от длины волны.

Для определения размера частиц необходимо определить показатель степени  $x$  в уравнении Геллера, которое можно преобразовать в уравнение прямой линии

$$\lg A = \lg K - x \lg \lambda.$$

Величину  $x$  находят графически как тангенс угла наклона прямой, построенной в координатах  $\lg A - \lg \lambda$ . Значения кажущихся оптических плотностей  $A$  для бесцветного золя при различных длинах волн  $\lambda$  в видимой области спектра определяют экспериментально методом турбидиметрии. Если принять форму частиц сферической, то для определения диаметра частиц можно воспользоваться эмпирической зависимостью  $x = f(d)$  (рис. 23).

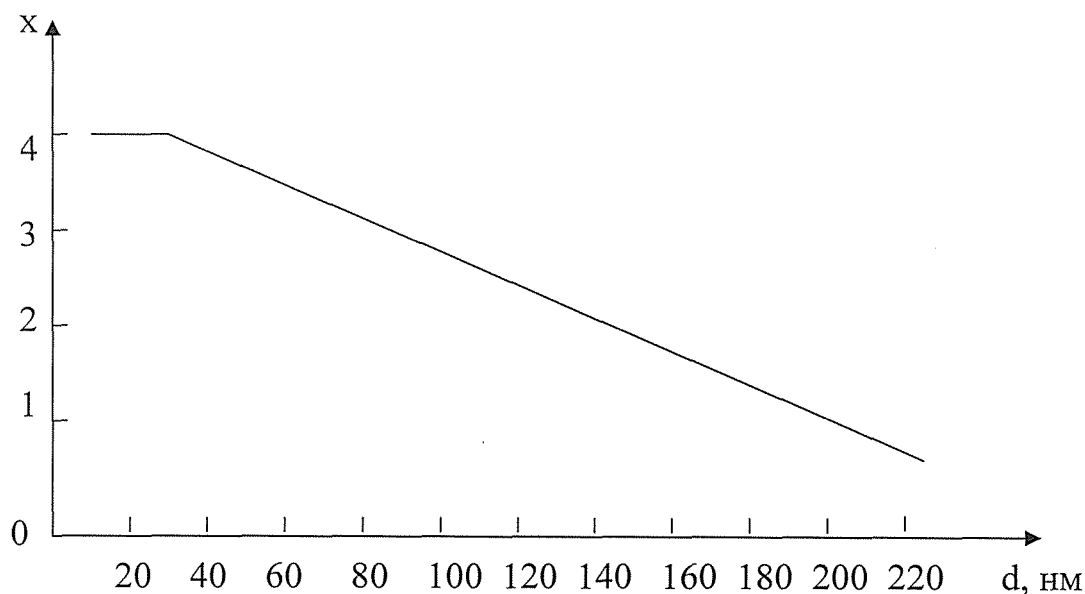


Рис. 23. Зависимость показателя степени  $x$  в уравнении Геллера от диаметра частиц дисперсной фазы

Для проведения турбидиметрического анализа необходимо соблюдать определенные условия.

1. Коллоидный раствор (золь) должен быть бесцветным, прозрачным, разбавленным.
2. Готовить золь необходимо непосредственно перед анализом.

3. Необходимо строго соблюдать методику получения золя, только в этом случае размеры частиц получаются практически одинаковыми, что обуславливает воспроизводимость оптических свойств.

4. Коллоидный раствор должен быть устойчивым во времени, т. е. не должен разрушаться (мутнеть) в течение анализа.

## 2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

2.1. Получите бесцветный золь (вариант задания выдается преподавателем) по методике, описанной в работе 1 (табл. 5).

2.2. Приготовьте еще три золя на основе полученного золя методом двойного разбавления. Таким методом получают золи с концентрациями  $C$ ,  $\frac{1}{2}C$ ,  $\frac{1}{4}C$ ,  $\frac{1}{8}C$ .

Т а б л и ц а 11

*Экспериментальные и расчетные данные  
для определения размера частиц в бесцветном золе \_\_\_\_\_*

Кон- цен- трация золя $C$	Длина волны $\lambda$ , нм	Оптиче- ская плот- ность $A$	Светопр- пускание $T$ , %	Светорас- сеяние $100 - T$ , %	$\lg A$	$\lg \lambda$	$x$	Диаметр частицы $d$ , нм
$C$	420							
	440							
	450							
	.							
	и т. д.							
$\frac{1}{2} C$	420							
	440							
	450							
	.							
	и т. д.							
$\frac{1}{4} C$	420							
	440							
	450							
	.							
	и т. д.							
$\frac{1}{8} C$	420							
	440							
	450							
	.							
	и т. д.							





2.3. Ознакомьтесь с инструкцией работы на фотоэлектроколориметре.

2.4. Приступите к работе на фотоэлектроколориметре.

Для выбора толщины кюветы при проведении турбидиметрического анализа измерьте оптическую плотность золя с наибольшей концентрацией в кюветках разной толщины. Выберите кювету такой толщины, при которой в коротковолновой области оптическая плотность будет равна 0,4–1,0, а светопропускание не менее 10–40 %. При необходимости золь следует разбавить.

2.5. Измерьте оптическую плотность и светопропускание для каждого золя при длинах волн 420 и более, полученные данные запишите в табл. 11.

### 3. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

3.1. Постройте для всех концентраций золя спектральные кривые, т. е. графики в координатах  $A - \lambda$ ,  $(100 - T) - \lambda$  и график зависимости  $A - C$  при заданном значении  $\lambda$ .

3.2. Постройте графики в координатах  $\lg A - \lg \lambda$  для всех концентраций золя и определите  $x$  как тангенс угла наклона прямых.

3.3. Определите средний диаметр частиц для золь с каждой концентрацией по величине  $x$  (см. зависимость на рис. 23).

3.4. Полученные данные внесите в табл. 11.

### 4. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

4.1. Проанализируйте полученные графические зависимости  $A - \lambda$ ;  $(100 - T) - \lambda$ ;  $A - C$  ( $\lambda = \text{const}$ ). Определите, как влияет длина волны на оптическую плотность и светорассеяние, как влияет концентрация золя на оптическую плотность. Сопоставьте полученные результаты с уравнениями Рэлея и Бугера – Ламберта – Бера.

4.2. По размеру частиц определите тип исследуемой дисперсной системы (см. рис. 2).

4.3. Определите, как влияет разбавление золя на оптическую плотность и размер частиц.

### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие оптические свойства наблюдаются при падении луча света на дисперсную систему: истинный раствор, золь, грубодисперсную систему? Какие методы исследования дисперсных систем основаны на этих свойствах?
2. В чем сущность опалесценции и конуса Тиндаля (эффекта Тиндаля)?
3. Какое уравнение лежит в основе теории светорассеяния, каковы границы его применимости?
4. Как влияет размер частиц на интенсивность светорассеяния?
5. Как влияет концентрация золя на интенсивность светорассеяния?

6. Почему красный свет используют для сигнализации, а синий – для светомаскировки?
7. Что называют оптической плотностью и светопропусканием раствора?
8. Каково математическое выражение основного закона светопоглощения Бугера – Ламберта – Бера и каковы границы его применимости?
9. В какой форме применяют закон Бугера – Ламберта – Бера к окрашенным и бесцветным золям? Что такое мутность раствора?
10. Какой метод анализа называют турбидиметрией?
11. Какой прибор используют для проведения турбидиметрического анализа?
12. Как определяют размер частиц турбидиметрией?
13. В какой области спектра будет наблюдаться наибольшее светорассеяние бесцветного золя?
14. Почему оптическую плотность, измеренную для бесцветных золь, называют кажущейся?
15. Какие еще оптические методы исследования используют для определения размеров частиц дисперсных систем? Укажите границы применимости (по дисперсности) этих методов.
16. В чем сущность нефелометрии?

#### **РАБОТА 4. ПОЛУЧЕНИЕ ПЕНЫ И ИЗУЧЕНИЕ ЕЕ УСТОЙЧИВОСТИ**

**Цель работы:** получить пену, определить ее основные характеристики, изучить влияние ПАВ, высокомолекулярных веществ или электролитов на ее устойчивость.

**Методы исследования:** визуальное наблюдение..

**Приборы и оборудование:** секундомер; весы; линейка.

**Посуда:** мерные цилиндры с притертыми пробками на 50 мл – 5 шт.;

мерная колба на 50 мл – 1 шт.; конические колбы на 50 мл – 5 шт.;

мерная пипетка на 25 мл.

**Реактивы:** поверхностно-активные вещества (ПАВ): олеат натрия, стеарат натрия, пальмитат натрия, жидкое мыло, сульфолон и др. ПАВ; 1,5 % (мас) раствор желатина; 0,1 М раствор KCl.

#### **1. КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

Пенами называют грубодисперсные системы, в которых газообразная дисперсная фаза в виде ячеек из воздуха, CO<sub>2</sub>, другого газа распределена в жидкой или твердой дисперсионной среде, находящейся в виде тонких пленок (см. рис. 2, 21).

Как и все дисперсные системы, пены получают методами диспергирования или конденсации (см. рис. 3). Методом диспергирования пены получают посредством перемешивания или барботирования газов в жидкость. Конденсационный метод основан на изменении физического состояния раствора (при по-



вышении температуры раствора или уменьшении внешнего давления), приводящего к пересыщению его газом или химической реакции с выделением газа.

Агрегативная устойчивость пен характеризуется скоростью укрупнения частиц дисперсной фазы за счет коалесценции и изотермической перегонки (см. рис. 11). Стабилизация пен достигается с помощью поверхностно-активных веществ (ПАВ). В зависимости от природы ПАВ и свойств, образуемых ими адсорбционных слоев, устойчивость пен обуславливается действием общих для дисперсных систем факторов стабилизации: ионно-электростатического, структурно-механического и др. (см. рис. 10), а также характерным для пен и эмульсий эффектом Гиббса – Марангони.

Устойчивость пен зависит от прочности их пленочного каркаса. Пены с твердыми пленками (пенопласт, пенобетоны и др.) обычно устойчивы и могут существовать практически неограниченное время. Пены с жидкими пленками, как правило, неустойчивы и очень быстро разрушаются.

Кроме ПАВ для стабилизации пен с жидкой дисперсионной средой используют такие вещества, которые обуславливают структурно-механические свойства пленок, придавая им гелеобразную структуру (высокомолекулярные вещества), или формируют ионно-электростатический барьер (электролиты).

Разрушение пены происходит по трем механизмам:

а) вытекание жидкости из пены (синерезис), обуславливающее утончение пленок без изменения объема пены; б) укрупнение больших ячеек пены и исчезновение маленьких из-за диффузии газа через пленки; в) разрыв пленок, приводящий к разрушению пены. Преобладание одного или другого механизма зависит от многих факторов.

К основным характеристикам пены обычно относят следующие параметры:

1. Объем пены  $V_{\text{п}}$ , получаемой из определенного объема жидкости  $V_{\text{ж}}$ .

2. Кратность пены  $\beta$  – отношение объема пены к объему жидкости, пошедшей на образование пены:

$$\beta = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{ж}}}.$$

3. Кинетическая устойчивость (стабильность) пены, характеризуемая временем самопроизвольного разрушения пены на половину объема  $t_{\frac{1}{2}}$  или полного разрушения пены  $t_{\text{п}}$ .

4. Дисперсность пены – распределение пузырьков по размерам или средний размер пузырьков (экспериментально наиболее трудно определяемая величина).

Пенообразование может быть нежелательным в производственных процессах, например при перемешивании и выпаривании растворов и т. д.

Разрушать пены или препятствовать их образованию можно введением таких веществ, которые в достаточной мере поверхностно-активны, но не образуют прочных адсорбционных слоев. Молекулы этих веществ, проникая в адсорбционный слой пленок пены, делают их менее прочными и таким образом

способствуют разрыву стенок пузырьков пены. К числу таких веществ (пеногасителей или антивспенивателей) относят спирты, кетоны (ацетон), жиры, масла, воски и многие другие поверхностно-активные органические вещества. Существуют также механические, термические, ультразвуковые и другие способы пеногашения.

Практическое значение процессов пенообразования достаточно велико (см. табл. 4). Их используют в процессах флотации, стирки, при интенсификации производственных процессов, например для удаления примесей ПАВ из некоторых жидкостей, при тушении пожаров, в пищевой, косметической и фармацевтической промышленности.

## 2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

2.1. Возьмите 50 мл водного раствора ПАВ, заданного преподавателем.

2.2. Приготовьте в мерной колбе на 50 мл из заданного раствора ПАВ методом двойного разбавления растворы ПАВ с концентрациями (г/л): 4,0; 2,0; 1,0; 0,5; 0,25. Растворы поместите в конические колбы на 50 мл.

2.3. Отберите пипеткой 10 мл каждого раствора и осторожно по внутренней поверхности цилиндров влейте их в 5 одинаковых цилиндров с притертыми пробками емкостью 50 мл так, чтобы над раствором практически не было пены.

2.4. Измерьте линейкой высоту раствора  $h_{0(ж)}$  до пенообразования.

2.5. Закройте цилиндры пробками и интенсивно встряхивайте раствор ПАВ последовательно в каждом цилиндре (не менее 30 раз). Затем пробки убедите и до конца измерений оставьте цилиндры открытыми.

2.6. Измерьте линейкой высоту раствора  $h_{(ж)}$  сразу после образования пены.

2.7. Измеряйте линейкой в каждом цилиндре высоту пены  $h_{п}$ , находящейся в равновесии с раствором сразу после окончания встряхивания, а затем через 2, 5, 10 и т. д. мин до периода полураспада пены  $t_{\frac{1}{2}}$ , т. е. времени, когда высота пены уменьшится наполовину. Измерения делайте последовательно во всех цилиндрах.

***Обращайте внимание на размер и форму пузырьков пены в течение всего времени измерений.***

2.8. После окончания измерения времени разрушения пены внесите в каждый цилиндр по 0,2 мл 1,5 %-ного раствора желатина или 0,2 мл 0,1 М раствора KCl (по указанию преподавателя), растворы тщательно перемешайте. Измерьте высоту раствора  $h_{(ж)}$  сразу после перемешивания и далее через разные промежутки времени измеряйте линейкой в каждом цилиндре высоту пены  $h_{п}$  до  $t_{\frac{1}{2}}$  (как в п. 2.7.).

2.9. Полученные данные внесите в табл. 12.

*Экспериментальные и расчетные данные исследования пен  
Пенообразователь ПАВ*

Концен- трация ПАВ С <sub>ПАВ</sub> , г/л	Время t, мин	Водный раствор ПАВ				Водный раствор ПАВ + желатин (KCl)			
		Вы- сота пены h <sub>п</sub> , мм	Высота раствора		Крат- ность пены β	Высо- та пе- ны h <sub>п</sub> , мм	Высота раствора		Крат- ность пены β
			h <sub>0(ж)</sub> , мм	h <sub>(ж)</sub> , мм			h <sub>0(ж)</sub> , мм	h <sub>(ж)</sub> , мм	
4	0								
	2								
	5								
	10								
	15								
	·								
	·								
	t <sub>½</sub>								
2	0								
	2								
	5								
	10								
	15								
	·								
	·								
	t ½								
1	0								
	2								
	5								
	10								
	15								
	·								
	·								
	t <sub>½</sub>								
0,5	0								
	2								
	5								
	10								
	15								
	·								
	·								
	t <sub>½</sub>								
0,25	0								
	2								
	5								
	10								
	15								
	·								
	·								
	t ½								





### 3. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

3.1. Рассчитайте кратность пены  $\beta$  в начальный момент времени, принимая, что в условиях проведения опыта высота пропорциональна объему, по формуле

$$\beta = \frac{h_{\text{п}}}{h_{0(\text{ж})} - h_{\text{ж}}}$$

для каждого раствора ПАВ без добавки и с добавкой желатина (KCl).

3.2. Постройте кинетические кривые разрушения пены в координатах: высота пены  $h_{\text{п}}$  от времени  $t$  для каждого раствора ПАВ.

3.3. Постройте графики зависимости высоты пены в начальный момент времени от концентрации ПАВ для водного раствора без добавки и с добавкой желатина или KCl.

3.4. Постройте графики зависимости времени самопроизвольного разрушения пены на половину высоты  $t_{1/2}$  от концентрации ПАВ для двух изученных вариантов.

3.5. Постройте графики зависимости кратности пены  $\beta$  от концентрации ПАВ для двух изученных вариантов.

### 4. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

4.1. Назовите метод получения пены.

4.2. Укажите, является пена монодисперсной или полидисперсной системой, используя данные визуального наблюдения.

4.3. Проанализируйте полученные графические зависимости и определите, как изменяется высота пены от времени; как влияет концентрация ПАВ на высоту пены  $h_{\text{п}}$ , кратность пены  $\beta$ , время разрушения пены на половину высоты  $t_{1/2}$ .

4.4. Оцените пенообразующую способность изучаемого ПАВ, сделайте предположение о механизме его стабилизирующего действия.

4.5. Оцените влияние желатина (хлорида калия) на пенообразующую способность ПАВ.

### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие дисперсные системы называют пенами? Дайте характеристику пен по всем классификационным признакам дисперсных систем.
2. Какими методами получают пены?
3. Какие виды устойчивости дисперсных систем характерны для пен?
4. В чем заключаются особенности стабилизации пен?
5. Какова роль ПАВ в процессе образования пен?
6. Как влияет природа и концентрация ПАВ на устойчивость пен?

7. Какими параметрами характеризуют устойчивость пен?
8. Как изучают процесс пенообразования?
9. Чем обусловлена агрегативная неустойчивость лиофобных дисперсных систем?
10. Каковы механизмы разрушения пен?
11. Где используются пены?
12. В каких случаях пены вредны?
13. Какие вещества используют в качестве пеногасителей и антивспенивателей, каков механизм их действия?

## **РАБОТА 5. ПОЛУЧЕНИЕ СУСПЕНЗИИ И ИЗУЧЕНИЕ ЕЕ УСТОЙЧИВОСТИ**

**Цель работы:** получить суспензии, изучить кинетику седиментации, оценить влияние стабилизатора на их кинетическую устойчивость.

**Методы исследования:** визуальное наблюдение; электрофорез.

**Приборы и оборудование:** выпрямитель тока; микроскоп; весы; электролитическая ячейка в виде U-образной стеклянной трубки с графитовыми электродами; линейка.

**Посуда:** цилиндры на 50 мл с притертыми пробками – 5 шт.

**Реактивы:** порошки: глина, сульфаты бария и кальция, карбонаты кальция, магния и бария, шлак; поверхностно-активные вещества (ПАВ): олеат натрия, пальмитат натрия и др.; 0,1 М растворы электролитов хлоридов натрия, кальция, магния и алюминия, сульфата и фосфата натрия; 0,2 % (мас) раствор желатина.

### **1. КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

Суспензиями называют грубодисперсные системы с жидкой дисперсионной средой и твердой дисперсной фазой с размерами частиц  $10^{-6}$ – $10^{-4}$  м (см. рис. 2). Системы с наиболее крупными частицами называют взвесями. Способы получения и стабилизации суспензий те же, что и для большинства дисперсных систем (см. рис. 3, 10). Агрегативная устойчивость суспензий – это способность суспензии сохранять неизменным размер частиц (см. рис. 10). Частицы суспензии, как и частицы лиофобных коллоидов, имеют на поверхности двойной электрический слой (см. рис. 7), сольватную или адсорбционно-сольватную оболочку.

Отличие суспензий от коллоидных растворов проявляется в оптических (см. рис. 6) и молекулярно-кинетических свойствах (см. рис. 5). Суспензии могут одновременно поглощать, преломлять и отражать свет. В отличие от опалесцирующих золь суспензии проявляют мутность не только при боковом освещении (эффект Тиндаля), но и в проходящем свете. Суспензии способны проявлять двойное лучепреломление в потоке.

Суспензии практически не обнаруживают осмотического давления, броуновского движения и диффузии. Поскольку частицы суспензий обладают сравнительно большими размерами (они видимы в микроскоп и даже невооруженным глазом), суспензии седиментационно неустойчивы.

Кинетическая устойчивость суспензий, как и других дисперсных систем, характеризуется равномерным распределением частиц дисперсной фазы в объеме дисперсионной среды. Её нарушение обусловлено седиментацией частиц, т. е. оседанием частиц действием силы тяжести (см. рис. 5). При столкновении частицы могут слипаться в агрегаты различных размеров, что приводит к неравномерному распределению частиц дисперсной фазы по высоте  $h$ . Распределение частиц фазы по высоте  $h$  – мера кинетической устойчивости суспензии. Следить за скоростью седиментации можно по изменению высоты  $h$  суспензии во времени. Высоту  $h$  суспензии измеряют расстоянием от границы между прозрачной и мутной частями системы и дном сосуда, в котором находится суспензия. Измерения следует проводить до постоянной величины  $h_{\infty}$ .

Стабилизацию суспензий (см. рис. 10) можно проводить как электролитами, так и растворами поверхностно-активных веществ (ПАВ) и высокомолекулярных веществ (ВМВ).

Для суспензий характерен ряд процессов, не свойственных коллоидным системам: флотация, фильтрация и кольматация. В основе флотации лежит избирательное смачивание гидрофильных и гидрофобных твердых тел. Явление флотации хорошо описано в литературе [1–3]. Фильтрация через пористые мембраны приводит к разделению суспензий на твердую и жидкую фазы. Фильтрация является сложным физико-химическим процессом, на который влияют все факторы, управляющие агрегированием частиц и развитием коагуляционных структур. Кольматацией называют процесс, используемый для уменьшения водопроницаемости различных гидротехнических сооружений – дамб, плотин и др. – путем «вмывания» мельчайших глинистых или илистых частиц в поры грунта для их закупоривания.

Высококонцентрированные агрегативно устойчивые суспензии называют пастами (см. рис. 21). Вследствие малой процентной доли дисперсионной среды в пастах практически вся она связана в сольватных пленках, разделяющих частицы. Отсутствие свободной жидкой фазы придает таким системам высокую вязкость и некоторую механическую прочность. За счет многочисленных контактов между частицами в пастах может идти образование пространственных структур (см. рис. 16) и наблюдается явление тиксотропии (см. рис. 17).

Суспензии имеют исключительно большое значение в природе и технике (см. табл. 4). К ним относятся при достаточном содержании влаги почвы, грунты, глиняное тесто в керамическом производстве, цементные и известковые растворы в строительном деле. Суспензиями являются взвеси пигментов в масляных красках, цветных лаках, взвеси графита и угля, используемые для создания центров кристаллизации с целью предотвращения образования накипи в котлах, и т. д. Многие косметические и фармацевтические препараты также являются суспензиями.

## 2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

2.1. Приготовьте пять суспензий. Типы дисперсионных сред (табл. 13) и дисперсная фаза (порошок) для приготовления суспензии задаются преподавателем.

Налейте в цилиндры с притертыми пробками по 50 мл дисперсионной среды в виде воды или водного раствора стабилизатора в соответствии с вариантом задания.

На часовых стеклах приготовьте пять навесок по 5–10 г порошка и высыпьте в цилиндры с дисперсионной средой.

2.2. После приготовления заданной серии суспензий цилиндры плотно закройте пробками и тщательно перемешайте (лучше механическим путем) до получения однородных систем, затем пробки уберите.

2.3. Поставьте цилиндры в ряд и измеряйте линейкой высоты  $h$  суспензии через определенные промежутки времени до тех пор, пока высота  $h$  суспензии не перестанет изменяться (достигнет предельного значения  $h_{\infty}$ ).

Полученные экспериментальные данные занесите в табл. 14.

2.4. Определите формы частиц суспензий с помощью микроскопа, зарисуйте их.

2.5. Определите знак заряда частиц суспензий в каждом цилиндре методом электрофореза (работа 1, п. 2.4).

2.6. Постройте кривые кинетики седиментации в координатах  $h - t$ . Определите скорости седиментации в разные промежутки времени методом графического дифференцирования ( $v = \Delta h / \Delta t$ ).

Таблица 13

Типы дисперсионных сред для приготовления суспензий  
ПАВ \_\_\_\_\_

Вариант	№ цилиндра				
	1	2	3	4	5
1	H <sub>2</sub> O	Раствор ПАВ (4 г/л)	Раствор ПАВ (2 г/л)	Раствор ПАВ (1 г/л)	Раствор ПАВ (0,5 г/л)
2	H <sub>2</sub> O	0,2 % раствор желатина	0,1 % раствор желатина	0,05 % раствор желатина	0,025 % раствор желатина
3	H <sub>2</sub> O	0,02 % раствор ПАВ	0,2 % раствор желатина	0,1 М раствор NaCl	0,1 М раствор AlCl <sub>3</sub>
4	H <sub>2</sub> O	0,1 М раствор NaCl	0,1 М раствор MgCl <sub>2</sub>	0,1 М раствор AlCl <sub>3</sub>	0,2 % раствор ПАВ
5	H <sub>2</sub> O	0,1 М раствор NaCl	0,1 М раствор Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,1 М раствор Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	0,2 % раствор желатина



Экспериментальные данные по изучению кинетики седиментации суспензий

Порошкообразное вещество \_\_\_\_\_. Дисперсионные среды (вариант \_\_\_\_\_)

Время от начала опыта $t$ , мин	Высота суспензии $h$ , мм (в пронумерованном цилиндре)				
	1	2	3	4	5
0,5					
1					
2					
5					
10					
20					
·					
·					
·					
$\infty$					

### 3. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

3.1. Назовите метод получения суспензий.

3.2. Укажите, используя данные визуального наблюдения полученных осадков и частиц в микроскопе, является суспензия монодисперсной или полидисперсной системой.

3.3. Сравните, как изменяется скорость седиментации во времени в каждой суспензии.

3.4. Оцените и сравните кинетическую устойчивость всех исследованных суспензий и объясните причину их поведения по виду седиментационной кривой, предельной высоте  $h_{\infty}$  суспензии, мутности системы после исследования.

3.5. Охарактеризуйте стабилизирующую способность каждого из веществ, находящегося в водном растворе дисперсионной среды, сделайте предположение о механизме их стабилизирующего действия.

3.6. Оцените влияние концентрации ПАВ или ВМВ, заряда иона электролита (в соответствии с вариантом задания) на кинетическую устойчивости суспензий.

### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие дисперсные системы называют суспензиями? Дайте характеристику суспензий по всем классификационным признакам дисперсных систем.
2. Какими методами получают суспензии?
3. Чем обусловлены агрегативная и кинетическая устойчивости суспензий?
4. Как стабилизируют суспензии?
5. Какие оптические свойства характерны для суспензий?
6. Какие молекулярно-кинетические свойства характерны для суспензий?





7. Какие электрокинетические свойства характерны для суспензий?
8. Что такое флотация?
9. Что такое фильтрация и коагуляция?
10. Что такое седиментация?
11. Как протекает седиментация агрегативно устойчивых и неустойчивых суспензий?
12. Что такое пасты и какие свойства для них характерны?
13. Где применяют суспензии?

## **РАБОТА 6. ПОЛУЧЕНИЕ ЭМУЛЬСИЙ И ИЗУЧЕНИЕ ИХ СВОЙСТВ**

**Цель работы:** получить эмульсию, определить ее тип, устойчивость, изучить некоторые свойства, определить возможность обращения фаз эмульсии.

**Методы исследования:** визуальное наблюдение; микроскопия; электрофорез.

**Приборы и оборудование:** микроскоп; выпрямитель тока; электролитическая ячейка в виде U-образной стеклянной трубки с графитовыми электродами.

**Посуда:** конические колбы с пробками на 50 мл – 8 шт.; конические колбы с пробками на 100 мл – 2 шт.; мерная колба на 50 мл – 1 шт.; бюретка на 25 мл; градуированные пипетки на 5–10 мл; цилиндры на 50 мл; предметные стекла; пробирки.

**Реактивы:** поверхностно-активные вещества: 0,01 М растворы олеата натрия, пальмитата натрия, стеарата натрия др., 2 %-ный раствор олеата натрия; органические жидкости: толуол, ксилол, растительное масло; 2 %-ные спиртовые или ацетоновые растворы подсолнечного, соевого, оливкового масла и др.; электролиты: 0,01 М раствор  $\text{CaCl}_2$ , 0,1 М раствор  $\text{NaCl}$ ; 0,05 М растворы  $\text{MgSO}_4$ ; красители: метиленовый синий (голубой), судан III.

### **1. КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

Эмульсиями называют свободно-дисперсные лиофобные системы (за исключением «критических» эмульсий), в которых дисперсионная среда и дисперсная фаза являются жидкостями (не смешивающимися или ограниченно смешивающимися) (см. рис. 2). Размер капель жидкости дисперсной фазы изменяется от  $10^{-7}$  м до видимых невооруженным глазом. Неполярную жидкость в эмульсии условно называют «маслом», а полярную – «водой».

Различают два основных типа эмульсий: дисперсии масла в воде (М/В) и дисперсии воды в масле (В/М). Первые относятся к эмульсиям прямого типа (эмульсии I рода), вторые – к эмульсиям обратного типа (эмульсии II рода).

В зависимости от содержания дисперсной фазы (см. рис. 21) эмульсии классифицируют на разбавленные (содержание дисперсной фазы  $\phi$  не более

0,1 % от объема эмульсии), концентрированные (ф до 74 % (об)) и высококонцентрированные (ф выше 74 % (об)). От концентрации дисперсной фазы зависят многие основные свойства эмульсий; устойчивость, методы их стабилизации и др.

Эмульсии можно получать методами конденсации (замена растворителя) и диспергирования (см. рис. 3). Наибольшее практическое значение имеют методы диспергирования – механическое диспергирование двух жидкостей в присутствии эмульгатора путем встряхивания, перемешивания, вибрационного воздействия с применением специальных приспособлений.

Эмульсии, как и другие грубодисперсные системы (см. рис. 21), весьма неустойчивы. Потеря их агрегативной устойчивости может быть обусловлена процессами изотермической перегонки или коалесценции капель (см. рис. 11) и обычно сопровождается расслаиванием системы на две фазы.

В качестве меры устойчивости эмульсии можно принять время существования определенного объема эмульсии до полного ее расслоения или существования отдельных капелек в контакте друг с другом или с межфазной поверхностью.

Устойчивость эмульсии повышают введением в систему стабилизатора (эмульгатора), в качестве которого можно использовать электролиты, ПАВ (поверхностно-активные вещества) и ВМВ (высокомолекулярные вещества), порошкообразные вещества. Агрегативная устойчивость эмульсии определяется теми же факторами, которые обуславливают устойчивость к коагуляции других лиофобных дисперсных систем (см. рис. 10).

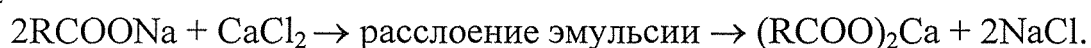
Механизм стабилизирующего действия эмульгаторов различен, однако имеются общие закономерности, характеризующиеся правилом Банкрофта. Прямые эмульсии типа М/В стабилизируют гидрофильные эмульгаторы. К ним относят: ПАВ (мыла щелочных металлов), лучше растворяющиеся в воде, чем в масле; порошки, избирательно смачиваемые водой (мел, глины, гипс); электролиты. Обратные эмульсии типа В/М стабилизируют гидрофобные эмульгаторы. К ним относят: ПАВ (мыла щелочно-земельных и поливалентных металлов), лучше растворимые в масле, чем в воде; порошки, избирательно смачиваемые маслом (графит, угли, сажа, канифоль). Согласно правилу Банкрофта молекулы или частицы эмульгатора должны располагаться преимущественно со стороны дисперсионной среды, т. е. главным образом на наружной поверхности капель эмульсии.

Наибольшее стабилизирующее действие оказывают коллоидные ПАВ и ВМВ. Способность эмульгатора обеспечивать устойчивость эмульсии того или иного типа определяется энергетикой взаимодействия его с полярной или неполярной средами, которая может быть охарактеризована при помощи полуэмпирической характеристики – числа гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ) ПАВ. Эмульгаторы ПАВ с низкими значениями ГЛБ (2–6) лучше растворимы в органических средах и стабилизируют эмульсии В/М, ПАВ с высокими значениями ГЛБ (12–18) лучше растворяются в воде и стабилизируют эмульсии М/В.

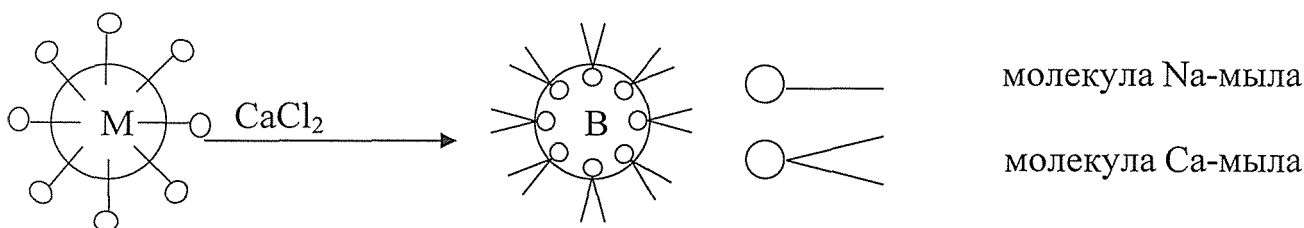
Многие высокомолекулярные вещества (желатин, сапонины, поливиниловые спирты) также являются эффективными стабилизаторами эмульсий. Структура защитных слоев представляет собой трехмерные сетки, расположенные всегда со стороны дисперсионной среды, что соответствует правилу Банкрофта. Гомогенные сетчатые структуры прочны и не разрушаются при разбавлении эмульсий и удалении дисперсионной среды, т. е. обеспечивают мощный структурно-механический барьер.

Эмульсии прямого типа могут переходить в эмульсии обратного типа и наоборот. Это явление называют обращением фаз эмульсий.

Практически обращение фаз эмульсий можно вызвать разными способами: изменением соотношения объемов фаз, перенесением эмульсии в сосуд из другого материала и др. Наиболее эффективным методом является изменение природы эмульгатора путем воздействия на него химического реагента. Например, разрушении эмульсии прямого типа, стабилизированной олеатом натрия (Na-мыло), и переходе ее в эмульсию обратного типа при добавлении раствора  $\text{CaCl}_2$ :



Типичный эмульгатор для эмульсий прямого типа (Na-мыло) переходит в эмульгатор для эмульсий обратного типа (Ca-мыло)



На практике тип эмульсий можно определить разными методами:

1. По смачиваемости гидрофильной фильтровальной бумаги, которую эмульсия типа М/В смачивает и легко впитывается с образованием мокрого пятна, а эмульсия В/М не смачивает.
2. По слиянию капли эмульсии с каплей воды: в случае эмульсии М/В происходит слияние капель, а в случае эмульсии В/М – нет слияния.
3. По величине электрической проводимости: у эмульсии М/В она значительно больше, чем у эмульсии В/М.
4. По типу красителя: водорастворимый (например, метиленовый синий или голубой) или жирорастворимый (например, судан III). В присутствии метиленового синего в эмульсии М/В под микроскопом видны светлые капли масла на синем фоне воды, а в эмульсии В/М – синие капли воды на светлом фоне масла. В присутствии судана III картина обратная: в эмульсии М/В – розовые капли на бесцветном фоне воды, а в эмульсии В/М – бесцветные капли воды на розовом фоне масла.

Эмульсии широко распространены в природе (молоко, млечный сок растений, нефть и др.) и получены искусственным путем (смазки, кремы, маргарины, майонезы и др.).

Для разрушения эмульсий (деэмульгирования) используют различные методы: механические, физические и химические (см. табл. 2). К таким методам относят: центрифугирование; фильтрацию через ворсистые ткани, смачиваемые жидкостью дисперсной фазы; разбавление эмульсий растворами электролитов; добавление минеральных кислот, высших спиртов и эфиров; изменение природы эмульгатора под действием химических реагентов и т. д.

## 2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

### Вариант 1. Получение эмульсии, определение ее типа, изучение ее устойчивости

2.1.1. В колбах на 50 мл приготовьте водные растворы ПАВ (по указанию преподавателя) объемом 10 мл путем разбавления исходных 0,01 М растворов в соответствии с табл. 15, рассчитайте их концентрацию (моль/л)

$$C_{\text{ПАВ}} = \frac{V_{\text{ПАВ}} \cdot 0,01}{V_{\text{ПАВ}} + V_{\text{H}_2\text{O}}}.$$

Таблица 15

Экспериментальные результаты определения типа и устойчивости эмульсии, полученной из воды, масла \_\_\_\_\_ и эмульгатора \_\_\_\_\_

Номер кол- бы	V ПАВ, мл	V H <sub>2</sub> O, мл	C <sub>ПАВ</sub> , моль/л	Качественная характеристика эмульсии				Тип эмуль- сии	Время рас- сло- ения
				Смачи- вание бумаги: есть, нет	Слияние капель: есть, нет	Цвет капль			
						Судан III	Метиленовый синий		
1	0	10							
2	2	8							
3	4	6							
4	6	4							
5	8	2							
6	10	0							

2.1.2. Внесите в каждый раствор ПАВ по 10 мл органической жидкости (толуола, ксилола, масла и т. д., по указанию преподавателя) и интенсивно встряхивайте 5 мин.

2.1.3. Из каждой колбы перелейте по 10 мл эмульсии в пробирку и определите время ее расслоения на 2 макрофазы (табл. 15).

2.1.4. Оставшуюся часть эмульсии в каждой колбе используйте для определения ее типа следующим образом.

2.1.4.1. Каплю эмульсии и каплю воды поместите на предметное стекло и стекло наклоните так, чтобы капли пришли в соприкосновение. Если капли сольются, то дисперсионной средой является вода, если не сольются – масло.





2.1.4.2. На фильтровальную бумагу нанесите каплю эмульсии. Если средой является вода, то капля сразу впитывается бумагой, на которой остается жирное пятно. Капля эмульсии В/М не впитывается бумагой.

2.1.4.3. Небольшое количество эмульсии налейте в две пробирки. В одну пробирку внесите несколько кристалликов красителя метиленового синего (голубого), растворимого в воде, а в другую – несколько кристалликов судана III, растворимого в масле. Закройте пробирки пробками и интенсивно перемешайте. Каплю каждой эмульсии рассмотрите под микроскопом, зарисуйте и определите тип эмульсии (с. 75)

В эмульсии М/В с метиленовым синим видим под микроскопом белые капельки на синем фоне. В эмульсии В/М с суданом III видим под микроскопом белые капельки на розовом фоне.

***Обращайте внимание на размер капелек дисперсной фазы в эмульсии и способность их к перемещению (броуновскому движению).***

Полученные экспериментальные данные занесите в табл. 15.

## **Вариант 2. Получение эмульсии, определение ее типа, обращение фаз эмульсии**

2.2.1. Налейте в колбу 10 мл 2 %-ного раствора олеата натрия и добавьте 10 мл толуола (ксилола), колбочку закройте пробкой и интенсивно встряхивайте до получения однородной эмульсии.

2.2.2. Определите тип эмульсии (методика определения типа эмульсии приведена в варианте 1, п. 2.1.4). Более наглядно можно определить тип эмульсии с помощью микроскопа по окраске капель красителя.

2.2.3. Приготовьте бюретку с 0,01 М раствором хлорида кальция.

2.2.4. Налейте в коническую колбочку 10 мл приготовленной эмульсии и приливайте к ней из бюретки по 1 мл 0,01 М раствора хлорида кальция, каждый раз интенсивно перемешивая полученную смесь. После каждого приливания определяйте тип эмульсии наиболее чувствительным из опробованных методов (п. 2.2.2).

2.2.5. Определите объем хлорида кальция  $V(\text{CaCl}_2)$ , при котором будет наблюдаться обращение фаз эмульсии. Рассчитайте концентрацию хлорида кальция в эмульсии, которая соответствует этому объему, по формуле

$$C(\text{CaCl}_2) = \frac{V(\text{CaCl}_2) \cdot 0,01}{10 + V(\text{CaCl}_2)}.$$

2.2.6. Напишите уравнение реакции взаимодействия олеата натрия с хлоридом кальция.

2.2.7. Изобразите схему обращения фаз эмульсии. Укажите, какое вещество является эмульгатором для эмульсии М/В, а какое – для эмульсии В/М.





### Вариант 3. Получение разбавленной эмульсии масла в воде и её разрушение под действием электролитов

2.3.1. Приготовьте две разбавленные эмульсии типа «масло в воде». Налейте в одну колбу 50 мл воды, в другую – 50 мл приготовленного водного раствора ПАВ с концентрацией 4 г/л. В каждую колбу прибавляйте по каплям при интенсивном перемешивании 5 мл 2 %-ного спиртового или ацетонового раствора масла (подсолнечного, соевого, оливкового или машинного).

2.3.2. Определите заряд капелек каждой эмульсии методом электрофореза (работа 1, п. 2.4).

2.3.3. Рассмотрите под микроскопом и зарисуйте капельку каждой эмульсии, как бесцветную, так и окрашенную жирорастворимым красителем (суданом III) или водорастворимым красителем (метиленовым синим).

**Обратите внимание на окраску капелек масла и дисперсионной среды, размер капелек масла, их возможное перемещение (броуновское движение).**

2.3.4. Разделите каждую эмульсию на две равные части: в первую половину приливайте по 0,5 мл раствора 0,1 М хлорида натрия, а во вторую половину – по 0,5 мл 0,05 М сульфата магния. Следите за устойчивостью эмульсии. Полученные экспериментальные результаты внесите в табл. 16. Если эмульсия расслаивается очень быстро, то в таблицу напишите «неуст», если очень медленно, то – «уст». Электролиты вводите до быстрого полного расслоения эмульсии. Отметьте время (мин) полного расслоения эмульсии на 2 макрофазы.

Т а б л и ц а 16

Экспериментальные данные по влиянию электролитов и эмульгатора (ПАВ) \_\_\_\_\_ на устойчивость эмульсии \_\_\_\_\_

Электролит	Объем электролита $V_{эл}$ , мл	Устойчивость эмульсии (время расслоения), мин	
		Дисперсионная среда	
		Вода	Водный раствор ПАВ
NaCl	0,5		
	1,0		
	и т. д.		
MgSO <sub>4</sub>	0,5		
	1,0		
	и т. д.		

### 3. В Ы В О Д Ы П О Р А Б О Т Е

3.1. Назовите метод получения эмульсии.

3.2. Укажите, используя данные визуального наблюдения, является эмульсия монодисперсной или полидисперсной системой.

3.3. Охарактеризуйте влияние концентрации и природы ПАВ на устойчивость и тип эмульсии.



3.4. Укажите роль хлорида кальция при обращении фаз эмульсий (вариант 2).

3.5. Охарактеризуйте влияние концентрации и природы добавленного электролита на устойчивость эмульсии (вариант 3).

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие дисперсные системы называют эмульсиями? Дайте характеристику эмульсии по всем классификационным признакам дисперсных систем.
2. Какими методами получают эмульсии?
3. Как классифицируют эмульсии?
4. Какие свойства характерны для каждого типа эмульсий (концентрированных, разбавленных)?
5. Как определяют тип эмульсии?
6. Чем обусловлена агрегативная устойчивость эмульсий?
7. Какие вещества называют эмульгаторами?
8. Какие эмульгаторы стабилизируют эмульсии прямого типа (В/М), а какие – обратного типа (М/В)? Правило Банкрофта.
9. Каков механизм стабилизирующего действия ПАВ в эмульсиях? Как число ГЛБ влияет на эмульгирующую способность ПАВ?
10. Что такое обращение фаз эмульсий и каков механизм этого процесса?
11. Какие эмульсии называют критическими?
12. Где применяют эмульсии?
13. Как разрушают эмульсии?

#### **РАБОТА 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОСТИ РАСТВОРОВ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ВЕЩЕСТВ И РАСЧЕТ МОЛЯРНОЙ МАССЫ ВМВ**

**Цель работы:** определить вискозиметрическим методом относительную вязкость растворов ВМВ различных концентраций, рассчитать удельную, приведенную и характеристическую вязкости, рассчитать молярную массу ВМВ.

**Метод исследования:** вискозиметрия.

**Приборы и оборудование:** вискозиметр Оствальда, секундомер.

**Посуда:** мерная колба на 25 мл – 1 шт.; конические колбы на 50 мл – 4 шт.

**Реактивы:** 0,5 % растворы желатина и крахмала (ВМВ).

#### 1. КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

К высокомолекулярным веществам (ВМВ) относят соединения с молярной массой  $10^4$ - $10^6$  и выше (см. рис. 18). Они могут быть природного или синтетического происхождения. Растворы ВМВ, в отличие от лиофобных коллоидных растворов, являются гомогенными, термодинамически устойчивыми, лио-



фильными, обратимыми системами. Они образуются за счёт самопроизвольного диспергирования (см. рис. 3) и относятся к истинным молекулярным растворам. Молекулы ВМВ соизмеримы с размерами коллоидных частиц в лиофобных золях. Поэтому для этих систем характерно сходство многих физико-химических свойств: оптических, реологических (вязкость), молекулярно-кинетических и др. (см. рис. 5, 6, 16).

Молярная масса является важной количественной характеристикой ВМВ. Существуют различные методы определения молярной массы полимеров. Многие из них сложны, поэтому широко используют менее точный, но простой и доступный метод – вискозиметрию (см. рис. 8).

Вязкость разбавленных растворов ВМВ с линейными и разветвленными молекулами связана с их молярной массой и концентрацией уравнением Штаудингера:

$$\frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \eta_{уд} = KMC, \quad (1)$$

где  $\eta$  и  $\eta_0$  – вязкости раствора и растворителя, Па · с;

$\eta_{уд}$  – удельная вязкость раствора;

$K$  – константа для данного полимергомологического ряда ВМВ в определенном растворителе;

$M$  – молярная масса ВМВ, г/моль;

$C$  – массовая концентрация ВМВ, г/дм<sup>3</sup>.

Исходя из уравнения Штаудингера (1) получают соотношение

$$\eta_{уд}/C = \eta_{пр} = KM, \quad (2)$$

где  $\eta_{пр}$  – приведенная вязкость, которая не должна зависеть от концентрации.

В действительности, с ростом концентрации  $\eta_{пр}$  увеличивается, что объясняется взаимодействием макромолекул друг с другом. Во многих случаях постоянная  $K$  из уравнения (1) зависит от молярной массы ВМВ, уменьшаясь с ростом длины макромолекул.

В табл. 17 приведена характеристика различных видов вязкости растворов ВМВ и соотношения между ними.

С учетом взаимодействия макромолекул в разбавленных растворах для определения молярной массы ВМВ в настоящее время используется модифицированное уравнение Штаудингера

$$[\eta] = KM^\alpha, \quad (3)$$

где  $K$  и  $\alpha$  – постоянные гомологического ряда ВМВ и растворителя.

Величина  $\alpha$  характеризует форму макромолекул в данном растворителе и связана с гибкостью цепей макромолекул.

Если последние в данном растворителе находятся в развернутом виде, то растворы ВМВ имеют большую вязкость, если же макромолекулы свернуты в клубки, то вязкость растворов при той же концентрации будет меньше. Значения  $\alpha$  обычно лежат в пределах 0,5–1,0.

## Виды вязкости, их обозначения, соотношения между ними

Вязкость	Обозначение	Математическое выражение
Относительная	$\eta_{\text{отн}}$	$\eta_{\text{отн}} = \frac{\eta}{\eta_0}$
Удельная	$\eta_{\text{уд}}$	$\eta_{\text{уд}} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \eta_{\text{отн}} - 1$
Приведенная	$\eta_{\text{пр}}$	$\eta_{\text{пр}} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0 \cdot C} = \frac{\eta_{\text{уд}}}{C}$
Характеристическая	$[\eta]$	$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{\text{уд}}}{C}$

Значения  $K$  и  $\alpha$  для некоторых ВМВ приведены в табл. 18.

Таблица 18

Значения констант  $K$  и  $\alpha$  в уравнении (3)

ВМВ	Растворитель	Температура, К	$K \cdot 10^4$	$\alpha$
Крахмал	Вода	298	1,32	0,68
Желатин	Вода	298	3,0	0,70

## 2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

2.1. Из исходного раствора ВМВ с концентрацией 0,5 % приготовьте еще четыре раствора методом двойного разбавления.

2.2. Укрепите в штативе строго вертикально чистый, промытый дистиллированной водой вискозиметр. С помощью пипетки внесите в широкое колено вискозиметра  $10 \text{ см}^3$  дистиллированной воды. Затем грушей (шприцем) затяните жидкость в узкое колено выше верхней метки и дайте жидкости свободно течь. При прохождении уровня жидкости через верхнюю метку включите секундомер, при прохождении его через нижнюю метку – выключите. Определите время истечения  $t_0$  воды не менее трех раз. По результатам отсчетов рассчитайте среднее значение времени  $t_{\text{ср}}$  истечения чистого растворителя – дистиллированной воды.

2.3. Вискозиметр ополосните наиболее разбавленным раствором ВМВ. Измерьте время истечения  $t$  этого раствора, как показано в п. 2.2 не менее трех раз и рассчитайте среднее значение времени истечения  $t_{\text{ср}}$ . Опыт повторите для всех растворов ВМВ. Переходя к более концентрированному раствору, тщательно ополаскивайте вискозиметр. Полученные результаты внесите в табл. 19.



### 3. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

3.1. Рассчитайте относительную, удельную и приведенную вязкости, используя средние значения времени истечения  $t_0$  растворителя и времени истечения  $t$  растворов.

Так как  $\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{t\rho}{t_0\rho_0}$ , где  $\rho \approx \rho_0$  (плотности разбавленного раствора ВМВ и растворителя примерно одинаковы), то

$$\eta_{\text{отн}} = \frac{t}{t_0}; \quad \eta_{\text{уд}} = \eta_{\text{отн}} - 1 = \frac{t}{t_0} - 1 = \frac{t - t_0}{t_0}; \quad \eta_{\text{пр}} = \frac{\eta_{\text{уд}}}{C},$$

где  $C$  – концентрация растворенного вещества в г на  $100 \text{ см}^3$  растворителя; т. к. растворы разбавленные, принять  $C = \omega$ .

С учетом взаимодействия макромолекул в разбавленных растворах для определения молярной массы ВМВ в настоящее время используется модифицированное уравнение Штаудингера

$$[\eta] = KM^\alpha,$$

где  $K$  и  $\alpha$  – постоянные гомологического ряда ВМВ и растворителя.

Величина  $\alpha$  характеризует форму макромолекул в данном растворителе и связана с гибкостью цепей макромолекул.

Если последние в данном растворителе находятся в развернутом виде, то растворы ВМВ имеют большую вязкость, если же макромолекулы свернуты в клубки, то вязкость растворов при той же концентрации будет меньше. Значения  $\alpha$  обычно лежат в пределах 0,5–1,0.

Полученные значения вязкостей внесите в табл. 19.

Т а б л и ц а 19

*Экспериментальные данные по определению вязкости растворов ВМВ*

Концентрация раствора ВМВ $\omega$ , %	Время истечения $t$ , с			$t_{\text{ср}}$ , с	$\eta_{\text{отн}}$	$\eta_{\text{уд}}$	$\eta_{\text{пр}}$
	1	2	3				
0							
0,031 3							
0,062 5							
0,125							
0,25							
0,5							

3.2. Постройте график зависимости приведенной вязкости от концентрации раствора ВМВ по данным табл. 19, по которому определите характеристическую вязкость  $[\eta]$  (рис. 24).

Рассчитайте молярную массу ВМВ, значения  $\alpha$  и  $K$  возьмите из табл. 18:

$$M^\alpha = [\eta]/K; \quad \lg M = \frac{\lg([\eta]/K)}{\alpha}; \quad M = 10^{\frac{\lg([\eta]/K)}{\alpha}} \quad (4)$$



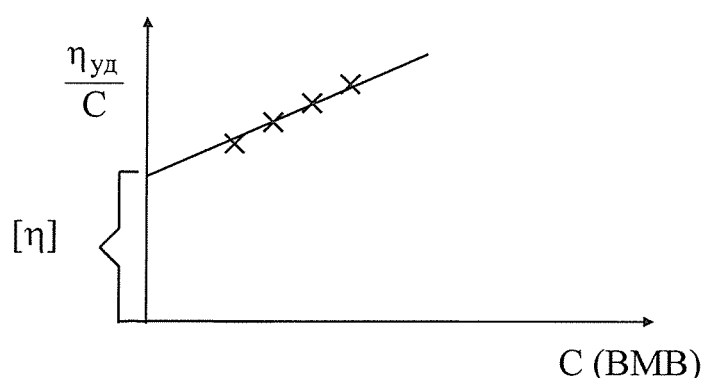


Рис. 24. Определение характеристической вязкости

#### 4. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

4.1. Определите, как влияет концентрация ВМВ на величину относительной вязкости по данным табл. 19.

4.2. Проанализируйте полученное значение величины  $M$  (соответствует ли она молярным массам высокомолекулярных веществ).

#### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие вещества называют ВМВ?
2. Почему растворы ВМВ относят к коллоидным растворам?
3. Каковы особенности свойств растворов ВМВ?
4. В чем проявляются аномалии вязкости растворов ВМВ и каковы их причины?
5. Почему закон Ньютона, а также уравнение Эйнштейна нельзя применять для определения вязкости ВМВ?
6. Какие виды вязкости характерны для растворов ВМВ?
7. Что характеризует уравнение Бингама?
8. Что понимается под понятием «структурная» или «пластическая вязкость»?
9. В чем сущность вискозиметрического метода определения молярной массы ВМВ?
10. В каких случаях для определения молярных масс ВМВ используют обычное уравнение Штаудингера, в каких – модифицированное уравнение Штаудингера?
11. Какие еще методы используют для определения молярной массы ВМВ?



## РАБОТА 8. ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РАСТВОРОВ ПОЛИЭЛЕКТРОЛИТОВ

**Цель работы:** определить изоэлектрическую точку желатина различными методами.

**Методы исследования:** визуальное наблюдение; рН-метрия; турбидиметрия; вискозиметрия.

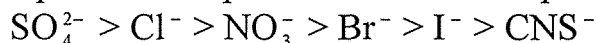
**Приборы и оборудование:** рН-метр; фотоэлектроколориметр; вискозиметр Оствальда; секундомер; линейка.

**Посуда:** пробирки; конические колбы на 50 мл – 7 шт.; набор кювет.

**Реактивы:** 0,1 М растворы  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ , сухой желатин; насыщенный раствор  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; 1 %-ный раствор желатина.

### 1. КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Растворы высокомолекулярных веществ, если они находятся в термодинамически равновесном состоянии, агрегативно устойчивы (см. рис. 10). При введении больших количеств электролита или жидкостей, плохо растворяющих данное ВМВ, наблюдается выделение ВМВ из растворов – высаливание (см. рис. 11). Для белков и полисахаридов высаливающим действием обладают этанол и ацетон. Из электролитов обычно более сильным высаливающим действием обладают анионы, которые можно расположить в лиотропный ряд:



Первым этапом растворения ВМВ является набухание. Набухание – самопроизвольный процесс поглощения молекулами ВМВ низкомолекулярного растворителя, сопровождающийся увеличением объема и массы ВМВ. Набухание может быть ограниченным и неограниченным, заканчивающимся растворением ВМВ (см. рис. 18).

Ограниченность или неограниченность набухания определяется соотношением между энергией связи между молекулами ВМВ и энергией сольватации молекул ВМВ.

Ограниченно набухают высокомолекулярные вещества с трехмерной структурой и имеющие химические связи – «мостики» – между цепочками макромолекул. Если молекулы ВМВ имеют линейную или разветвленную структуру, то они связаны между собой Ван-дер-Ваальсовыми межмолекулярными силами, энергия связи которых невелика, и уже при комнатной температуре энергия сольватации и энтропийный фактор превышают энергию связи, процесс набухания идет неограниченно.

На набухание влияет целый ряд факторов (см. рис. 18, 19). Температура влияет на набухание в соответствии с принципом Ле Шателье: с увеличением температуры скорость набухания возрастает, так как увеличивается энергия движения макромолекул, но снижается предельное набухание.

рН среды оказывает влияние на набухание тех ВМВ, молекулы которых содержат полярные функциональные группы кислотного или основного харак-

тера (например, у белков). При изменении величины рН за счет образования заряженных групп на поверхности молекул белков заряд их ионов изменяется, что отражается на величине набухания.

На набухание ВМВ оказывает большое влияние присутствие посторонних ионов, заряд которых противоположен заряду полиионов: чем выше заряд постороннего иона, тем сильнее понижает он величину набухания.

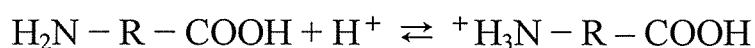
На набухание оказывает влияние физическое состояние и природа ВМВ. Легче всего набухают и растворяются ВМВ в высокоэластическом и вязкотекучем состояниях, труднее набухают ВМВ в стеклообразном состоянии.

Для эффективного набухания и растворения ВМВ необходима близость его по полярности к полярности растворителя. Так, углеводородные ВМВ энергично набухают и растворяются в жидких углеводородах (бензол, бензин) и не растворяются в сильно полярных жидкостях (вода, спирты). Полярные ВМВ (целлюлоза, поливинилацетат, желатин) не взаимодействуют с углеводородами, но хорошо набухают и растворяются в воде.

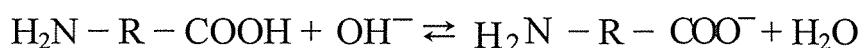
Количественной мерой набухания является степень набухания  $\alpha$ , которая может иметь объемное или массовое выражение (см. рис. 19).

Подобно низкомолекулярным веществам ВМВ можно подразделять на электролиты и неэлектролиты (см. рис. 20). Важнейшими высокомолекулярными амфолитными электролитами являются водные растворы белков. Заряд на макромолекулах белков возникает в водных растворах в результате диссоциации ионогенных групп. Белковые молекулы как продукт поликонденсации аминокислот содержат основные группы –  $\text{NH}_2$  – и кислотные –  $\text{COOH}$  – и относятся к полиамфолитам, так как цепочка макромолекулы может быть достаточно большой и содержать несколько функциональных групп как в виде боковых цепей, так и на концах макромолекул.

Ионизация молекул полиамфолитов протекает по разным типам. По основному типу образуются положительно заряженные ионы белка:



По кислотному типу образуются отрицательные заряженные ионы белка:



По кислотному и основному типам – молекула белка электронейтральна:



Как видно из последнего случая, существует такое состояние, когда число ионизированных кислотных групп равно числу ионизированных основных групп. Такое состояние называется изоэлектрическим, а рН среды, соответствующее такому состоянию, – изоэлектрической точкой (ИЭТ) белков (см. рис. 14, 20).



В изоэлектрическом состоянии свойства белковых растворов резко изменяются. В ИЭТ по всей длине белковой молекулы находится равное количество положительно и отрицательно заряженных ионогенных групп. В таком состоянии уменьшается вязкость растворов, изменяется осмотическое давление, хуже идет набухание – затруднено проникновение молекул растворителя внутрь структуры ВМВ, уменьшается растворимость, падает электрическая проводимость. Изучение этих свойств используется для определения изоэлектрической точки белков.

В молекулах белков в большей степени проявляются кислотные свойства, ИЭТ лежит в слабокислой области при значениях рН: для желатина – 4,7; для казеина – 4,6; для глобулина – 5,4.

## 2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

### **Опыт 1. Влияние рН на набухание желатина. Определение изоэлектрической точки желатина по степени его набухания**

2.1.1. Приготовьте по 20 см<sup>3</sup> каждого из шести буферных растворов в 6 пронумерованных пробирках, как указано в табл. 20.

2.1.2. Измерьте рН растворов на рН-метре. Полученные значения рН внесите в табл. 20.

Т а б л и ц а 20

*Экспериментальные данные по влиянию рН раствора  
на процесс набухания желатина*

№ про- бир- ки	Состав буферной смеси (раствора)		рН раствора	Высота набухшего желатина h, мм	Степень набухания $\alpha$	рН (ИЭТ)
	V(CH <sub>3</sub> COOH 0,1 М), см <sup>3</sup>	V(CH <sub>3</sub> COONa 0,1 М), см <sup>3</sup>				
1	20	0				
2	18	2				
3	16	4				
4	10	10				
5	6	14				
6	2	18				

2.1.3. Насыпьте желатин высотой 10 мм от дна пробирки в другие сухие шесть пробирок примерно одного диаметра.

2.1.4. Налейте в пробирки с сухим желатином приготовленные буферные растворы (п. 2.1.1), несколько раз встряхните и оставьте их в покое.

2.1.5. Через 30–40 мин измерьте высоту h набухшего желатина. Результаты внесите в табл. 20.

2.1.6. Рассчитайте степень набухания  $\alpha$  по формуле



$$\alpha = \frac{h - h_0}{h_0},$$

где  $h_0$  и  $h$  – высоты исходного и набухшего желатина, мм ( $h_0 = 10$  мм).

2.1.7. Постройте график зависимости степени набухания от величины рН. Определите значение ИЭТ желатина.

2.1.8. Определите по графику величину рН (ИЭТ) и внесите её в табл. 20.

**Опыт 2. Влияние рН на высаливание желатина. Определение изоэлектрической точки желатина по мутности его растворов (визуальный метод)**

2.2.1. Приготовьте ацетатные буферные растворы в пяти пробирках, как указано в табл. 21.

2.2.2. Измерьте рН полученных буферных растворов на рН-метре. Величины рН внесите в табл. 21.

2.2.3. Внесите в каждую из пяти пустых пробирок  $2 \text{ см}^3$  буферного раствора,  $1 \text{ см}^3$  1 %-ного раствора желатина,  $1 \text{ см}^3$  насыщенного раствора сульфата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , являющегося «высаливающим» агентом.

2.2.4. Перемешайте содержимое пробирок и оставьте их на 5–10 мин.

2.2.5. Определите визуально степень мутности раствора желатина и оцените ее баллах по пятибалльной шкале. Полученные результаты наблюдений внесите в табл. 21.

Т а б л и ц а 21

Экспериментальные данные по влиянию рН на степень мутности раствора желатина под воздействием «высаливающего» агента \_\_\_\_\_

№ пробирки	Состав ацетатного буферного раствора		рН	Степень мутности раствора желатина		рН (ИЭТ)
	$V(\text{CH}_3\text{COOH } 0,1 \text{ M}), \text{ см}^3$	$V(\text{CH}_3\text{COONa } 0,1 \text{ M}), \text{ см}^3$		Визуально	Балл	
1	7	3				
2	5	5				
3	3	7				
4	1	9				
5	0,5	9,5				

**Примечание:**

1. Степень мутности раствора желатина (визуально) охарактеризуйте словами: прозрачный, слегка мутный, заметно мутный, просто мутный, очень мутный.
2. Баллы присваиваются в порядке убывания мутности от 5 (наиболее мутный) до 1 (наименее мутный или прозрачный).

2.2.6. Постройте график зависимости мутности в баллах от рН раствора.

2.2.7. Определите величину рН (ИЭТ) желатина по графику степень мутности (балл) =  $f(\text{рН})$  и внесите это значение в табл. 21.





**Опыт 3. Влияние pH на мутность раствора желатина. Определение изоэлектрической точки желатина по оптической плотности и светопропусканию его растворов методом турбидиметрии**

2.3.1. Приготовьте в колбах на 50 см<sup>3</sup> шесть ацетатных буферных растворов, как указано в табл. 22.

Т а б л и ц а 22

*Приготовление ацетатных буферных растворов и определение их pH*

Реактивы для получения ацетатных буферных растворов	Объёмы децимолярных растворов уксусной кислоты и ацетата натрия V, см <sup>3</sup>					
№ колбы	1	2	3	4	5	6
0,1 М раствор CH <sub>3</sub> COOH	18	16	10	6	2	1
0,1 М раствор CH <sub>3</sub> COONa	2	4	10	14	18	19
pH буферного раствора						

2.3.2. Измерьте pH полученных буферных растворов на pH-метре и полученные данные внесите в табл. 22 и табл. 23.

2.3.3. Внесите в каждую колбу с буферным раствором по 10 см<sup>3</sup> 1 %-ного раствора желатина.

2.3.4. Измерьте оптическую плотность A и светопропускание T приготовленных растворов желатина на фотоэлектроколориметре при  $\lambda \approx 420$  нм и толщине кюветы 10 мм. В качестве раствора сравнения используйте дистиллированную воду. Внесите значение A и T в табл. 23.

Т а б л и ц а 23

*Экспериментальные данные по влиянию pH на оптическую плотность и светопропускание растворов желатина*

Измеряемая величина	Экспериментальные значения pH, A, T (%)						pH (ИЭТ)
№ колбы	1	2	3	4	5	6	
pH буферного раствора							
Оптическая плотность A							
Светопропускание T							

2.3.5. По полученным данным постройте графики зависимостей A (или T) от pH.

2.3.6. Определите значение pH (ИЭТ) желатина и внесите его в табл. 23.

**Опыт 4. Влияние pH на относительную вязкость раствора желатина. Определение изоэлектрической точки желатина по вязкости его растворов**

2.4.1. Приготовьте в колбах на 50 мл шесть ацетатных буферных растворов, как указано в табл. 22.

2.4.2. Измерьте рН полученных буферных растворов на рН-метре. Величины рН внесите в табл. 24.

2.4.3. Измерьте время истечения  $t_0$  дистиллированной воды на вискозиметре не менее двух раз ( $t_1$  и  $t_2$ ). Рассчитайте среднее значение времени истечения воды ( $t_0$ ).

2.4.4. Влейте в каждую колбу с буферным раствором 10 мл 1 %-ного раствора желатина. Содержимое колб перемешайте.

Т а б л и ц а 24

*Экспериментальные данные по влиянию рН  
на вязкость растворов желатина*

Измеряемая и рассчитанная величина		Результаты измерения и расчёта характеристик						рН(ИЭТ)
		Растворов желатина					Воды	
№ колбы		1	2	3	4	5	6	
рН буферного раствора								
Время истечения раствора, с	$t_1$							
	$t_2$							
	$t_{cp}$							
Относительная вязкость раствора $\eta_{отн}$								

2.4.5. Определите с помощью вискозиметра время истечения  $t$  воды и каждого из растворов желатина с определенными значениями рН не менее двух раз ( $t_1$  и  $t_2$ ), как показано в работе 7 (п. 2.2, 2.3). Перед каждым опытом тщательно ополаскивайте вискозиметр последующим исследуемым раствором.

2.4.6. Рассчитайте среднее значение времени истечения  $t_{cp}$  каждого раствора. Измеренные и рассчитанные значения времени истечения растворов желатина внесите в табл. 24.

2.4.7. Рассчитайте относительную вязкость растворов  $\eta_{отн}$  по формуле

$$\eta_{отн} = \frac{t_{cp}}{t_0}.$$

Полученные данные внесите табл. 24.

2.4.8. Постройте график зависимости относительной вязкости от рН раствора. Определите значение рН (ИЭТ) желатина и внесите его в табл. 24.

### 3. В Ы В О Д Ы П О Р А Б О Т Е

3.1. Назовите свойство желатина, исследованное в каждом опыте лабораторной работы.

3.2. Оцените по виду кривой на графике «Свойство» =  $f(\text{рН})$ , как влияет рН на изученное свойство желатина.

3.3. Объясните, почему желатин называют амфолитным полиэлектролитом. Напишите уравнения возможной электролитической диссоциации молекулы желатина в водном растворе.



3.4. Охарактеризуйте понятие «изоэлектрическое состояние» желатина в водном растворе. Как оно отразилось на кривой зависимости «Свойство» =  $f(\text{pH})$ ?

3.5. Объясните, как можно определить  $\text{pH}$  (ИЭТ) в растворе желатина.

3.6. Покажите на графике «Свойство» =  $f(\text{pH})$  области возможных состояний молекулы желатина, характеризующиеся определёнными уравнениями электролитической диссоциации:

$$\text{pH} < \text{pH}(\text{ИЭТ}); \text{pH} \approx \text{pH}(\text{ИЭТ}); \text{pH} > \text{pH}(\text{ИЭТ}).$$

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему растворы ВМВ называют лиофильными дисперсными системами?
2. Каковы особенности растворения ВМВ?
3. Чем обусловлена агрегативная устойчивость растворов ВМВ?
4. Что такое высаливание и какие факторы влияют на процесс высаливания?
5. Что такое студень и как его получают?
6. Какой процесс называется набуханием? Каков механизм набухания?
7. Как изменяются энергия Гиббса, энтальпия и энтропия в процессе набухания?
8. Каковы количественные характеристики процесса набухания?
9. Какие факторы влияют на процесс набухания?
10. Какие факторы влияют на процесс застудневания растворов ВМВ?
11. Какие ВМВ называют полиэлектролитами, полиамфолитами?
12. Что такое изоэлектрическое состояние растворов ВМВ и изоэлектрическая точка белков?
13. Как изменяется форма макромолекул белков в зависимости от  $\text{pH}$  среды?
14. Что такое  $\text{pH}$  (ИЭТ) растворов белков?
15. Какие методы используют для определения ИЭТ белков?

#### **РАБОТА 9. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ В СТУДНЯХ И ГЕЛЯХ**

**Цель работы:** получить студень или гель, исследовать процессы диффузии, кристаллизации и химические реакции, протекающие в студнях и гелях.

**Метод исследования:** визуальное наблюдение.

**Приборы и оборудование:** линейка; штатив; фотоаппарат.

**Посуда:** пробирки; U-образные трубки; цилиндры на 50 мл; чашки Петри; конические колбы; мерные цилиндры; мерные пробирки; мерные пипетки.

**Реактивы:** желатин; агар-агар; силикатный клей (жидкое стекло); силикат натрия; растворы или кристаллы веществ, металлические гранулы или стержни в соответствии с вариантом задания, указанным в табл. 25.



## 1. КРАТКОЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Студни и гели – это нетекучие твердообразные системы, представляющие собой пространственные структуры в виде трехмерных сеток с ячейками. Переход лиофобного золя при коагуляции в гель называют гелеобразованием. Гели являются двухфазными, гетерогенными и термодинамически неустойчивыми системами. Студни получают при набухании твердых высокомолекулярных веществ (ВМВ) в определенном растворителе или при застудневании (желатинизации) растворов ВМВ; они являются чаще всего однофазными, гомогенными, равновесными и устойчивыми системами (см. рис. 15, 18, 19).

Студни и гели обладают структурно-механическими свойствами (см. рис. 16). По изменению вязкости и текучести удобно наблюдать за образованием или разрушением структуры.

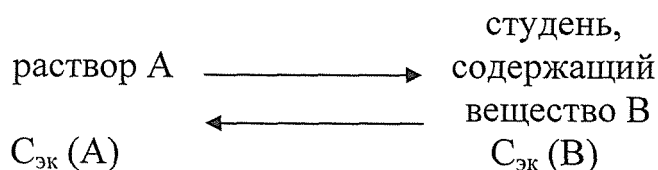
Сетчатая структура студней и гелей позволяет растворенным веществам диффундировать в них, взаимодействовать с веществом, образующим студень или гель, или с веществом, находящимся внутри них, а растворителю и дисперсионной среде выделяться из них (синерезис), проявлять тиксотропные свойства (см. рис. 16, 17).

Диффузия растворенных веществ в сетчатых сильно оводненных студнях и гелях протекает примерно так же, как в воде или дисперсионной среде: скорости диффузии почти одинаковы, законы Фика применимы, вещества практически равномерно распределены в объеме. Отклонение от этих зависимостей может быть вызвано следующими причинами:

- размер диффундирующих частиц больше размера ячеек структуры;
- студни и гели уплотняются при синерезисе;
- процессы адсорбции и кристаллизации, химические реакции протекают параллельно.

При наличии отклонения наблюдается скачкообразный резкий спад концентрации диффундирующего вещества, неравномерность окраски и изменение оптических свойств студней и гелей (см. рис. 6). Например, при диффузии в желатин соляной кислоты образуется хлористый желатин (соль); в результате изменяются набухание и светопреломляющая способность студня.

Диффузия растворенного вещества А в студень, пропитанный веществом В, зависит от растворимости продукта реакции С, который образуется при химической реакции между веществами А и В ( $A + B = C$ ). Если вещество С растворимо, то диффузия протекает в обоих направлениях. В случае получения нерастворимого продукта реакции С осадок может образовываться в растворе, на поверхности студня или внутри студня. Место образования осадка зависит от соотношения молярных концентраций эквивалентов  $C_{эк}$ :





$C_{\text{эк}}(A) < C_{\text{эк}}(B)$  – осадок образуется в растворе;

$C_{\text{эк}}(A) > C_{\text{эк}}(B)$  – осадок образуется в студне;

$C_{\text{эк}}(A) = C_{\text{эк}}(B)$  – осадок образуется на поверхности студня в виде тонкой мембраны.

Начало и место образования нерастворимого вещества определяются скоростями диффузии  $v_d$  реагирующих веществ, которые рассчитываются по закону Фика:

$$v_d = \frac{dm}{dt} = -D \cdot S \frac{dC}{dx},$$

где  $m$  – масса диффундирующего вещества;

$t$  – время диффузии;

$D$  – коэффициент диффузии вещества;

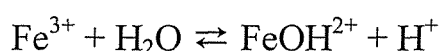
$S$  – поперечное сечение, через которое диффундирует вещество;

$-\frac{dC}{dx}$  – градиент концентрации в направлении  $x$  диффузии.

Коэффициент диффузии зависит от размера диффундирующих частиц, вязкости среды и температуры (уравнение Эйнштейна, рис. 5).

Реакция между веществами А и В от места встречи может распространяться только в одном направлении: от высококонцентрированного раствора к менее концентрированному, если нет мембраны; от раствора с большим осмотическим давлением к раствору с меньшим осмотическим давлением (см. рис. 5) при наличии полупроницаемой мембраны между растворами. Чаще всего мембрану образует нерастворимый продукт реакции.

При диффузии в студни или гели раствора гидролизующихся солей может увеличиваться степень гидролиза, если скорости диффузии продуктов гидролиза и соли сильно различаются. Например, при диффузии  $\text{FeCl}_3$  в гель кремниевой кислоты происходит гидролиз этой соли по катиону:



$v_d(\text{H}^+) \gg v_d$  (других частиц), т. е. кислота быстрее диффундирует, что приводит к уменьшению концентрации ионов водорода, равновесие смещается вправо и гидролиз соли усиливается.

Диффузия и гидролиз осложняются взаимодействием гидролизующихся солей с желатином или другим ВМВ, которое приводит к сжатию мембраны из нерастворимого вещества, т. е. протекает процесс, подобный синерезису. Образующиеся плотные мембраны более проницаемы для воды, чем для ионов исходной соли и продуктов гидролиза, т. е. являются полупроницаемыми. Поэтому, если кристалл гидролизующейся соли, например  $\text{FeCl}_3$ , поместить в раствор силиката натрия, то поверхность кристалла  $\text{FeCl}_3$  быстро покрывается тонкой пленкой геля кремниевой кислоты и гидроксида железа. Через плёнку начинают диффундировать молекулы воды, при этом объем раствора внутри пленки увеличивается до тех пор, пока оболочка не разрывается, на месте разрыва снова образуется пленка – мембрана и т. д.



### Особенностями химических реакций в студнях и гелях являются:

1. Небольшая скорость химической реакции, потому что пространственная сетка в студнях и гелях препятствует перемешиванию.
2. Небольшая скорость роста зародышей кристаллов, потому что вещество студня (желатин, агар-агар) является защитным коллоидом для нерастворимых частиц и препятствует их срачиванию, что является причиной периодической кристаллизации в студнях.
3. Скачкообразное изменение концентрации раствора вблизи осадка, благодаря чему протекают периодические или ритмические реакции; при этом образуются концентрические кольца Лизеганга, слоистые структуры и другие типы рисунков в студне или геле (рис. 17).
4. Образование плотных пленок нерастворимых веществ, подобных полупроницаемым мембранам, через которые осуществляется осмотический перенос жидкости, приводящий к изменению осмотического давления и протеканию направленных химических реакций; при этом образуются древовидные или другие образования.

## 2. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

2.1. В соответствии с вариантом задания (табл. 25) изучите протекание диффузии или химических реакций в студнях или гелях, получаемых по различным методикам (см. рис. 15, 18, 19).

Т а б л и ц а 25

Варианты заданий к работе 9

Вариант	Система	Растворы для получения студня или геля (в расчете на один опыт)		Растворы над студнем или гелем или металлы внутри них; рекомендуемая посуда для студня или геля
		Основной раствор	Дополнит. р-р	
1	Гель $\text{H}_2\text{SiO}_3$	5 мл $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ( $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$ ) (разбавленный в 3 раза)	5 мл 1М $\text{CH}_3\text{COOH}$ 2 мл $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ насыщ.	1) гранула Zn 2) гранула Al 3) гранула Mg (пробирки)
2	Студень желатина	25 мл 2,5 % р-ра желатина (нагретый)	5 мл 5 % $\text{MgCl}_2$	1) 2мл $\text{NH}_4\text{OH}$ конц. (на занятии) 2) 2мл $\text{NH}_4\text{OH}$ конц. (через сутки) (цилиндры)
3	Студень желатина	10 мл 5 % р-ра желатина	1М р-р 1) $\text{CuSO}_4$ 2) $\text{CuSO}_4$ 3) $\text{CuSO}_4$	0,05 М $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 0,5 М $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 1,0 М $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (U-образные трубки)

Вариант	Система	Растворы для получения студня или геля (в расчете на один опыт)		Растворы над студнем или гелем или металлы внутри них; рекомендуемая посуда для студня или геля
		Основной раствор	Дополнит. р-р	
4	Гель $\text{H}_2\text{SiO}_3$	Силикатный клей-вода 1:3	—	Кристаллики солей $\text{CuSO}_4$ , $\text{NiSO}_4$ , $\text{ZnSO}_4$ , $\text{CoSO}_4$ на дно стакана (стакан)
5	Студень агар-агара	10 мл 0,5 % р-ра агар-агара	10 мл насыщ. $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ . 1-5 капель $\text{CH}_3\text{COOH}$ конц	1) гранула $\text{Zn}$ 2) гранула $\text{Al}$ 3) гранула $\text{Fe}$ (пробирки)
6	Студень желатина	10 мл 5 % р-ра желатина	—	1) 0,1 % $\text{CuSO}_4$ 2) 0,02 % р-р метиленового синего 3) 2 % золь $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (табл. 5, вар-т 3) (пробирки)
7	Студень желатина	10 мл 2,5 % р-ра желатина	1 мл 0,01 М $\text{NaOH}$ 1-2 капли ф-ф	1) 5 % $\text{FeCl}_3$ 2) 1 % $\text{FeCl}_3$ 3) 0,5 % $\text{FeCl}_3$ (пробирки)
8	Студень агар-агара	10 мл 1 % р-ра агар-агара	—	1) 1 % $\text{NiSO}_4$ 2) 1 % $\text{CuSO}_4$ 3) 0,5 % $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (пробирки)
9	Гель $\text{H}_2\text{SiO}_3$	5 мл $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ( $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$ ) (разбавленный в 3 раза)	5 мл 1 М $\text{CH}_3\text{COOH}$ 1 мл 0,5 М $\text{K}_2\text{CrO}_4$	1) 0,5 М $\text{CuSO}_4$ 2) 0,5 М $\text{CoSO}_4$ 3) 0,5 М $\text{NiSO}_4$ (пробирки)
10	Студень желатина	10 мл 5 % р-ра желатина	—	1) $\text{H}_2\text{O}$   1 % $\text{FeCl}_2$ 2) $\text{H}_2\text{O}$   1 % $\text{FeCl}_3$ 3) $\text{H}_2\text{O}$   1 % $\text{NiCl}_2$ (U-образные трубки)
11	Студень агар-агара	10 мл 1 % р-ра агар-агара	1 мл 0,1 М $\text{NaOH}$ 1-2 капли ф-ф	1) 0,1 М $\text{HCl}$ 2) 0,05 М $\text{FeCl}_3$ 3) 0,5 М $\text{FeCl}_3$ (пробирки)
12	Студень желатина	1) 25 мл 2,5 % р-ра желатина 2) 5 мл 2,5 % р-ра желатина	1) 5 мл 1 % р-ра $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ; 0,6 мл 1 % р-ра лимонной кислоты 2) 3 мл 1 % р-ра $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ; 0,6 мл 1 % р-ра лимонной кислоты	0,5 М $\text{AgNO}_3$ 1) цилиндр 2) чашка Петри
13	Гель $\text{H}_2\text{SiO}_3$	10 мл $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ( $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$ ) (разбавленный в 3 раза)	5 мл 1,0 М р-ра $\text{CH}_3\text{COOH}$ 2 мл 0,1 М р-ра $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$	1) 2 М $\text{KI}$ 2) 0,1 М $\text{K}_2\text{CrO}_4$ (пробирки)



Вариант	Система	Растворы для получения студня или геля (в расчете на один опыт)		Растворы над студнем или гелем или металлы внутри них; рекомендуемая посуда для студня или геля
		Основной раствор	Дополнит. р-р	
14	Студень желатина	10 мл 2,5 % р-ра желатина	—	1) 0,1 М $K_2Cr_2O_7$ 2) 0,2 М $K_2Cr_2O_7$ 3) 0,5 М $K_2Cr_2O_7$   1 мл 0,5 М р-ра $(CH_3COO)_2Pb$ в каждой трубке (U-образные трубки)
15	Студень агар-агара	10 мл 1 % р-ра агар-агара	—	1) 1 % золь $Fe(OH)_3$ 2) 0,05 % конго красный 3) 1 % $FeCl_3$ (пробирки)
16	Студень желатина	10 мл 2,5 % р-ра желатина	5 мл 1 % р-ра $K_2Cr_2O_7$	1) 0,5 М $AgNO_3$ 2) 0,5 М $AgNO_3$ 3) 0,5 М $AgNO_3$ (пробирки)
		1) без кипячения 2) кипячение 15 мин 3) кипячение 30 мин		
17	Студень желатина	10 мл 2,5 % р-ра желатина	3 мл $(CH_3COO)_2Pb$ насыщ.	1) гранула Zn 2) стержень Zn 3) гранула Al (пробирки)
18	Гель $H_2SiO_3$	Силикатный клей (разбавленный в 2 раза)	—	Кристаллики солей $NiCl_2$ , $CoCl_2$ , $FeCl_2$ , $MnCl_2$ на дно стакана (стакан)
19	Студень желатина	1) 25 мл 2,5 % р-ра желатина 2) 5 мл 2,5 % р-ра желатина	1) 5 мл 1 % $K_2Cr_2O_7$ 2) 1 мл 1 % $K_2Cr_2O_7$	0,5 М $AgNO_3$ 1) цилиндр 2) чашка Петри
20	Студень желатина	10 мл 5 % р-ра желатина	1) 8 мл 1 М $CaCl_2$ 2) 4 мл 1 М $CaCl_2$ 3) 2 мл 1 М $CaCl_2$	1) насыщ. $Na_2HPO_4$ 2) насыщ. $Na_2HPO_4$ 3) насыщ. $Na_2HPO_4$ (пробирки)
21	Студень агар-агара	10 мл 2 % р-ра агар-агара	10 мл 10 % $MgCl_2$	1) конц. $NH_4OH$ 2) 0,1 М $NaOH$ (пробирки)
22	Студень желатина	10 мл 2,5 % р-ра желатина	—	$H_2O$   1 % $NiCl_2$ $H_2O$   1 % $FeCl_2$ $H_2O$   1 % $FeCl_3$ (U-образные трубки)



Вариант	Система	Растворы для получения студня или геля (в расчете на один опыт)		Растворы над студнем или гелем или металлы внутри них; рекомендуемая посуда для студня или геля
		Основной раствор	Дополнит. р-р	
23	Студень желатина	10 мл 2,5 % р-ра желатина, подогретого до 40 °С	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> в виде твердого вещества вводят до насыщения р-ра желатина	Раствор желатина с Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> разлить в 2–3 чашки тонким слоем и оставить на сутки (чашки Петри)
24	Студень желатина	10 мл 2,5 % р-ра желатина	–	1) 1 М HCl 2) 1 М H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 3) 1 М NaOH (пробирки)
25	Гель H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	10 мл 15 % -ного р-ра силикатного клея или «жидкого» стекла	1) 50 % CH <sub>3</sub> COOH до pH < 7 2) (CH <sub>3</sub> COO) <sub>2</sub> Pb насыщ. V <sub>соли</sub> ≈ V <sub>кислоты</sub> 3) –	1) гранула Zn 2) гранула Zn 3) гранула Zn  (пробирки)
		Нагреть до кипения, затем охладить		

**Помните:**

- Число опытов в соответствии с заданием определяется либо изменениями в студне, либо составом дополнительного раствора, либо составом раствора над студнем или гелем, что в табл. 25 отмечено цифрами.

- В табл. 25 объемы и концентрации растворов для получения студня или геля заданы в расчете на один опыт, т. е. на один сосуд.

2.2. Получите студень из раствора ВМВ, приготовленного лаборантом.

2.2.1. Разбавьте приготовленный раствор ВМВ водой или водным раствором вещества в соответствии с вариантом, указанным в табл. 25.

2.2.2. Тщательно перемешайте полученный раствор ВМВ (желатина или агар-агара) и налейте его в пробирки, U-образные трубки или цилиндры примерно в одинаковых объемах, а в чашки Петри – тонким слоем (~ 3 мм).

2.2.3. Охладите полученные растворы. Дождитесь их полного застудневания (потери текучести).

2.3. Получите гель кремниевой кислоты.

2.3.1. Возьмите жидкое стекло (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) или силикатный клей, прибавьте к нему воду до получения раствора с плотностью 1,06 г/см<sup>3</sup>, т. е. разбавьте в 2–4 раза, и полученный раствор налейте в пробирки, стаканы или цилиндры в объемах, указанных в задании (табл. 25).



2.3.2. К раствору силиката натрия в каждом сосуде при перемешивании стеклянной палочкой добавляйте смесь растворов уксусной кислоты и ацетата свинца. При этом происходит быстрое гелеобразование (потеря текучести).

2.4. Проведение процессов в студнях и гелях:

2.4.1

- Налейте на поверхность студня или геля в пробирках, U-образных трубках или цилиндрах растворы веществ, указанных в задании (табл. 25), в таком объеме, чтобы высота слоя была около 1 см.

- В центр поверхности студня в чашках Петри внесите 1–2 капли указанного раствора.

- Гранулы или стержни металлов вдавите в студень на глубину около 1 см с помощью стеклянной палочки.

- Сфотографируйте студни (гели) в сосудах.

2.4.2. Закройте сосуды пробками или часовыми стеклами, поставьте их в затемненное место на несколько суток, но не более недели.

2.4.3. Сфотографируйте студни (гели) в сосудах через сутки, несколько суток, через неделю.

2.4.4. Измерьте линейкой глубину проникновения окрашенных веществ в студень или гель, обратите внимание на вид границы.

2.4.5. Сосчитайте количество окрашенных полос, кругов, участков, укажите, как меняется расстояние между ними.

2.4.6. Определите форму новообразований в студне или геле.

### 3. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

3.1. Внимательно рассмотрите все фотографии (зарисуйте или схематически изобразите процессы в системах), отметьте изменения в студне или геле в результате протекания в них процессов и определите, какие процессы протекали.

3.2. Напишите уравнения всех возможных реакций, протекающих в системе, и укажите место их протекания: в растворе, на поверхности или внутри студня или геля.

3.3. Укажите, какие молекулы или ионы диффундируют, и охарактеризуйте их по скорости диффузии.

3.4. Отметьте, какие ионы, молекулы или частицы индифферентны к студню или гелю, а какие – неиндифферентны.

3.5. Оцените структуру студня или геля: рыхлость, равномерность ячеек и т. д.

3.6. Определите, влияние какого фактора на процессы в студнях и гелях изучено, что при этом установлено, с какими эмпирическими или теоретическими закономерностями согласуются результаты опыта.

### 4. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

4.1. Назовите методы и условия получения студня или геля.



4.2. Охарактеризуйте процесс диффузии в студень и гель: тип диффундирующих частиц и их скорость, подчинение уравнению Эйнштейна.

4.3. Определите типы химических реакций (обмена, нейтрализации, гидролиза и т. д.), протекающих в студне или геле.

4.4. Охарактеризуйте продукты химической реакции в студне или геле по растворимости, по месту образования в системе, по влиянию на структуру студня или геля.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какую систему называют студнем?
2. Как можно получить студень?
3. Какую систему называют гелем?
4. Какими методами получают гели, при каких условиях?
5. Чем отличаются студни от гелей?
6. Какие структурно-механические свойства присущи студням и гелям?
7. Что такое синерезис, в каких системах он возможен?
8. Каковы особенности диффузии в студнях и гелях?
9. Какие реакции возможны в студнях и гелях?
10. Каковы особенности протекания химических реакций в студнях и гелях?
11. Какие факторы влияют на процессы структурообразования?
12. Чем отличается студнеобразование от гелеобразования?
13. Как можно разрушить студни и гели?
14. Какими методами можно исследовать студни и гели?
15. Что такое тиксотропия?

## ***РАБОТА 10. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСПЕРСНЫХ ПРИМЕСЕЙ В ВОДОПРОВОДНОЙ, ПРИРОДНОЙ И ТЕХНИЧЕСКОЙ ВОДЕ (УИРС)***

**Цель работы:** исследовать воду на наличие в ней примесей в виде дисперсных систем. Предложить оптимальные методы очистки воды от дисперсных примесей.

**Методы исследования:** визуальное наблюдение; фотоэлектроколориметрия (турбидиметрия); электрофорез; вискозиметрия; рН-метрия; кондуктометрия.

**Приборы и оборудование:** фотоэлектроколориметр; выпрямитель тока; электролитическая ячейка в виде U-образной трубки с графитовыми электродами; прибор для наблюдения конуса Тиндаля; рН-метр; кондуктометр; вискозиметр Оствальда; фотоаппарат; бумажные фильтры и др.

**Посуда:** пробирки на 10–20 мл; конические колбы на 50 и 100 мл; мерные колбы на 50 мл; мерные цилиндры на 25–50 мл; мерные пипетки на 1–10 мл; бюретка на 25 мл и др.

**Реактивы:** вода для исследования: водопроводная, техническая, природная; растворы электролитов и других веществ в соответствии с планом исследования.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Составьте обзор литературных данных и электронных источников информации по составу и обнаружению всех возможных дисперсных примесей (систем), которые могут находиться в воде, предлагаемой для исследования. Рассмотрите предлагаемые методы очистки воды от дисперсных примесей.

## 2. РАЗРАБОТКА ПЛАНА ИССЛЕДОВАНИЯ

На основании обзора литературных данных и других источников информации составьте план исследования предлагаемой воды. Для обнаружения дисперсных примесей используют основные методы исследования дисперсных систем, которые основаны на их оптических, молекулярно-кинетических и электрокинетических свойствах (работа 1; рис. 5, 6, 8, табл. 1). Если примеси в виде дисперсных систем будут обнаружены, то рассмотрите возможность самопроизвольного разрушения (коагуляции) дисперсных систем в зависимости от времени выдерживания, исследуйте свойства дисперсных систем и методы их разрушения под действием электролитов и физико-химических факторов (работы 1, 5, 6; рис. 11–13, табл. 2). Предлагаются варианты плана исследования различных типов воды.

### 2.1. Водопроводная вода

В соответствии с государственными стандартами Российской Федерации (приложения 2–4) в водопроводной воде должно содержаться минимальное количество примесей различных химических веществ, в том числе в виде дисперсных систем (показатели воды: цветность и мутность). Однако в воде могут появиться примеси, в том числе и в виде дисперсных систем, за счет вторичных загрязнений. Один из вариантов вторичного загрязнения – это **дисперсные (коллоидные) примеси в виде гидроксида железа (III)**, которые могут появиться вследствие коррозии стальных водопроводных труб<sup>1</sup>. В этом случае можно предложить следующий план исследования:

2.1.1. Проведение визуального наблюдения на предмет обнаружения цветности, мутности, наличия осадка в момент отбора воды и при выдерживании воды в течение определённого времени. Если такие признаки имеются, можно предположить наличие дисперсных (коллоидных) примесей в исследуемой воде, что можно подтвердить наблюдением конуса Тиндаля.

<sup>1</sup> Коваленко М. К., Оклей Л. С., Яргаева В. А. Исследование коллоидных примесей в водопроводной воде здания Тихоокеанского государственного университета // Материалы секционных заседаний 58-й студ. науч.-практ. конф. Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. Т. 1. С. 433–437.



2.1.2. Проведение качественного анализа по обнаружению ионов  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$ , переводя железо из гидроксида в раствор при добавлении кислоты, с использованием реактивов:  $\text{NH}_4\text{CNS}$  (красное окрашивание с  $\text{Fe}^{3+}$ ),  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  (синее окрашивание с  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  (синее окрашивание с  $\text{Fe}^{3+}$ ).

2.1.3. При обнаружении ионов железа проведение количественного анализа. Определение содержания железа методом фотоэлектроколориметрии по стандартной методике: ГОСТ 4011-72 «Вода питьевая. Методы измерения массовой концентрации общего железа».

2.1.4. Исследование в динамике всеми возможными методами (визуальное наблюдение, фотоэлектроколориметрия (турбидиметрия), электрофорез), как повлияет на цветность, мутность, появление осадка выдерживание воды в течение выбранных промежутков времени, например 1 часа, 1 суток, 1 недели.

2.1.5. Определение заряда частиц дисперсной фазы методом электрофореза или бумажной хроматографии.

2.1.6. Исследование действия электролитов с различным зарядом ионов-коагуляторов с целью разрушения (коагуляции) дисперсной системы, определение порога коагуляции.

2.1.7. Исследование разрушения дисперсной системы, используя все возможные методы: отстаивание, фильтрация, адсорбция, коагуляция и др. для выбора оптимальных методов очистки воды от дисперсных примесей.

## 2.2. Природная вода

В зависимости от источника природной воды (речная, озёрная, талая и т. п.), места отбора проб и др. факторов дисперсные примеси могут быть разнообразными. Наиболее вероятными являются дисперсные системы с твёрдой дисперсной фазой в виде частиц глины ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), известняка ( $\text{CaCO}_3$ ), кремниевой кислоты ( $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ), гумусовых веществ, вымываемых из почв и торфяников. Кроме того, это могут быть частицы органических веществ различных типов, поступающих в воду совместно с сельскохозяйственными стоками и другими типами недостаточно очищенных стоков. В пункты плана можно включить методы определения ряда показателей качества воды (приложения 2–4), которые доступны в данной конкретной лаборатории. Варианты плана могут быть разными.

Предлагается следующий план:

2.2.1. Исследование воды на наличие дисперсных примесей, используя методы визуального наблюдения, фотоэлектроколориметрию (турбидиметрию), наблюдение конуса Тиндаля, электрофорез и др. (как рекомендуется в п. 2.1.1).

2.2.2. Исследование одним из выбранных методов, как повлияет на цветность, мутность, появление осадка выдерживание воды в течение 1 часа, 1 суток, 1 недели.

2.2.3. Определение заряда частиц дисперсной фазы методом электрофореза или бумажной хроматографии.

2.2.4. Измерение (определение) показателей воды: рН, электрической проводимости, удельной вязкости и др. для обнаружения других возможных примесей.

2.2.5. Исследование действия электролитов с различным зарядом ионов-коагуляторов с целью разрушения (коагуляции) дисперсной системы, определение порогов коагуляции, если это возможно.

2.2.6. Исследование всех возможных методов разрушения дисперсной системы (п. 2.1.7) для выбора оптимальных методов очистки воды от дисперсных примесей.

### 2.3. Техническая вода

Техническая вода в зависимости от источника происхождения может содержать дисперсные системы (примеси) как с твердыми, так и жидкими частицами дисперсной фазы самой разнообразной химической природы, в том числе примеси ПАВ или (и) ВМВ.

Например, техническая вода на нефтеперерабатывающем заводе может содержать дисперсные примеси в виде эмульсии М/В, где М (масло) – это нефть или продукты её переработки. В этом случае пункты плана – это, по сути, исследование свойств и устойчивости эмульсии (работа 6).

Для составления плана исследования необходимо иметь предварительную *информацию об источнике происхождения технической воды* и её возможном составе (содержании наиболее вероятных примесей). Одним из признаков наличия ВМВ или коллоидных ПАВ может служить величина удельной вязкости исследуемой воды.

Варианты плана исследования могут быть различными. Один из вариантов плана исследования предлагается в п. 2.2.1 – 2.2.6 данной работы.

*Помните, что план исследования любой воды составляется с учетом природы, размера, агрегатного состояния предполагаемых, заявленных или обнаруженных дисперсных примесей в воде и др. факторов, а также от материальной базы лаборатории (наличия приборов, оборудования и реактивов).*

## 3. ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

Для практической реализации плана исследования используйте методики, предлагаемые в работах данного пособия или взятые из литературных данных и электронных источников информации.

3.1. **Исследование воды на наличие дисперсных примесей** с использованием методов визуального наблюдения различных оптических свойств, наблюдение конуса Тиндаля (см. работу 1, п. 2.2, 2.3, 2.5).

Увеличение цветности и мутности воды, например при выдерживании воды в течение определенного времени, приводит к увеличению оптической плотности  $A(D)$ , которая служит аналитическим сигналом в методе фотоэлектроколориметрии (турбидиметрии). Поэтому метод можно использовать в качестве



контроля воды на содержание и тип дисперсных примесей на различных этапах исследования (см. работу 3).

**3.2. Определение заряда дисперсных частиц** методом электрофореза или бумажной хроматографии (см. работу 1, п. 2.4).

**3.3. Исследование коагуляции** дисперсных (коллоидных) систем электролитами с целью определения порога коагуляции (см. работу 2, вариант 2, п. 2.2.3–2.2.8 или вариант 3, п. 2.3.3–2.3.5).

**3.4. Измерение pH и электрической проводимости** исследуемой воды в случае необходимости проводить на pH-метре и кондуктометре, соответственно.

**3.5. Определение вязкости** исследуемой воды (см. работу 8, опыт 4, п. 2.4.1–2.4.4).

**3.6. Проведение качественного (количественного) анализа** на обнаружение (содержание), например, ионов  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^3$ , если в воде предполагается наличие коллоидных примесей в виде гидроксида железа (III), проводить по соответствующим методикам, заявленным в плане исследования.

**3.7. Разрушение дисперсных систем** (удаление дисперсных примесей из исследуемой воды) разными методами:

- отстаивание воды в течение планируемого времени;
- фильтрование с использованием бумажных (тканевых и др.) фильтров;
- пропускание исследуемой воды через колонку (например, бюретку или делительную воронку), заполненную адсорбентом (рассмотреть различные варианты адсорбентов);
- фильтрование с использованием специальных фильтров-адсорбентов для очистки воды с различным составом;
- коагуляция электролитами с максимальным зарядом иона-коагулятора или электрокоагуляция (длительный электрофорез) с дальнейшим удалением осадка фильтрованием и др.

Используйте в качестве контроля очистки воды от примесей измерение оптической плотности методом фотоэлектроколориметрии (турбидиметрии) до и после отстаивания, фильтрации, адсорбции, коагуляции и т. п.

**Примечание:**

Фотографируйте пробы исследуемой воды в процессе всех этапов исследования, в которых изменяется цветность, мутность воды или образуется осадок. Снимайте видео наиболее интересных и важных, с Вашей точки зрения, моментов исследования.

## 4. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Если проведённые исследования подтверждают наличие дисперсных примесей в воде, сведите все полученные результаты экспериментов по каждому из пунктов плана в таблицы, например, как табл. 6 (работа 1), табл. 8 или 9 (работа 2) и т. п.





Предложите свои варианты оформления экспериментальных данных в виде таблиц, схем или диаграмм по каждому из пунктов плана.

Внимательно проанализируйте результаты исследования, как показано в соответствующих работах, и сделайте выводы. Предлагаются пункты выводов.

## 5. ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

5.1. Перечислите визуальные признаки, подтверждающие наличие дисперсных примесей в воде.

5.2. Определите тип дисперсных примесей (систем), по всем классификационным признакам дисперсных систем. Предположите, системы являются монодисперсными или полидисперсными.

5.3. Перечислите, какие оптические и электрокинетические свойства характерны для обнаруженных дисперсных систем. Какие молекулярно-кинетические свойства могут проявлять дисперсные частицы?

5.4. Оцените устойчивость дисперсных систем во времени.

5.5. Укажите, какие факторы вызывают разрушение (коагуляцию) дисперсных систем (оцените возможность спонтанной коагуляции).

5.6. Золи (коллоидные системы) каких веществ обнаружены в воде? На основании каких проведённых исследований делается этот вывод?

5.7. Укажите, как изменяется агрегативная и кинетическая устойчивость зольей под действием электролитов.

5.8. Дайте сравнительную характеристику коагулирующего действия ионов на коллоидную систему и определите, согласуются ли экспериментальные пороги коагуляции ионов с теоретическими закономерностями.

5.9. Оцените эффективность действия электролитов-коагуляторов на коагуляцию и устойчивость исследуемой коллоидной системы.

5.10. Предположите на основании величины удельной вязкости исследуемой воды и источника её происхождения, какие примеси могут быть в воде.

5.11. Укажите на основании проведённых исследований, какие методы разрушения дисперсных систем (удаление дисперсных примесей из исследуемой воды) оказались наиболее эффективными.

5.12. Предложите оптимальные методы очистки воды от обнаруженных дисперсных примесей.

5.13. Сравните результаты исследований предлагаемой воды с литературными данными и электронными источниками информации.

## 6. ПОДГОТОВКА ДОКЛАДА - ПРЕЗЕНТАЦИИ

На основании проведённых исследований подготовьте мультимедийный доклад-презентацию с включением наиболее важных результатов исследования в виде рисунков, таблиц, диаграмм, графиков, фото и видео, также основных выводов по результатам исследования для выступления на предметной конференции по дисциплине или студенческой научно-практической конференции.

#### IV. МНОГОВАРИАНТНЫЕ ЗАДАЧИ

Многовариантные задачи предназначены для самостоятельной работы студентов, а также для текущего и рубежного контроля знаний по данному разделу дисциплины.

Названия задач соответствуют определенным характеристикам, закономерностям и свойствам дисперсных систем. Некоторые задачи профессионально ориентированы.

При решении задач следует использовать теоретический материал по соответствующей теме, изложенный в настоящем пособии в разделе I «Теоретические основы физико-химии дисперсных систем в схемах, рисунках, таблицах» или в учебных пособиях, указанных в списке литературы [1–16]. Следует внимательно изучить предлагаемые примеры решения типовых задач.

#### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

##### Получение дисперсных систем и их характеристика

**Пример 1.** Методом механического диспергирования 5 г толуола в 1 л воды получена дисперсная система с частицами толуола шарообразной формы с радиусом  $2,5 \cdot 10^{-7}$  м. Плотность толуола равна  $0,867$  г/см<sup>3</sup>.

1. Рассчитайте дисперсность системы  $D$  и удельную поверхность  $S_{уд}$ .
2. Определите тип системы по всем классификационным признакам.
3. Рассчитайте параметры частицы толуола: объем  $V_0$ , поверхность  $S_0$ , массу  $m_0$ .
4. Рассчитайте общую поверхность всех частиц  $S$  и число частиц  $N$  в дисперсной системе.

##### Р е ш е н и е

1. Определяем дисперсность системы  $D$  и удельную поверхность  $S_{уд}$  (см. рис. 1).

$D = 1/a$ , где  $a$  – размер частицы (диаметр шара или длина ребра куба).

Для шарообразной частицы  $a = 2r$ :

$$D = \frac{1}{2 \cdot 2,5 \cdot 10^{-7}} = 2 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1} = 2 \text{ мкм}^{-1}.$$

$S_{уд} = S/V = 6 D$  (для частиц шарообразной формы), где  $S$  – поверхность частиц,  $V$  – объем частиц:

$$S_{уд} = 6 \cdot 2 \cdot 10^6 = 1,2 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}.$$

2. Определяем тип системы (см. рис. 2).

2.1. По дисперсности система – грубодисперсная (микрогетерогенная), т. к. размер частиц попадает в интервал  $10^{-7} - 10^{-5}$  м.

2.2. По агрегатному состоянию дисперсной фазы и дисперсионной среды система – эмульсия, т. к. фаза и среда являются жидкостями.

2.3. По наличию или отсутствию взаимодействия между частицами дисперсной фазы и частицами дисперсионной среды система – свободно-дисперсная.

2.4. По степени взаимодействия дисперсной фазы и дисперсионной среды система – лиофобная (гидрофобная), т. к. практически отсутствует взаимодействие между толуолом и водой.

3. Рассчитываем параметры шарообразной частицы толуола.

$$V_0 = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{4}{3} \cdot 3,14 (2,5 \cdot 10^{-7})^3 = 6,54 \cdot 10^{-20} \text{ м}^3;$$

$$S_0 = 4\pi r^2 = 4 \cdot 3,14 (2,5 \cdot 10^{-7})^2 = 7,85 \cdot 10^{-13} \text{ м}^2;$$

$$m_0 = \rho V_0 = 0,867 \cdot 10^3 \cdot 6,54 \cdot 10^{-20} = 5,67 \cdot 10^{-17} \text{ кг};$$

$$\rho = 0,867 \text{ г/см}^3 = 0,867 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3.$$

4. Рассчитываем общую поверхность частиц  $S$  и число частиц  $N$  в дисперсной системе.

I способ

$S = S_{уд} \cdot V$ , где  $V$  – объем всех частиц;

$$V = m/\rho = \frac{5}{0,867} = 5,767 \text{ см}^3 = 5,767 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$S = 1,2 \cdot 10^7 \cdot 5,767 \cdot 10^{-6} = 69,2 \text{ м}^2;$$

$$N = V/V_0 = \frac{5,767 \cdot 10^{-6}}{6,54 \cdot 10^{-20}} = 8,82 \cdot 10^{13} \text{ шт.}$$

II способ

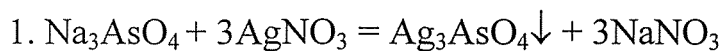
$$N = m/m_0 = \frac{5 \cdot 10^{-3}}{5,67 \cdot 10^{-17}} = 8,82 \cdot 10^{13} \text{ шт.};$$

$$S = N \cdot S_0 = 8,82 \cdot 10^{13} \cdot 7,85 \cdot 10^{-13} = 69,2 \text{ м}^2.$$

**Пример 2.** Коллоидный раствор (гидрозоль) получили при смешивании 10 мл 0,01 М раствора  $\text{Na}_3\text{AsO}_4$  и 20 мл 0,013 М раствора  $\text{AgNO}_3$ .

1. Напишите уравнение реакции и определите, какой из продуктов реакции образует гидрозоль.
2. Рассчитайте, какое из исходных веществ –  $\text{Na}_3\text{AsO}_4$  или –  $\text{AgNO}_3$  взято в избытке. Определите, какие ионы будут потенциалопределяющими (ПОИ), а какие – противоионами.
3. Напишите формулу мицеллы образовавшегося золя, укажите заряд коллоидной частицы (гранулы).

**Решение**



гидрозоль образует  $\text{Ag}_3\text{AsO}_4$ , т. к. плохо растворяется в воде (рис. 1).

2. Рассчитываем, какое из исходных веществ взято в избытке, для этого найдем число моль эквивалентов каждого из исходных веществ:

$n_{\text{эк}}(B) = V \cdot C_m \cdot Z$ , где  $V$  – объем раствора, л;  $C_m$  – молярная концентрация, моль/л;  $Z$  – число эквивалентности вещества.



$$n_{\text{эк}}(\text{Na}_3\text{AsO}_4) = 10 \cdot 10^{-3} \cdot 0,013 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

$$Z(\text{Na}_3\text{AsO}_4) = 3$$

$$n_{\text{эк}}(\text{AgNO}_3) = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 0,013 \cdot 1 = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ моль}$$

$$Z(\text{AgNO}_3) = 1$$

В избытке взят  $\text{Na}_3\text{AsO}_4$ . Следовательно, потенциалопределяющими ионами (ПОИ) являются  $\text{AsO}_4^{3-}$ , т. к. они имеют общие химические элементы с осадком  $\text{Ag}_3\text{AsO}_4$  (см. рис. 4), а противоионами – ионы  $\text{Na}^+$ . Заряд коллоидной частицы будет отрицательным.

3. Формула мицеллы золя арсената серебра в соответствии с рис. 4 будет иметь

$$\text{вид } \left\{ m[\text{Ag}_3\text{AsO}_4] \cdot n\text{AsO}_4^{3-} \cdot 3(n-x)\text{Na}^+ \right\}^{3x-} \cdot 3x\text{Na}^+.$$

**Пример 3.** Бериллат натрия  $\text{Na}_2\text{BeO}_2$  в водном растворе гидролизует по схеме  $\text{Na}_2\text{BeO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Be}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NaOH}$ , что приводит к образованию гидрозоля гидроксида бериллия. Напишите формулы всех возможных мицелл гидрозоля гидроксида бериллия, учитывая, что в растворе могут находиться ионы бериллия.

**Р е ш е н и е**

1. Потенциалопределяющими ионами могут быть ионы бериллата  $\text{BeO}_2^{2-}$ , так как гидролиз соли – обратимый процесс, а противоионами – ионы  $\text{Na}^+$ . Тогда формула мицеллы золя  $\text{Be}(\text{OH})_2$  будет иметь вид:

$$\left\{ m[\text{Be}(\text{OH})_2] \cdot \text{BeO}_2^{2-} \cdot 2(n-x)\text{Na}^+ \right\}^{2x-} \cdot 2x\text{Na}^+.$$

2. Потенциалопределяющими ионами могут быть гидроксид-ионы  $\text{OH}^-$ , так как они получаются в результате гидролиза соли, а противоионами – ионы  $\text{Na}^+$ .

Формула мицеллы золя

$$\left\{ m[\text{Be}(\text{OH})_2] \cdot n\text{OH}^- \cdot (n-x)\text{Na}^+ \right\}^{x-} \cdot x\text{Na}^+.$$

### Молекулярно-кинетические, оптические и электрокинетические свойства дисперсных систем

**Пример 4.** Предскажите, какие молекулярно-кинетические, оптические, электрокинетические свойства могут проявляться для каждой из дисперсных систем:

- 1) табачного дыма ( $r = 5 \cdot 10^{-7}$  м);
- 2) гидрозоля берлинской лазури ( $r = 2 \cdot 10^{-8}$  м);
- 3) суспензии глины в воде ( $r = 2 \cdot 10^{-5}$  м);
- 4) студня крахмала.

Укажите, какие из систем могут проявлять структурно-механические свойства.

### Р е ш е н и е

1. Табачный дым относится к лиофобным грубодисперсным, свободно-дисперсным системам (см. рис.2). Может проявлять:

- молекулярно-кинетические свойства (см. рис. 5): седиментацию, броуновское движение и диффузию;
- оптические свойства (см. рис. 6): отражение света, светорассеяние.

Электрокинетические свойства и структурно-механические свойства отсутствуют.

2. Гидрозо́ль берлинской лазури относится к лиофобным, высокодисперсным, свободно-дисперсным системам. Может проявлять:

- молекулярно-кинетические свойства: броуновское движение, диффузию, осмос;
- оптические свойства: светопоглощение (золь окрашен), светорассеяние;
- электрокинетические свойства: электрофорез;
- структурно-механические свойства: вязкость.

3. Суспензия глины в воде относится к лиофильным, грубодисперсным, свободно-дисперсным системам. Может проявлять:

- молекулярно-кинетические свойства: седиментацию;
- оптические свойства: отражение света, светорассеяние;
- электрокинетические свойства: электрофорез, потенциал седиментации.
- структурно-механические свойства: вязкость.

4. Студень крахмала относится к лиофильным, молекулярнодисперсным, связно-дисперсным системам. Не проявляет молекулярно-кинетические и электрокинетические свойства. Может проявлять:

- оптические свойства: светорассеяние, частично светопоглощение.
- структурно-механические свойства: прочность, пластичность, эластичность.

**Пример 5.** Определите радиус и коэффициент диффузии  $D$ , среднеквадратичный сдвиг  $(\bar{\Delta})$  частицы гидрозоля серы за время  $t = 10$  с. Дисперсность частиц равна  $10 \text{ мкм}^{-1}$ , температура опыта  $293 \text{ К}$ , вязкость среды  $\eta = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

### Р е ш е н и е

Коэффициент диффузии можно рассчитать по уравнению Эйнштейна (см. рис. 5):

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

Чтобы найти радиус частиц  $r$ , используем величину дисперсности  $D = 10 \text{ мкм}^{-1} = 10 \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$ .

$$D = \frac{1}{2r}, \text{ откуда } r = \frac{1}{2D} = \frac{1}{2 \cdot 10 \cdot 10^6} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ м};$$
$$D = \frac{8,314 \cdot 293}{6 \cdot 3,14 \cdot 1,0 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-8} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 4,29 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}.$$





Среднеквадратичный сдвиг частицы  $\bar{\Delta}$  за промежуток времени  $t$  определяем по уравнению Эйнштейна-Смолуховского (см. рис. 5).

$$(\bar{\Delta})^2 = \frac{RTt}{3\pi\eta r N_A} = 2Dt, \quad \text{откуда}$$

$$\bar{\Delta} = \sqrt{2Dt} = \sqrt{2 \cdot 4,29 \cdot 10^{-12} \cdot 10} = 9,26 \cdot 10^{-6} \text{ м} = 9,26 \text{ мкм}.$$

**Пример 6.** Рассчитайте осмотическое давление гидрозоля диоксида кремния с массовой концентрацией 40,5 г/л при 291 К. Удельная поверхность частиц  $S_{уд} = 5,94 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$ , плотность частиц гидрозоля  $\rho = 2,2 \text{ г/см}^3$ .

**Решение**

Осмотическое давление в дисперсных системах можно рассчитать по уравнению Вант-Гоффа (см. рис. 5).

$P_{осм.} = \frac{\nu}{N_A} RT = \frac{C}{m_0} kT$ , где  $\nu$  – частичная (численная) концентрация;  $C$  – массовая концентрация частиц,  $\text{кг/м}^3$ ;  $m_0$  – масса одной частицы,  $\text{кг}$ ;  $k$  – константа Больцмана:

$$k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}.$$

Для сферической частицы с радиусом  $r$

$$m_0 = \frac{4}{3} \pi r^3 \cdot \rho.$$

Радиус выражаем через  $S_{уд}$ :

$$S_{уд} = \frac{6}{2r} = \frac{3}{r}; \quad r = \frac{3}{S_{уд}}; \quad \rho = 2,2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3;$$

$$m_0 = \frac{4}{3} \pi \left( \frac{3}{S_{уд}} \right)^3 \cdot \rho = \frac{4\pi \cdot 3^2 \cdot \rho}{S_{уд}^3} = \frac{36 \cdot \pi \cdot \rho}{S_{уд}^3} = \frac{36 \cdot 3,14 \cdot 2,2 \cdot 10^3}{(5,94 \cdot 10^8)^3} = 1,19 \cdot 10^{-21} \text{ кг};$$

$$C = 40,5 \text{ г/л} = 40,5 \text{ кг/м}^3.$$

$$P_{осм} = \frac{40,5}{1,19 \cdot 10^{-21}} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 291 = 136,67 \text{ Па}.$$

**Пример 7.** Частицы глины шарообразной формы с радиусом  $r = 6,25 \cdot 10^{-7} \text{ м}$  оседают в водной среде под действием сил тяжести. Определите время оседания  $t$  частиц на расстояние  $h = 0,2 \text{ м}$ , если плотность глины  $\rho = 2,71 \text{ г/см}^3$ , плотность водной среды  $\rho_0 = 1,01 \text{ г/см}^3$ , вязкость среды  $\eta = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$ .

**Решение**

Скорость оседания  $U$  шарообразных частиц с радиусом  $r$  в сплошной среде подчиняется закону Стокса (см. рис. 5):

$v = \frac{h}{t} = \frac{2g(\rho - \rho_0)r^2}{9\eta}$ , где  $g$  – ускорение силы тяжести;  $\rho$ ,  $\rho_0$  – плотности фазы и среды,  $\text{кг/м}^3$ .

Выражаем время оседания  $t$  частиц на расстояние  $h$ :

$$t = \frac{h \cdot 9\eta}{2g(\rho - \rho_0)r^2} = \frac{0,2 \cdot 9 \cdot 1,2 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 9,81(2,71 - 1,01) \cdot 10^3 \cdot (6,25 \cdot 10^{-7})^2} = 1,66 \cdot 10^5 \text{ с.}$$

**Пример 8.** Определите дисперсность гидрозоля золота, если при 291 К установилось седиментационно-диффузионное равновесие распределения частиц на высоте  $h = 7,5$  см частичная концентрация уменьшилась в 2,3 раза. Плотность золота  $\rho = 19,3 \text{ г/см}^3$ , плотность воды  $\rho_0 = 1,0 \text{ г/см}^3$ .

**Решение**

При установлении седиментационно-диффузионного равновесия распределение частиц по высоте описывается уравнением Лапласа (см. рис. 5)

$\ln \frac{v_h}{v_0} = -\frac{V_0 \cdot g(\rho - \rho_0)h}{kT}$ , где  $v_h$ ,  $v_0$  – частичные концентрации на высоте  $h$  и на исходной высоте  $h_0$ ,  $V_0$  – объем частицы,  $\text{м}^3$ ;  $\rho$ ,  $\rho_0$  – плотности фазы и среды,  $\text{кг/м}^3$ .

Для сферической частицы  $V_0 = \frac{4}{3}\pi r^3$ .

По условию задачи  $v_0/v_h = 2,3$ ;  $\rho = 19,3 \text{ г/см}^3 = 19,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;  $\rho_0 = 1,0 \text{ г/см}^3 = 1,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;  $h = 7,5 \text{ см} = 7,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ :

$$\ln \frac{v_0}{v_h} = \frac{4\pi r^3 g(\rho - \rho_0) \cdot h}{3kT},$$

откуда выражаем радиус частицы

$$r = \sqrt[3]{\frac{\ln \frac{v_0}{v_h} \cdot 3kT}{4\pi g(\rho - \rho_0) \cdot h}} = \sqrt[3]{\frac{\ln 2,3 \cdot 3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 291}{4 \cdot 3,14 \cdot 9,81(19,3 - 1,0) \cdot 10^3 \cdot 7,5 \cdot 10^{-2}}} = 3,9 \cdot 10^{-9} \text{ м.}$$

Дисперсность  $D$  рассчитываем по формуле

$$D = \frac{1}{2r} = \frac{1}{2 \cdot 3,9 \cdot 10^{-9}} = 12,8 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} = 128 \text{ мкм}^{-1}.$$

**Пример 9.** Поток света с длиной волны  $\lambda = 540 \text{ нм}$  проходит через эмульсию бензола в воде с толщиной слоя 3 см и ослабляется в результате светорассеяния в 1,85 раза. Рассчитайте дисперсность частиц эмульсии, если содержание бензола: 1) 0,8 % (об); 2) 0,6 г/л. Плотность бензола  $\rho = 0,869 \text{ г/см}^3$ , показатели преломления бензола и воды  $n_1 = 1,501$ ,  $n_0 = 1,333$ . Свет рассеивается в соответствии с уравнением Рэлея, а интенсивность прошедшего через эмульсию света ослабляется по закону Бугера – Ламберта – Бера.

### Р е ш е н и е

Уравнение Рэлея для интенсивности света  $I_p$ , рассеянного дисперсной системой, имеет вид (см. рис. 6)

$I_p = I_0 B \frac{v V_0^2}{\lambda^4} = I_0 \cdot \tau$ , где  $I_0$  – интенсивность падающего света;  $v$  – частичная (численная) концентрация,  $\text{м}^{-3}$ ;  $V_0$  – объем частицы дисперсной фазы,  $\text{м}^3$ ;  $\tau$  – мутность дисперсной системы,  $B$  – коэффициент, зависящий от показателей преломления дисперсной фазы  $n_1$  и дисперсионной среды  $n_0$ :

$$B = 24\pi^3 \left( \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2;$$

$$v = \frac{C}{m_0} \text{ или } v = \frac{\varphi}{V_0},$$

где  $C$  – массовая концентрация дисперсной фазы,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\varphi$  – объемная доля дисперсной фазы;

$m_0$ ,  $V_0$  – масса и объем частицы дисперсной фазы.

Для сферической частицы

$$V_0 = \frac{4}{3}\pi r^3.$$

Интенсивность света при прохождении через бесцветную дисперсную систему уменьшается в соответствии с уравнением Бугера – Ламберта – Бера (см. рис. 6):

$$I_{\pi} = I_0 \cdot e^{-A l} = I_0 \cdot e^{-\tau l} \text{ или } A = \lg \frac{I_0}{I_{\pi}} = \frac{\tau l}{2,3},$$

где  $I_{\pi}$  – интенсивность света, прошедшего через дисперсную систему;

$l$  – толщина поглощающего слоя,  $\text{м}$ ;

$\tau = A_p C$ ;  $A_p$  – молярный коэффициент светорассеяния;

$C$  – молярная концентрация;

$A$  – оптическая плотность:  $A = \lg(I_0/I_{\pi})$ .

По условию задачи  $\frac{I_0}{I_{\pi}} = 1,85$ .

$$\tau = \frac{2,3 \cdot A}{l} = \frac{2,3 \lg(I_0/I_{\pi})}{l} = \frac{2,3 \cdot \lg 1,85}{0,03} = 20,48 \text{ м}^{-1}.$$

$$1) \varphi = 0,8\% = 0,8 \cdot 10^{-2} = 8 \cdot 10^{-3}.$$

Подставляя выражения для  $v$  и  $V_0$  в уравнение Рэлея, получаем

$$I_p = I_0 \cdot B \cdot \frac{\varphi \cdot 4\pi r^3}{3\lambda^4} = I_0 \tau;$$

$$B = 24\pi^3 \left( \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \right)^2 = 24 \cdot 3,14^3 \left( \frac{1,501^2 - 1,333^2}{1,501^2 + 2 \cdot 1,333^2} \right)^2 = 4,995 \cdot 10^3.$$

Выражение для расчета радиуса капель эмульсии

$$r = \sqrt[3]{\frac{3\lambda^4 \cdot \tau}{B \varphi \cdot 4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot (540 \cdot 10^{-9})^4 \cdot 20,48}{4,995 \cdot 10^3 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 3,14}} = 2,2 \cdot 10^{-8} \text{ м} = 22 \text{ нм}.$$

Дисперсность системы

$$D = \frac{1}{2r} = \frac{1}{2 \cdot 2,2 \cdot 10^{-8}} = 2,27 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1} = 27 \text{ мкм}^{-1}.$$

$$2) C = 0,6 \text{ г/л} = 0,6 \text{ кг/м}^3; m_0 = V_0 \cdot \rho; v = \frac{C}{V_0 \cdot \rho}.$$

Из уравнения Рэлея

$$I_p = I_0 \cdot B \cdot \frac{C \cdot 4\pi r^3}{\rho \cdot 3\lambda^4} = \tau I_0;$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3\lambda^4 \cdot \rho \cdot \tau}{B \cdot C \cdot 4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3(540 \cdot 10^{-9})^4 \cdot 0,869 \cdot 20,48}{4,995 \cdot 10^3 \cdot 0,6 \cdot 4 \cdot 3,14}} = 4,94 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 4,94 \text{ нм};$$

$$D = \frac{1}{2r} = \frac{1}{2 \cdot 4,94 \cdot 10^{-9}} = 1,01 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1} = 101 \text{ мкм}^{-1}.$$

**Пример 10.** Рассчитайте электрокинетический потенциал гидрозоля гидроксида железа, используя следующие данные электрофореза: напряжение 200 В, расстояние между электродами 22 см, смещение границы золя происходит на 2 см за 15 мин. Относительная диэлектрическая проницаемость среды равна 80,1, вязкость среды  $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

**Р е ш е н и е.**

Электрокинетический потенциал  $\zeta$  можно рассчитать по уравнению Гельмгольца – Смолуховского (см. табл. 1)

$$\zeta = \frac{\eta v_{\text{л}}}{\varepsilon \varepsilon_0 E},$$

где  $v_{\text{л}}$  – линейная скорость движения частиц дисперсной фазы, м/с;

$\eta$  – вязкость среды,  $\text{Па} \cdot \text{с}$ ;

$\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

$\varepsilon_0$  – электрическая постоянная, равная  $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$ ;

$E$  – напряженность электрического поля, В/м.

По условию задачи  $E = \frac{U}{l} = \frac{220}{0,22} = 909,09 \text{ В/м};$

$$v_{\text{л}} = \frac{S}{t} = \frac{0,02}{15 \cdot 60} = 2,22 \cdot 10^{-5} \text{ м/с};$$

$$\zeta = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 2,22 \cdot 10^{-5}}{80,1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 909,09} = 3,44 \cdot 10^{-2} \text{ В} = 34,4 \text{ мВ}.$$

**Пример 11.** Рассчитайте объемную скорость переноса среды при электроосмосе, если электрокинетический потенциал на границе водный раствор KCl – стеклянная мембрана равен 66 мВ, сила тока  $I = 3 \cdot 10^{-3}$  А, вязкость дисперсионной среды  $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$  Па · с, относительная диэлектрическая проницаемость среды  $\epsilon = 80,1$ . Удельная электрическая проводимость среды  $\kappa(\infty) = 1,35 \cdot 10^{-2}$  См · м<sup>-1</sup>.

#### Р е ш е н и е

Электрокинетический потенциал, возникающий при электроосмосе, рассчитывают по уравнению Гельмгольца – Смолуховского (см. табл. 1)

$$\zeta = \frac{\eta v_{об} \kappa}{\epsilon \epsilon_0 I},$$

где  $v_{об}$  – объемная скорость движения дисперсионной среды, м<sup>3</sup>/с;

$\kappa(\infty)$  – удельная электрическая проводимость среды, См · м<sup>-1</sup>;

$I$  – сила тока, А.

Выражаем объемную скорость:

$$v_{об} = \frac{\zeta \epsilon \epsilon_0 I}{\eta \kappa} = \frac{66 \cdot 10^{-3} \cdot 80,1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{1 \cdot 10^{-3} \cdot 1,35 \cdot 10^{-2}} = 1,04 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{с}.$$

### Коагуляция дисперсных систем

**Пример 12.** Рассчитайте пороги коагуляции электролитов для золя As<sub>2</sub>S<sub>3</sub>, если для коагуляции 10 мл золя требуется 1,2 мл 0,5 М раствора NaCl, или 0,4 мл 0,036 М раствора MgCl<sub>2</sub>, или 0,1 мл 0,01 М раствора AlCl<sub>3</sub>. Укажите знак заряда коллоидной частицы. Полученные значения порогов коагуляции сопоставьте с закономерностью Дерягина – Ландау.

#### Р е ш е н и е.

Порог коагуляции электролита  $C_k$  рассчитаем по формуле

$$C_k = \frac{C_{эл} \cdot V_{эл}}{V_z + V_{эл}},$$

где  $C_{эл}$  – концентрация электролита;

$V_z, V_{эл}$  – объемы золя и электролита.

$$C_k(\text{NaCl}) = \frac{1,2 \cdot 0,5}{10 + 1,2} = 0,0536 \text{ моль/л} = 53,6 \text{ ммоль/л};$$

$$C_k(\text{MgCl}_2) = \frac{0,4 \cdot 0,036}{10 + 0,4} = 1,38 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л} = 1,38 \text{ ммоль/л};$$

$$C_k(\text{AlCl}_3) = \frac{0,1 \cdot 0,01}{10 + 0,1} = 0,099 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л} = 0,099 \text{ ммоль/л}.$$



В результате расчёта пороги коагуляции солей оказались не равными. Следовательно, ионом – коагулятором является катион соли, так как заряды катионов – разные, а заряды анионов – одинаковые. Если катион является коагулятором, то коллоидная частица в золе должна быть отрицательной.

Порог коагуляции катиона определяется на основании уравнения электролитической диссоциации заданных электролитов: из одной молекулы любой из заданных солей при диссоциации образуется один катион. Поэтому концентрация катиона равна концентрации соли:

$$C_k(\text{катиона}) = C_k(\text{соли}).$$

Найдем соотношение порогов коагуляции катионов этих солей:

$$C_k(\text{Na}^+) : C_k(\text{Mg}^{2+}) : C_k(\text{Al}^{3+}) = 53,6 : 1,38 : 0,026.$$

Разделим пороги коагуляции катионов на порог коагуляции катиона натрия  $C_k(\text{Na}^+)$ . Тогда получим соотношение порогов коагуляции в следующем виде:

$$C_k(\text{Na}^+) : C_k(\text{Mg}^{2+}) : C_k(\text{Al}^{3+}) = 1 : 0,026 : 0,0018.$$

По уравнению Дерягина-Ландау (рис.13) зависимость порогов коагуляции имеет вид:

$$C_k(Z = 1) : C_k(Z = 2) : C_k(Z = 3) = 1 : 0,016 : 0,0014.$$

Полученные результаты согласуются с уравнением Дерягина-Ландау.

**Пример 13.** Для гидрозоля золота с отрицательно заряженными частицами порог коагуляции NaCl равен  $2,6 \cdot 10^{-2}$  моль/л. Рассчитайте пороги коагуляции, вызываемой следующими электролитами:  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .

#### Р е ш е н и е

Коагуляцию гидрозоля золота с отрицательно заряженными коллоидными частицами вызывают положительно заряженные катионы заданных электролитов:  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ .

При электролитической диссоциации одной молекулы заданного электролита-коагулятора NaCl получается один ион натрия  $\text{Na}^+$ . Тогда можно принять, что

$$C_k(\text{Na}^+) = C_k(\text{NaCl}) = 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

Пороги коагуляции ионов-коагуляторов можно вычислить по одной из теоретических закономерностей (рис.13). Воспользуемся уравнением Дерягина-Ландау вида

$$C_k(\text{иона}) = \frac{\text{Const}}{Z^6},$$

где  $Z$  – заряд иона.

Если в это уравнение подставить  $C_k(\text{Na}^+)$ , то получим уравнение вида

$$C_k(\text{Na}^+) = \frac{\text{Const}}{1^6} = \text{Const} = 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

Рассчитаем пороги коагуляции заданных ионов – коагуляторов.

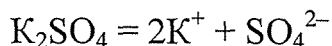
$$C_k(\text{K}^+) = C_k(\text{Na}^+) = 2,6 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л;}$$



$$C_K(\text{Mg}^{2+}) = \frac{2,6 \cdot 10^{-2}}{2^6} = 4,06 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л};$$

$$C_K(\text{Fe}^{3+}) = \frac{2,6 \cdot 10^{-2}}{3^6} = 3,56 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}.$$

Пороги коагуляции заданных электролитов рассчитываются по величине порогов коагуляции ионов на основании соотношения молекул и ионов-коагуляторов в уравнении электролитической диссоциации.



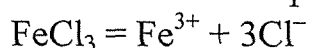
$$1 : 2 \text{ (молярное соотношение)} \quad C_K(\text{K}_2\text{SO}_4) = \frac{C_K(\text{K}^+)}{2} = \frac{2,6 \cdot 10^{-2}}{2} = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}.$$



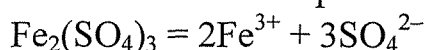
$$1 : 1 \text{ (молярное соотношение)} \quad C_K(\text{MgCl}_2) = \frac{C_K(\text{Mg}^{2+})}{1} = 4,06 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}.$$



$$1 : 1 \text{ (молярное соотношение)} \quad C_K(\text{MgSO}_4) = \frac{C_K(\text{Mg}^{2+})}{1} = 4,06 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}.$$



$$1 : 1 \text{ (молярное соотношение)} \quad C_K(\text{FeCl}_3) = \frac{C_K(\text{Fe}^{3+})}{1} = 3,56 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}.$$



1 : 2 (молярное соотношение)

$$C_K(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{C_K(\text{Fe}^{3+})}{2} = \frac{3,56 \cdot 10^{-5}}{2} = 1,78 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}.$$

**Пример 14.** На коагуляцию коллоидных частиц хлорида серебра из  $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$  сточных вод комбината бытового обслуживания потребовалось  $8,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$  10 %-ного раствора  $\text{NaCl}$  ( $\rho = 1,07 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ). Рассчитайте расход ( $\text{м}^3$ ) 28 %-ного раствора  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  ( $\rho = 1,55 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ ) для извлечения  $\text{AgCl}$  из  $100 \text{ м}^3$  сточных вод, если электрический заряд коллоидных частиц гидрозоля хлорида серебра в этих водах: 1) положительный; 2) отрицательный.

**Р е ш е н и е**

1. Предварительно необходимо рассчитать следующие величины:

1.1. Молярную концентрацию раствора хлорида натрия  $C_M(\text{NaCl})$  по формуле

$$C_M(\text{NaCl}) = \frac{\omega \cdot \rho}{100 \cdot M(\text{NaCl})} = \frac{10 \cdot 1,07 \cdot 10^3}{100 \cdot 58,5 \cdot 10^{-3}} = 1,83 \cdot 10^3 \text{ моль/м}^3,$$

где  $\omega$  – массовая доля  $\text{NaCl}$  в растворе, %;

$\rho$  – плотность раствора  $\text{NaCl}$ ,  $\text{кг/м}^3$ ;

$M(\text{NaCl})$  – молярная масса  $\text{NaCl}$ ,  $\text{кг/моль}$ .

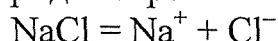


1.2. Порог коагуляции хлорида натрия  $C_K(\text{NaCl})$ , необходимый для очистки сточной воды методом коагуляции, по формуле

$$C_K(\text{NaCl}) = \frac{V_{\text{NaCl}} \cdot C_M(\text{NaCl})}{V_B + V_{\text{NaCl}}} = \frac{8 \cdot 10^{-4} \cdot 1,83 \cdot 10^3}{1,0 \cdot 10^{-2} + 0,08 \cdot 10^{-2}} = 135,6 \text{ моль/м}^3,$$

где  $V_B$  – объем сточных вод,  $\text{м}^3$ ;  
 $V_{\text{NaCl}}$  – объем раствора  $\text{NaCl}$ ,  $\text{м}^3$ .

1.3. Пороги коагуляции ионов натрия  $C_K(\text{Na}^+)$  и иона хлора  $C_K(\text{Cl}^-)$  на основе молярного соотношения молекул и ионов-коагуляторов в уравнении электролитической диссоциации соли хлорида натрия.



1 : 1 (молярные соотношения)  $C_K(\text{Na}^+) = C_K(\text{NaCl}) = 135,6 \text{ моль/м}^3$ ;

$$C_K(\text{Cl}^-) = C_K(\text{NaCl}) = 135,6 \text{ моль/м}^3.$$

1.4. Пороги коагуляции иона железа (III)  $C_K(\text{Fe}^{3+})$  и сульфат-иона  $C_K(\text{SO}_4^{2-})$  по уравнению Дерягина – Ландау:

$$C_K(\text{иона}) = \frac{\text{Const}}{Z^6},$$

где  $Z$  – заряд иона;

$\text{Const} = C_K(\text{Na}^+) = C_K(\text{Cl}^-) = 135,6 \text{ моль/м}^3$ , так как  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  однозарядные ионы:

$$C_K(\text{Fe}^{3+}) = \frac{C_K(\text{Na}^+)}{3^6} = \frac{135,6}{3^6} = 0,186 \text{ моль/м}^3;$$

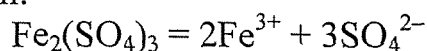
$$C_K(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{C_K(\text{Cl}^-)}{2^6} = \frac{135,6}{2^6} = 2,12 \text{ моль/м}^3;$$

2. Расчёт расхода 28 % -ного раствора коагулятора  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  в  $\text{м}^3$ .

2.1. **Заряд коллоидных частиц  $\text{AgCl}$  – положительный.**

Тогда ионами – коагуляторами будут отрицательно заряженные анионы  $\text{SO}_4^{2-}$ , порог коагуляции этого аниона равен:  $C_K(\text{SO}_4^{2-}) = 2,12 \text{ моль/м}^3$ .

Определим порог коагуляции электролита  $C_K(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)$  на основе молярного соотношения молекул и ионов-коагуляторов в уравнении электролитической диссоциации соли.



1 : 3 (молярные соотношения)  $C_K(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{C_K(\text{SO}_4^{2-})}{3} = \frac{2,12}{3} = 0,706 \text{ моль/м}^3$ .

Рассчитаем массу  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , которая необходима для коагуляции  $100 \text{ м}^3$  сточной воды:

$$m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = C_K(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) \cdot V_B \cdot M(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 0,706 \cdot 100 \cdot 0,352 = 24,85 \text{ кг}.$$

Рассчитаем расход 28 %-ного раствора  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  в  $\text{м}^3$ , содержащего 24,85 кг этой соли.

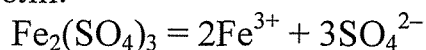
$$V(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) \cdot 100}{\omega \cdot \rho} = \frac{24,85 \cdot 100}{28 \cdot 1,55 \cdot 10^3} = 5,73 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3,$$

где  $\omega$ ,  $\rho$  – массовая доля и плотность раствора  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .

## 2.2. Заряд коллоидных частиц $\text{AgCl}$ – отрицательный.

Тогда ионами – коагуляторами будут положительно заряженные катионы  $\text{Fe}^{3+}$ , порог коагуляции этого катиона равен:  $C_k(\text{Fe}^{3+}) = 0,186 \text{ моль/м}^3$ .

Рассчитаем порог коагуляции электролита  $C_k(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)$  на основе молярного соотношения молекул и ионов – коагуляторов в уравнении электролитической диссоциации соли.



$$1 : 2 \text{ (молярные соотношения)} \quad C_k(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{C_k(\text{Fe}^{3+})}{2} = \frac{0,186}{2} = 0,093 \text{ моль/м}^3.$$

Рассчитаем массу (кг)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , которая необходима для коагуляции  $100 \text{ м}^3$  сточных вод:

$$m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = C_k(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) \cdot V_B \cdot M(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 0,093 \cdot 100 \cdot 0,352 = 3,27 \text{ кг}.$$

Определим объем ( $\text{м}^3$ ) 28 % –ного раствора  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , содержащий 3,27 кг соли:

$$V(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) \cdot 100}{\omega \cdot \rho} = \frac{3,27 \cdot 100}{28 \cdot 1,55 \cdot 10^3} = 7,54 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3,$$

где  $\omega$ ,  $\rho$  – массовая доля и плотность раствора  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ .

## Определение молярной массы ВМВ

**Пример 15.** Определите молярную массу полистирола в кислоте при  $T=291 \text{ К}$ , используя данные осмометрического метода.  $\Delta h$  – разность уровней в капиллярах, опущенных в растворитель, измеренных с помощью осмометра типа Хелфрица.

Концентрация раствора $C$ , $\text{кг/м}^3$	1,455	2,48	3,91	4,85	6,00
Разность уровней $\Delta h \cdot 10^2$ , м	0,45	0,80	1,32	1,67	2,14

### Р е ш е н и е

Для определения молярной массы ВМВ осмометрическим методом необходимо знать величину осмотического давления  $\pi$  (см. рис. 8).

Для растворов высокомолекулярных веществ величина осмотического давления не подчиняется закону Вант-Гоффа (см. рис. 5): нет линейной зависимости между осмотическим давлением и концентрацией. Это можно объяснить асимметрией больших молекул, их гибкостью, взаимодействием с молекулами растворителя. Поэтому для определения молярной массы  $M$  используют уравнение Галлера



$$\pi = \frac{CRT}{M} + bC^2 \text{ или } \frac{\pi}{C} = \frac{RT}{M} + bC,$$

где  $C$  – концентрация раствора ВМВ,  $\text{кг/м}^3$ ;

$b$  – константа, характеризующая отклонение от закона Вант-Гоффа;

$\pi/C$  – приведенное осмотическое давление.

При бесконечном разбавлении раствора уравнение принимает вид

$$\lim_{C \rightarrow 0} \left[ \frac{\pi}{C} \right] = \frac{RT}{M}.$$

Предельное значение  $\left[ \frac{\pi}{C} \right]$  при концентрации раствора, стремящейся к нулю, находят методом графической экстраполяции.

Величины  $\Delta h$  переводим в осмотическое давление  $\pi$  (Па), умножив на переводной коэффициент  $9,8 \cdot 10^3$  (давление водяного столба высотой 1 м равно 9,806 Па). Поделив каждое значение  $\pi$  на соответствующую концентрацию, получаем приведенные осмотические давления  $\pi/C$ .

$C, \text{кг/м}^3$	1,455	2,48	3,91	4,85	6,00
$\pi, \text{Па}$	44,10	78,40	129,36	163,36	209,72
$\pi/C, \text{Па} \cdot \text{м}^3/\text{кг}$	30,30	31,61	33,08	33,74	34,95

Строим график в координатах  $\pi/C - C$  (рис. 25).

Экстраполируем полученную зависимость на  $C = 0$ . Отсекаемый на оси ординат отрезок  $K$  (рис. 25) равен  $\frac{RT}{M}$ .

$$M = \frac{RT}{K} = \frac{8,314 \cdot 291}{28,7} = 84,3 \text{ кг/моль} = 84 \text{ 300 г/моль}.$$

Полученная молярная масса полистирола в ксилоле соответствует молярным массам высокомолекулярных веществ.

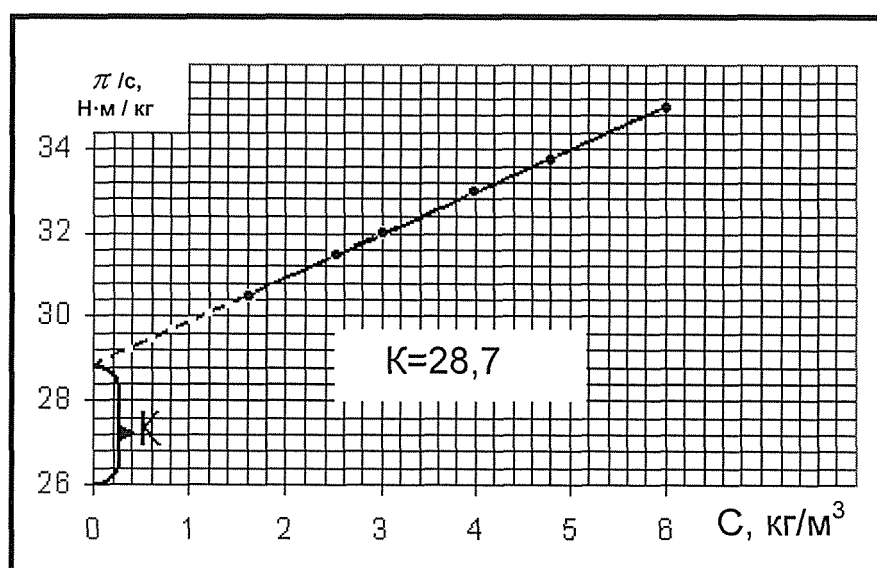


Рис. 25. Зависимость  $\pi/C$  от концентрации



## ЗАДАЧА 1. Характеристика дисперсных систем

Дана дисперсная система с массой дисперсной фазы  $m$ , плотностью дисперсной фазы  $\rho$ , с частицами дисперсной фазы определенной формы и размера:  $r$  – радиус шара,  $l$  – длина ребра куба (варианты заданий приведены в табл. 26).

1. Рассчитайте дисперсность системы  $D$  и удельную поверхность  $S_{уд}$ .
2. Определите тип системы по всем классификационным признакам.
3. Рассчитайте параметры частицы дисперсной фазы: объем  $V_0$ , поверхность  $S_0$ , массу  $m_0$ .
4. Рассчитайте общую поверхность всех частиц  $S$  и число частиц  $N$  в дисперсной системе.
5. Укажите, какие молекулярно-кинетические, оптические и электрокинетические свойства характерны для данной дисперсной системы.

Т а б л и ц а 26

*Варианты заданий к задаче 1*

Вариант	Дисперсная фаза	Дисперсионная среда	Форма частиц	$r(l)$ , м	$\rho \cdot 10^{-3}$ , кг/м <sup>3</sup>	$m$ , кг
1	Сера	Вода	Куб	$2 \cdot 10^{-8}$	2,07	1
2	Платина	Вода	Куб	$4 \cdot 10^{-8}$	21,4	2
3	Пыль угольная	Воздух	Шар	$8 \cdot 10^{-5}$	1,8	10
4	Бензол	Вода	Шар	$8 \cdot 10^{-7}$	0,86	5
5	Ртуть	Вода	Шар	$6 \cdot 10^{-8}$	13,55	4
6	Пыль мучная	Воздух	Шар	$5 \cdot 10^{-5}$	0,82	8
7	Платина	Вода	Куб	$9 \cdot 10^{-9}$	21,4	6
8	Серебро	Вода	Куб	$4 \cdot 10^{-8}$	10,5	0,1
9	Вода	Воздух	Шар	$2 \cdot 10^{-7}$	0,997	5
10	Сера	Вода	Куб	$1 \cdot 10^{-7}$	2,07	3
11	Ртуть	Воздух	Шар	$2 \cdot 10^{-7}$	13,55	0,5
12	Золото	Вода	Куб	$4 \cdot 10^{-9}$	19,3	1
13	Масло растительное	Вода	Шар	$4 \cdot 10^{-6}$	0,92	4
14	Ртуть	Вода	Шар	$8 \cdot 10^{-8}$	13,55	2
15	Пудра сахарная	Воздух	Шар	$6 \cdot 10^{-5}$	0,85	5
16	Толуол	Вода	Шар	$2 \cdot 10^{-6}$	0,87	0,8
17	Серебро	Вода	Куб	$5 \cdot 10^{-8}$	10,5	7
18	Камфара	Вода	Шар	$1 \cdot 10^{-6}$	0,99	1
19	Пыль угольная	Воздух	Куб	$6 \cdot 10^{-5}$	1,8	8
20	Золото	Вода	Шар	$8 \cdot 10^{-9}$	19,3	2

## ЗАДАЧА 2. Получение золей и их коагуляция

Коллоидный раствор (золь) АД получен при смешивании  $V_1$  мл водного раствора АС с молярной концентрацией  $C_1$  и  $V_2$  мл водного раствора ВД с молярной концентрацией  $C_2$  (варианты заданий приведены в табл. 27).

1. Напишите уравнение реакции и определите, какой из продуктов реакции образует золь.
2. Рассчитайте, какое из исходных веществ – АС или ВД – взято в избытке.
3. Напишите формулу мицеллы образовавшегося золя АД и укажите заряд коллоидной частицы (гранулы).
4. Предложите методы определения заряда коллоидной частицы (гранулы).
5. Для данных электролитов:  $K_2SO_4$ ,  $NaNO_3$ ,  $Na_3PO_4$ ,  $MgCl_2$ ,  $CdSO_4$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ .
- 5.1. Определите, какой из ионов электролита будет вызывать коагуляцию, и расположите ионы в ряд в порядке уменьшения порога коагуляции.
- 5.2. Рассчитайте пороги коагуляции  $C_k$  в золе АД для каждого из предложенных электролитов, используя правило Шульце – Гарди или закономерность Дерягина – Ландау, если порог коагуляции гидрозоля АД под действием электролита  $KNO_3$  равен  $C_k$  (табл. 27).
- 5.3. Выберите наиболее экономичный электролит-коагулятор и рассчитайте расход данного электролита (массу в кг) на очистку  $1000\text{ м}^3$  сточных вод от золя АД.
- 5.4. Предложите другие методы очистки сточных вод от коллоидных примесей вещества АД.
- 5.5. Выберите показатели качества воды:  
физические: запах, вкус, цветность, прозрачность, мутность, плотность;  
химические: электрическая проводимость, солесодержание, pH, окисляемость, жесткость и др.,  
которые можно использовать для контроля эффективности очистки воды от коллоидных примесей вещества АД методом коагулирования.

Т а б л и ц а 27

Варианты заданий к задаче 2

Вариант	АД	АС	$V_1$ , мл	$C_1$ , $\frac{\text{моль}}{\text{л}}$	ВД	$V_2$ , мл	$C_2$ , $\frac{\text{моль}}{\text{л}}$	$C_k$ , $\frac{\text{моль}}{\text{л}}$
1	$Fe(OH)_3$	$FeCl_3$	10	0,01	KOH	15	0,010	$4,0 \cdot 10^{-2}$
2	$H_2SiO_3$	HCl	8	0,06	$Na_2SiO_3$	12	0,015	$9,2 \cdot 10^{-3}$
3	$BaSO_4$	$BaCl_2$	12	0,03	$K_2SO_4$	7	0,06	$2,0 \cdot 10^{-2}$
4	$PbI_2$	$Pb(NO_3)_2$	10	0,01	KI	12	0,01	$2,8 \cdot 10^{-2}$
5	ZnS	$(NH_4)_2S$	3	0,05	$ZnCl_2$	10	0,01	$4,5 \cdot 10^{-2}$
6	$Hg_2SO_4$	$H_2SO_4$	9	0,02	$Hg_2(NO_3)_2$	12	0,01	$9,8 \cdot 10^{-3}$
7	$Be(OH)_2$	$BeCl_2$	15	0,01	$NH_4OH$	10	0,02	$4,8 \cdot 10^{-2}$
8	$Ag_2CrO_4$	$K_2CrO_4$	7	0,03	$AgNO_3$	8	0,02	$4,9 \cdot 10^{-2}$
9	$Cr(OH)_3$	$CrCl_3$	10	0,01	$NH_4OH$	16	0,02	$5,0 \cdot 10^{-2}$
10	CdS	$CdCl_2$	11	0,01	$H_2S$	5	0,02	$2,5 \cdot 10^{-2}$
11	$PbSO_4$	$Pb(NO_3)_2$	5	0,04	$H_2SO_4$	6	0,03	$3,9 \cdot 10^{-2}$
12	$BaF_2$	NaF	9	0,02	$BaCl_2$	8	0,02	$5,7 \cdot 10^{-2}$
13	$Ag_2C_2O_4$	$AgNO_3$	11	0,01	$(NH_4)_2C_2O_4$	5	0,03	$4,7 \cdot 10^{-2}$
14	NiS	$Na_2S$	8	0,02	$NiSO_4$	10	0,01	$4,9 \cdot 10^{-2}$
15	$Mg(OH)_2$	NaOH	12	0,02	$MgCl_2$	5	0,03	$3,2 \cdot 10^{-2}$

Вариант	АД	АС	V <sub>1</sub> , мл	C <sub>1</sub> , $\frac{\text{моль}}{\text{л}}$	ВД	V <sub>2</sub> , мл	C <sub>2</sub> , $\frac{\text{моль}}{\text{л}}$	C <sub>к</sub> , $\frac{\text{моль}}{\text{л}}$
16	HgI <sub>2</sub>	Hg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	5	0,05	KI	10	0,03	$8,9 \cdot 10^{-3}$
17	Fe <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ] <sub>2</sub>	FeSO <sub>4</sub>	6	0,04	K <sub>3</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	12	0,02	$1,0 \cdot 10^{-2}$
18	Bi(OH) <sub>3</sub>	NaOH	7	0,03	Bi(NO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>	9	0,01	$1,9 \cdot 10^{-2}$
19	Ag <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	AgNO <sub>3</sub>	10	0,02	K <sub>4</sub> [Fe(CN) <sub>6</sub> ]	6	0,03	$3,4 \cdot 10^{-2}$
20	Ag <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	15	0,01	AgNO <sub>3</sub>	7	0,03	$1,5 \cdot 10^{-2}$

### ЗАДАЧА 3. Получение золей

При растворении вещества в воде происходит гидролиз (варианты заданий приведены в табл. 28), который при образовании раствора углубляется и приводит к образованию золя (иногда для этого требуется еще и нагревание).

Напишите формулы всех возможных мицелл и укажите знак электрического заряда коллоидных частиц, если процесс гидролиза идет по предложенной схеме (табл. 28), учитывая, что в растворе могут находиться другие заряженные частицы.

Таблица 28

Варианты заданий к задаче 3

Вариант	Схема гидролиза
1	$\text{FeCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{FeO}^+ + 2\text{H}^+ + 3\text{Cl}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{HCl}$
2	$\text{BiCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{BiOCl}\downarrow + 2\text{HCl}$
3	$\text{Al}(\text{CH}_3\text{COO})_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{CH}_3\text{COOH}$
4	$\text{Na}_3\text{CrO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{NaOH}$
5	$\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{CH}_3\text{COOH}$
6	$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{CH}_3\text{COOH}$
7	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{BiONO}_3\downarrow + 2\text{HNO}_3$
8	$\text{SbCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SbOCl}\downarrow + 2\text{HCl}$
9	$\text{NaSbO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HSbO}_2\downarrow + \text{NaOH}$
10	$\text{SbCl}_5 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SbO}_2\text{Cl}\downarrow + 4\text{HCl}$
11	$\text{Sn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Sn}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{CH}_3\text{COOH}$
12	$\text{Na}_2\text{SnO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SnO}_3\downarrow + 2\text{NaOH}$
13	$\text{TiCl}_4 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{TiO}(\text{OH})_2\downarrow + 4\text{HCl}$
14	$\text{NaCrO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + \text{NaOH}$
15	$\text{MgCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mg}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{HCl}$
16	$\text{Cd}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cd}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{HNO}_3$
17	$\text{MnCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnOCl}\downarrow + 2\text{HCl}$
18	$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{HNO}_3$
19	$\text{ZnSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2\downarrow + \text{H}_2\text{SO}_4$
20	$\text{NiCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{HCl}$



#### ЗАДАЧА 4. Молекулярно-кинетические и оптические свойства дисперсных систем

##### Вариант 1

Среднеквадратичное значение проекции сдвига частицы гидрозоля  $\text{SiO}_2$  за 3 с составляет 8 мкм. Определите радиус частицы, если вязкость дисперсионной среды равна  $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  при 293 К.

##### Вариант 2

Определите диаметр частиц аэрозоля, используя результат исследования методом поточной ультрамикроскопии: в объеме  $2,2 \cdot 10^{-2} \text{ мм}^3$  подсчитано 87 частиц аэрозоля (дыма мартеновской печи). Концентрация аэрозоля  $1 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^3$ , плотность дисперсной фазы  $2 \text{ г/см}^3$ , форма частиц сферическая.

##### Вариант 3

Удельная поверхность сферических частиц гидрозоля кремнезема составляет  $1,1 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$ . Вязкость дисперсионной среды  $1 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot \text{с}$ , температура 293 К. Определите проекцию среднего сдвига частиц золя за время 4 с.

##### Вариант 4

Используя уравнение Рэлея, сравните интенсивности света, рассеянного эмульсиями с равными радиусами частиц и концентрациями: бензола ( $n_1 = 1,501$ ) в воде и н-пентана ( $n_1 = 1,357$ ) в воде. Показатель преломления воды  $n_0 = 1,333$ .

##### Вариант 5

По данным Сведберга коэффициент диффузии коллоидных частиц золота в воде при 298 К равен  $2,7 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{сут}$ . Определите дисперсность частиц гидрозоля золота. Вязкость воды при 298 К равна  $8,84 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

##### Вариант 6

Покажите, в каком случае и во сколько раз интенсивность рассеянного дисперсной системой света больше: при освещении синим светом ( $\lambda_1 = 410 \text{ нм}$ ) или красным светом ( $\lambda_2 = 630 \text{ нм}$ ). Светорассеяние происходит в соответствии с уравнением Рэлея, и интенсивности падающих монохроматических пучков света равны.

##### Вариант 7

Определите частичную концентрацию золя  $\text{Al}_2\text{O}_3$  исходя из следующих данных: массовая концентрация 0,3 г/л, коэффициент диффузии сферических частиц золя  $2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{сут}$ , плотность  $\text{Al}_2\text{O}_3$   $4 \text{ г/см}^3$ , вязкость среды  $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , температура 293 К.

##### Вариант 8

Осмотическое давление гидрозоля золота (форма частиц сферическая) с концентрацией 2 г/л при 293 К равно 3,74 Па. Рассчитайте коэффициент диф-



фузии частиц гидрозоля при тех же условиях, если плотность золота  $19,3 \text{ г/см}^3$ , а вязкость дисперсионной среды  $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

#### Вариант 9

Два пучка монохроматического света равной начальной интенсивности с  $\lambda_1 = 440 \text{ нм}$  (синий свет) и с  $\lambda_2 = 630 \text{ нм}$  (красный свет) проходят через эмульсию бензола в воде. Рассчитайте отношение интенсивностей прошедшего света, если толщина слоя эмульсии равна  $5 \text{ см}$ . Содержание дисперсной фазы  $0,1 \%$  (об), средний радиус частиц эмульсии  $40 \text{ нм}$ , показатели преломления бензола и воды равны соответственно  $n_1 = 1,501$  и  $n_0 = 1,333$ . При расчете принять, что ослабление света происходит только в результате светорассеяния и показатели преломления не зависят от длины волны света.

#### Вариант 10

Рассчитайте отношение осмотических давлений двух гидрозолей (форма частиц сферическая) при условиях: 1) одинаковая массовая концентрация, но различная дисперсность частиц  $D_1 = 40 \text{ мкм}^{-1}$  и  $D_2 = 20 \text{ мкм}^{-1}$ ; 2) одинаковая дисперсность, но различная массовая концентрация  $C_1 = 7 \text{ г/л}$  и  $C_2 = 3,5 \text{ г/л}$ .

#### Вариант 11

Используя закономерности светорассеяния в соответствии с теорией Рэлея и ослабление светового потока в соответствии с законом Бугера – Ламберта – Бера, рассчитайте радиус частиц дивинилстирольного латекса, если концентрация латекса  $0,2 \text{ г/л}$ , длина волны падающего света  $\lambda$  равна  $400 \text{ нм}$ , оптическая плотность  $A$  равна  $0,347$  в кювете длиной  $5,01 \text{ см}$ . Показатель преломления воды равен  $1,333$ , плотность и показатель преломления дисперсной фазы равны  $0,945 \text{ г/см}^3$  и  $1,653$ .

#### Вариант 12

Рассчитайте радиус частиц диоксида кремния, если известно, что время их оседания на расстояние  $h=1 \text{ см}$  равно: а)  $30 \text{ с}$ ; б)  $60 \text{ мин}$ . Плотности дисперсной фазы и дисперсионной среды равны соответственно  $2,7$  и  $1,1 \text{ г/см}^3$ , вязкость дисперсионной среды  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .

#### Вариант 13

Удельная поверхность сферических частиц гидрозоля диоксида кремния составляет:  $2,1 \cdot 10^5 \text{ м}^2/\text{кг}$ , плотность диоксида кремния  $2,7 \text{ г/см}^3$ , вязкость дисперсионной среды  $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , температура  $293 \text{ К}$ . Определите проекцию среднего сдвига частиц золя за время  $6 \text{ с}$ .

#### Вариант 14

Рассчитайте время, за которое сферические частицы стекла в воде оседают на расстояние  $h = 1 \text{ см}$ , если дисперсность частиц составляет: а)  $0,1 \text{ мкм}^{-1}$ ; б)  $1 \text{ мкм}^{-1}$ . Плотности дисперсной фазы и дисперсионной среды равны соответственно  $2,4$  и  $1,0 \text{ г/см}^3$ . Вязкость дисперсионной среды  $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ .





#### Вариант 15

Используя закономерности светорассеяния в соответствии с теорией Рэлея и ослабление светового потока в соответствии с законом Бугера-Ламберта-Бера, рассчитайте радиус частиц дивинилстирольного латекса, если концентрация латекса 0,4 г/л, длина волны падающего света  $\lambda$  равна 540 нм, оптическая плотность  $A$  равна 0,203 в кювете длиной 4,01 см. Плотность и показатель преломления дисперсной фазы равны 0,945 г/см<sup>3</sup> и 1,653, показатель преломления воды 1,333.

#### Вариант 16

Определите радиус частиц суспензии гуммигута в воде, если среднеквадратичный сдвиг  $\bar{\Delta}$  равен 7,09 мкм за время 30 с, температура опыта 290 К, вязкость среды  $1,1 \cdot 10^{-3}$  Па · с.

#### Вариант 17

Для гидрозоля  $Al_2O_3$  рассчитайте высоту, на которой концентрация частиц уменьшается в 2,7 раза. Форма частиц сферическая, удельная поверхность дисперсной фазы гидрозоля  $10^9$  м<sup>-1</sup>. Плотность  $Al_2O_3$  равна 4 г/см<sup>3</sup>, плотность дисперсионной среды 1 г/см<sup>3</sup>, температура 293 К.

#### Вариант 18

Рассчитайте, за какое время сферические частицы  $Al_2O_3$ , распределенные в среде с вязкостью  $1,5 \cdot 10^{-3}$  Па · с, оседают на высоту 1 см, если удельная поверхность частиц составляет  $10^6$  м<sup>-1</sup>. Плотности дисперсной фазы и дисперсионной среды равны соответственно 4 и 1 г/см<sup>3</sup>.

#### Вариант 19

Свет с длиной волны 540 нм и начальной интенсивностью  $I_0$  проходит через слой эмульсии тетралина в воде толщиной 5 см. Рассчитайте долю прошедшего света  $I_p/I_0$ , если радиус частиц эмульсии 10 нм. Содержание дисперсной фазы 0,05 % (об), показатели преломления тетралина и воды  $n_1 = 1,540$ ,  $n_0 = 1,333$ .

#### Вариант 20

Определите радиус частиц суспензии коалина в воде, если среднеквадратичный сдвиг  $\bar{\Delta}$  равен 12 мкм за время 120 с. Температура опыта 293 К, вязкость среды  $1,1 \cdot 10^{-3}$  Па · с.

### **ЗАДАЧА 5. Электрокинетические свойства дисперсных систем**

#### Вариант 1

Рассчитайте электрофоретическую скорость передвижения частиц золя трисульфида мышьяка по следующим данным: электрокинетический потенциал частиц 42,3 мВ, расстояние между электродами 0,4 м, внешняя разность потенциалов 149 В, вязкость среды  $1 \cdot 10^{-3}$  Па · с, относительная диэлектрическая проницаемость 80,1.



#### Вариант 2

Рассчитайте электрокинетический потенциал поверхности частиц бентонитовой глины по результатам электрофореза при следующих условиях: расстояние между электродами 25 см, напряжение 100 В, за 15 мин частицы перемещаются на 6 мм к аноду, относительная диэлектрическая проницаемость среды 78,2 при 298 К, вязкость  $8,84 \cdot 10^{-4}$  Па · с.

#### Вариант 3

Рассчитайте электрофоретическую скорость частиц золя сульфида мышьяка, если электрокинетический потенциал частиц равен 89,5 мВ, внешняя разность потенциалов между электродами 240 В, расстояние между электродами 0,2 м, вязкость среды  $1 \cdot 10^{-3}$  Па · с, относительная диэлектрическая проницаемость 80,1.

#### Вариант 4

Рассчитайте электрокинетический потенциал поверхности кварца по данным, полученным при исследовании электроосмотического переноса жидкости через кварцевую мембрану: сила тока  $2 \cdot 10^{-3}$  А, объемная скорость раствора KCl, переносимого через мембрану, 0,02 мл/с, удельная электрическая проводимость раствора  $1,2 \cdot 10^{-2}$  См · м<sup>-1</sup>, вязкость раствора  $1 \cdot 10^{-3}$  Па · с, относительная диэлектрическая проницаемость 80,1.

#### Вариант 5

Частицы аэросила SiO<sub>2</sub> в водной среде при pH = 6,2 имеют электрокинетический потенциал, равный  $-34,7 \cdot 10^{-3}$  В. На какое расстояние и к какому электроду сместятся частицы за 30 мин, если напряжение в приборе для электрофореза 110 В. Расстояние между электродами равно 25 см, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1, вязкость  $1 \cdot 10^{-3}$  Па · с.

#### Вариант 6

Рассчитайте электрокинетический потенциал на границе раздела фаз кварц-водный раствор KCl по следующим данным электроосмоса: сила тока  $2 \cdot 10^{-3}$  А, время переноса 0,01 мл раствора 110 с, удельная электрическая проводимость раствора  $6 \cdot 10^{-2}$  См · м<sup>-1</sup>, вязкость  $1 \cdot 10^{-3}$  Па · с, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1.

#### Вариант 7

Рассчитайте электрокинетический потенциал частиц кварцевого стекла, если скорость передвижения этих частиц в водном растворе NaCl равна 2,2 мкм/с при постоянной напряженности электрического поля 100 В/м. Вязкость раствора  $1,14 \cdot 10^{-3}$  Па · с, относительная диэлектрическая проницаемость 82, температура 288 К.

#### Вариант 8

Рассчитайте электрокинетический потенциал по экспериментальным данным электрофореза золя гидроксида кремния в растворе Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, если элек-



трофоретическая подвижность  $V_{эф}$  равна  $19 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/(\text{с} \cdot \text{В})$ . Относительная диэлектрическая проницаемость среды равна 80,1, вязкость  $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , дисперсная фаза перемещается к аноду.

#### Вариант 9

Рассчитайте электрокинетический потенциал частиц корунда в водном растворе KCl по следующим данным: скорость электроосмоса через корундовую мембрану 0,02 мл/с, удельная электрическая проводимость раствора  $1,2 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ , вязкость раствора  $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , сила тока при осмосе  $1,5 \cdot 10^{-2} \text{ А}$ , относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1.

#### Вариант 10

Рассчитайте электрокинетический потенциал частиц золя  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  по данным электрофореза: разность потенциалов 170 В, расстояние между электродами 0,45 м, смещение границы золя к катоду составило 12 мм за 30 мин. При температуре опыта, равной 298 К, вязкость дисперсионной (водной) среды  $8,94 \cdot 10^{-4} \text{ Па} \cdot \text{с}$  и относительная диэлектрическая проницаемость среды 78,2.

#### Вариант 11

Рассчитайте электрофоретическую скорость частиц глины, если электрокинетический потенциал частиц 48,8 мВ, разность потенциалов между электродами равна 220 В, а расстояние между ними 44 см, вязкость среды  $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$  и относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1.

#### Вариант 12

Рассчитайте напряженность электрического поля (градиент потенциала), если электрокинетический потенциал частиц золя гидроксида железа равен 52,5 мВ, электрофоретическая скорость частиц  $3,74 \cdot 10^{-4} \text{ см/с}$ , вязкость среды  $1,005 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , а относительная диэлектрическая проницаемость 80,1.

#### Вариант 13

Определите электрокинетический потенциал на границе раздела фаз керамический фильтр – водный раствор KCl, если при протекании раствора скорость электроосмоса 0,03 мл/с, удельная электрическая проводимость среды  $1,3 \cdot 10^{-2} \text{ См} \cdot \text{м}^{-1}$ , сила тока при осмосе  $2 \cdot 10^{-2} \text{ А}$ , вязкость среды  $1 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , относительная диэлектрическая проницаемость 80,1.

#### Вариант 14

Рассчитайте электрофоретическую скорость частиц золя золота, если напряженность электрического поля 1000 В/м, а электрокинетический потенциал составляет 58 мВ. Вязкость среды  $1,14 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$ , а относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1.

#### Вариант 15

Определите электрокинетический потенциал частиц золя сульфида мышьяка, если при измерении электрофоретической скорости частиц разность по-

тенциалов равна 240 В, расстояние между электродами 30 см, перемещение частиц за 10 мин 14,36 мм, вязкость среды  $1,005 \cdot 10^{-3}$  Па · с, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1.

#### Вариант 16

Рассчитайте величину электрокинетического потенциала на границе кварцевое стекло – водный раствор KCl. Процесс электроосмоса характеризовался следующими данными: сила тока  $4 \cdot 10^{-4}$  А, время перемещения  $1 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup> раствора составило 12,4 с, удельная электрическая проводимость среды  $1,8 \cdot 10^{-2}$  См · м<sup>-1</sup>, вязкость среды  $1 \cdot 10^{-3}$  Па · с, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1.

#### Вариант 17

Определите электрокинетический потенциал частиц золя гидроксида железа, если электрофорез происходил при следующих условиях: напряженность электрического поля 500 В/м, перемещение частиц за 10 мин на 12 мм, вязкость среды  $1 \cdot 10^{-3}$  Па · с, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1.

#### Вариант 18

Рассчитайте скорость электрофореза коллоидных частиц берлинской лазури в воде, если электрокинетический потенциал составляет 58 мВ, напряженность электрического поля  $5 \cdot 10^{-2}$  В/м, вязкость среды  $1 \cdot 10^{-3}$  Па · с, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1.

#### Вариант 19

Определите, при какой силе тока в процессе электроосмотического движения водного раствора KCl через мембрану из полистирола его объемная скорость будет равна  $5,5 \cdot 10^{-10}$  м<sup>3</sup>/с. Удельная электрическая проводимость среды равна  $9 \cdot 10^{-2}$  См · м<sup>-1</sup>, вязкость среды  $1 \cdot 10^{-3}$  Па · с, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1. Величина электрокинетического потенциала равна 10 мВ.

#### Вариант 20

Рассчитайте электрокинетический потенциал частиц суспензии, если электрофоретическая скорость частиц равна  $1,99 \cdot 10^{-6}$  м/с. Напряженность электрического поля составляет 0,57 В/см, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80,1, вязкость среды  $1 \cdot 10^{-3}$  Па · с.

### **ЗАДАЧА 6. Коагуляция дисперсных систем. Очистка природных и сточных вод методом коагулирования**

#### Вариант 1

Перед подачей речной воды в цеха завода ее осветляют: вводят в нее электролит-коагулятор и образовавшийся ил отстаивают в специальных отстойни-





ках. Рассчитайте расход  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (кг/сут), если расход воды на предприятии  $100000 \text{ м}^3/\text{сут}$ , а порог коагуляции по  $\text{NaCl}$  равен  $288 \text{ моль/м}^3$ . Считать знак электрических зарядов коллоидных частиц отрицательным.

#### Вариант 2

Отработанные растворы производства фотоматериалов содержат коллоидное серебро в виде галогенидов. Рассчитайте расход  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в кг на  $100 \text{ м}^3$  сточных вод, предполагая, что знак электрических зарядов коллоидных частиц положительный. Пороги коагуляции ( $\text{ммоль/дм}^3$ ) равны: для одновалентных ионов 142; для двухвалентных 2,43; для трехвалентных 0,068.

#### Вариант 3

Рассчитайте расход 26 % раствора  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в  $\text{м}^3$  ( $\rho = 1300 \text{ кг/м}^3$ ) на подготовку  $1000 \text{ м}^3$  сточных вод к очистке от коллоидных частиц, если знак их электрических зарядов отрицательный. Порог коагуляции рассматриваемого золя по отношению к  $\text{NaCl}$  равен  $235 \text{ моль/м}^3$ .

#### Вариант 4

Производственные сточные воды содержат коллоидное серебро в виде галогенидов. Рассчитайте расход  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  на очистку  $500 \text{ м}^3$  сточных вод, предполагая, что знак электрических зарядов коллоидных частиц отрицательный. Пороги коагуляции ( $\text{моль/м}^3$ ) равны: для одновалентных ионов 142; для двухвалентных 2,43; для трехвалентных 0,068.

#### Вариант 5

Речная вода содержит коллоидные частицы органических примесей. Для использования ее в целях завода предварительно проводят коагуляцию, а затем отстаивают в специальных отстойниках для удаления ила. Рассчитайте расход  $\text{NaCl}$  (кг в сутки), если расход воды на предприятии  $300000 \text{ м}^3/\text{сут}$ , а порог коагуляции по  $\text{NaCl}$  –  $52 \text{ моль/м}^3$ .

#### Вариант 6

Для коагуляции  $10 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  золя  $\text{AgI}$  с отрицательным зарядом частиц требуется  $0,45 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$  раствора  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ . Концентрация электролита равна  $0,05 \text{ кмоль/м}^3$ . Найдите порог коагуляции золя под действием  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ .

#### Вариант 7

Для осветления речной воды перед подачей ее в цеха завода используют специальные электролиты-коагуляторы. Рассчитайте расход  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и  $\text{NaCl}$  кг/сут для каждого электролита отдельно, если расход воды на заводе составляет  $250000 \text{ м}^3/\text{сут}$ , а пороги коагуляции по  $\text{NaCl}$  –  $52 \text{ моль/м}^3$ , а по  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  –  $0,68 \text{ моль/м}^3$ . Укажите знак электрических зарядов взвешенных частиц в речной воде.

#### Вариант 8

Рассчитайте, какой объем ( $\text{см}^3$ ) раствора электролита  $0,01 \text{ М } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  нужно добавить к  $10 \text{ л}$  золя гидроксида алюминия, чтобы вызвать его коагуляцию. Порог коагуляции по данному электролиту  $0,63 \text{ ммоль/л}$ .





#### Вариант 9

Сточные воды производства фотоматериалов содержат коллоидное серебро в виде иодида серебра. Рассчитайте расход  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (кг) на очистку  $1000 \text{ м}^3$  сточных вод, предполагая, что знак электрических зарядов коллоидных частиц положительный. Пороги коагуляции (моль/ $\text{м}^3$ ) равны: для одновалентных ионов 140; для 1,98; для трехвалентных 0,052.

#### Вариант 10

В три колбы налито  $50 \text{ см}^3$  золя  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Чтобы вызвать коагуляцию золя, потребовалось добавить в первую колбу  $5,30 \text{ см}^3$  1 М  $\text{KCl}$ , в другую –  $31,5 \text{ см}^3$  0,01 М  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , в третью –  $18,7 \text{ см}^3$  0,001 М  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ . Вычислите пороги коагуляции каждого электролита и определите знак заряда частиц золя.

#### Вариант 11

Рассчитайте, какой объем ( $\text{м}^3$ ) раствора 0,01 М  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  требуется для коагуляции  $10 \text{ м}^3$  золя  $\text{As}_2\text{S}_3$ . Порог коагуляции равен  $96 \cdot 10^{-6}$  кмоль/ $\text{м}^3$ .

#### Вариант 12

Для очистки сточных вод от коллоидного серебра в виде иодидов используют хлорид железа (II). Рассчитайте расход на  $500 \text{ м}^3$  сточных вод, предполагая, что знак электрических зарядов коллоидных частиц отрицательный. Пороги коагуляции (моль/ $\text{м}^3$ ) равны: для одновалентных ионов 120; для двухвалентных 1,92; для трехвалентных 0,052.

#### Вариант 13

К  $5 \text{ см}^3$  золя  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  для начала явной коагуляции необходимо добавить один из следующих растворов:  $4 \text{ см}^3$  1М  $\text{KCl}$ ;  $0,5 \text{ см}^3$  0,01М  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ;  $3,9 \text{ см}^3$  0,0005 М  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Вычислите пороги коагуляции для этих электролитов. Определите, во сколько раз коагулирующая способность  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  выше, чем у  $\text{K}_2\text{SO}_4$  и  $\text{KCl}$ .

#### Вариант 14

Для очистки природной воды, используемой в гальваническом производстве, в нее вводят электролит-коагулятор и образовавшийся ил отстаивают в специальных отстойниках. Рассчитайте расход  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{NaCl}$  (каждого в отдельности), если расход воды на предприятии составляет  $200000 \text{ м}^3/\text{сут}$ , а пороги коагуляции равны: по  $\text{NaCl}$  – 52 моль/ $\text{м}^3$ , по  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  – 0,23 моль/ $\text{м}^3$ . Укажите знак электрических зарядов взвешенных частиц в природной воде.

#### Вариант 15

Сточная вода содержит коллоидные частицы  $\text{Al}_2\text{S}_3$ . Порог коагуляции этого золя по  $\text{NaCl}$  равен 50,4 моль/ $\text{м}^3$ . Рассчитайте объем 30 % раствора  $\text{CaCl}_2$  ( $\rho = 1280 \text{ кг}/\text{м}^3$ ), необходимый, чтобы вызвать коагуляцию в  $100 \text{ м}^3$  указанного золя, если знак коллоидных частиц положительный.

#### Вариант 16

Рассчитайте расход 26 % раствора  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в  $\text{м}^3$  ( $\rho = 1\,300\text{ кг/м}^3$ ) на подготовку  $1\,000\text{ м}^3$  сточных вод, если знак электрических зарядов коллоидных частиц положительный. Пороги коагуляции ( $\text{моль/м}^3$ ) равны: для одновалентных ионов 127, для двухвалентных 1,85, для трехвалентных 0,042.

#### Вариант 17

В пробе сточных вод объемом  $5,0 \cdot 10^{-2}\text{ м}^3$  после добавления к ней  $2,3 \cdot 10^{-3}\text{ м}^3$  26 %-ного раствора  $\text{NaCl}$  ( $\rho = 1200\text{ кг/м}^3$ ) появляются хлопья. Определите порог коагуляции рассматриваемого золя по отношению к  $\text{NaCl}$ .

#### Вариант 18

Для осветления технической воды в нее вводят электролит-коагулятор и образовавшийся ил отстаивают в специальных отстойниках. Рассчитайте расход  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  и  $\text{FeSO}_4$  ( $\text{кг/сут}$ ), если знак коллоидных частиц отрицательный. Отработанная техническая вода составляет  $250\,000\text{ м}^3/\text{сут}$ , а пороги коагуляции ( $\text{моль/м}^3$ ) равны: для двухвалентных ионов 0,68, для трехвалентных 0,012.

#### Вариант 19

В сточных водах содержится золь гидроксида алюминия. Рассчитайте порог коагуляции этого золя по  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , если на коагуляцию частиц из  $30\text{ м}^3$  этого золя расходуется  $0,33\text{ м}^3$  20 %-ного раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ( $\rho = 1\,060\text{ кг/м}^3$ ).

#### Вариант 20

Рассчитайте расход 30 %-ного раствора  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в  $\text{м}^3$  ( $\rho = 1\,320\text{ кг/м}^3$ ) на подготовку  $10\,000\text{ м}^3$  сточных вод, если знак заряда коллоидных частиц, содержащихся в этих сточных водах, является отрицательным. Пороги коагуляции ( $\text{моль/м}^3$ ) равны: для одновалентных ионов 135, для двухвалентных 1,89, для трехвалентных 0,038.

### ЗАДАЧА 7. Изучение кинетики набухания ВМВ

1. Постройте кривую кинетики набухания ВМВ в координатах степень набухания  $\alpha$  (доля поглощенного растворителя  $Q$ ) от времени. Варианты заданий приведены в табл. 29. Сделайте вывод о типе процесса набухания.
2. Постройте график в координатах  $\ln(\alpha_\infty/(\alpha_\infty - \alpha)) - t$  или  $\ln(Q_\infty/(Q_\infty - Q)) - t$ , где  $\alpha_\infty$  ( $Q_\infty$ ) соответствуют предельному набуханию. Определите константу скорости набухания графическим методом, приняв, что процесс набухания подчиняется кинетическому уравнению реакции I порядка.

## Варианты заданий к задаче 7

Вариант	T, К	ВМВ	Растворитель	t, мин	$\alpha$ , %	Q, %
1	298	Каучук	$\text{CCl}_4$	5	33	—
				30	115	
				90	233	
				150	291	
				210	325	
				240	341	
				270	358	
				300	358	
2	298	Агар-агар	Вода + изопропиловый спирт	60	—	212
				120		284
				180		316
				240		330
				300		336
				600		336
3	298	Вулканизи- рованный каучук	Бутанол	60	134	—
				120	188	
				180	216	
				240	224	
				300	240	
				600	240	
4	298	Поли-ε- капроамид	Этанол	6	33	—
				30	115	
				90	233	
				150	291	
				210	325	
				270	358	
				330	358	
5	298	Натуральный каучук	Этанол	1	—	9,0
				4		34,0
				8		56,0
				12		71,0
				20		87,5
				28		94,0
				32		99,5
				40		100,0
				48		100,0
						—



Продолжение табл. 29

Вари- ант	T, К	ВМВ	Растворитель	t, мин	$\alpha$ , %	Q, %
6	298	Агар-агар	Изопропанол	60	168	—
				120	232	
				180	256	
				240	268	
				300	280	
				600	280	
7	298	Агар-агар	Вода + амиловый спирт	60	—	168
				120		232
				240		268
				300		280
				600		280
8	293	Этилцеллюлоза	Толуол	10	25,0	—
				20	37,0	
				40	56,0	
				70	58,0	
				100	73,0	
				120	73,0	
9	298	Каучук	Диметил- формамид	10	14,5	—
				20	23,6	
				40	36,2	
				70	45,7	
				100	52,0	
				150	52,0	
10	295	Целлюлоза	Этанол	1	9,0	—
				4	34,0	
				8	56,0	
				20	87,5	
				32	99,5	
				40	100,0	
				48	100,0	
11	288	Каучук	Дибутилфтолат	10	—	14,5
				20		23,6
				30		31,4
				40		36,2
				50		40,6
				70		45,7
				100		52,0
				130		52,0



Вари- ант	T, К	ВМВ	Растворитель	t, мин	$\alpha$ , %	Q, %
12	298	Агар-агар	Вода+бутанол	60	—	134
				120		188
				180		216
				240		224
				300		240
				600		240
13	298	Каучук	Дибутилфтолат	10	—	25,0
				20		37,0
				30		45,0
				40		56,0
				50		60,0
				70		66,8
				100		73,0
				130		73,0
14	293	Агар-агар	Вода	60	—	212
				120		284
				180		316
				300		336
				600		336
15	308	Каучук	Дибутилфтолат	10	—	44
				20		61
				30		69
				40		78
				50		84
				70		90
16	373	Каучук СКС-30 АРК	Мазут	50	79,98	—
				100	146,04	
				200	230,00	
				400	317,10	
				600	369,19	
				800	369,19	
17	373	Вулканизи- рованный каучук	Веретенное масло	50	135	—
				100	215	
				200	320	
				400	430	
				600	443	
				900	443	
18	373	Натуральный каучук	Вазелиновое масло	50	370	—
				100	490	
				200	585	
				400	Гель	
				600	Раствор	





## ЗАДАЧА 8. Определение молярной массы ВМВ

Определите молярную массу ВМВ в соответствующем растворителе, используя данные осмометрического или вискозиметрического метода.

Вариант 1

Осмометрия.  $T = 289,5$  К. Этилцеллюлоза в анилине.

Концентрация раствора $C$ , кг/м <sup>3</sup>	2	4	6	10
Осмотическое давление $\pi$ , Па	92,4	187,0	287,0	496,0

Вариант 2

Вискозиметрия.  $T = 298$  К. Полистирол в толуоле.

Константы:  $K = 1,61 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,70$ .

Концентрация раствора $C$ , кг/м <sup>3</sup>	0	1,70	2,12	2,52	2,95	3,40
Время истечения $t$ , с	97,6	115,1	120,2	124,5	129,8	134,9

Вариант 3

Осмометрия.  $T = 298$  К. Поливинилхлорид в циклогексане.

Примите  $\pi = \Delta h \cdot 9,806 \cdot 10^3$  (Па), где  $\pi$  – осмотическое давление,  $\Delta h$  – разность уровней в капиллярах, опущенных в раствор и растворитель.

Концентрация раствора $C$ , кг/м <sup>3</sup>	1	3	5	7	10
$\Delta h \cdot 10^2$ , м	0,32	0,99	1,70	2,46	3,70

Вариант 4

Вискозиметрия.  $T = 298$  К. Полиметилметакрилат в бензоле.

Константы:  $K = 4,7 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,77$ .

Концентрация раствора $C$ , кг/м <sup>3</sup>	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
Приведенная вязкость $\eta_{уд}/C$	0,408	0,416	0,430	0,434	0,442	0,452

Вариант 5

Осмометрия.  $T = 293$  К. Полистирол в толуоле. Примите осмотическое давление  $\pi = \Delta h \cdot 9,806 \cdot 10^3$  (Па), где  $\pi$  – осмотическое давление,  $\Delta h$  – разность уровней в капиллярах, опущенных в раствор и растворитель.

Концентрация раствора $C$ , кг/м <sup>3</sup>	2,91	4,96	7,82	9,69	12,0
$\Delta h \cdot 10^2$ , м	0,95	1,67	2,78	3,51	4,50

Вариант 6

Вискозиметрия.  $T = 298$  К. Нейлон в муравьиной кислоте.

Константы:  $K = 11 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,72$ .

Концентрация раствора $C$ , кг/м <sup>3</sup>	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Приведенная вязкость $\eta_{уд}/C$	0,09	0,096	0,104	0,109	0,117

### Вариант 7

Осмометрия.  $T = 298$  К. Полистирол в бензоле. Примите  $\pi = \Delta h \cdot 9,806 \cdot 10^{-3}$  (Па), где  $\pi$  – осмотическое давление,  $\Delta h$  – разность уровней в капиллярах, опущенных в раствор и растворитель.

Концентрация раствора $C$ , кг/м <sup>3</sup>	1,0	3,0	5,0	7,0	10,0
$\Delta h \cdot 10^2$ , м	0,32	0,99	1,70	2,46	3,70

### Вариант 8

Вискозиметрия.  $T = 298$  К. Перхлорвиниловая смола в циклогексане.  
Константы:  $K = 6,3 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,67$ .

Концентрация раствора $C$ , кг/м <sup>3</sup>	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
Удельная вязкость раствора $\eta_{уд}$	0,204	0,433	0,678	0,960	1,240

### Вариант 9

Осмометрия.  $T = 297,5$  К. Этилцеллюлоза в анилине.

Концентрация раствора $C$ , кг/м <sup>3</sup>	2	4	6	10
Осмотическое давление $\pi$ , Па	98	199	305	528

### Вариант 10

Вискозиметрия.  $T = 298$  К. Поливинилацетат в ацетоне.  
Константы:  $K = 4,2 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,68$ .

Концентрация раствора $C$ , кг/м <sup>3</sup>	1	3	5	7
Удельная вязкость раствора $\eta_{уд}$	0,14	0,465	0,84	1,3

### Вариант 11

Вискозиметрия.  $T = 298$  К. Поливинилацетат в хлороформе.  
Константы:  $K = 6,5 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,71$ .

Концентрация раствора $C$ , кг/м <sup>3</sup>	1	3	5	7
Приведенная вязкость $\eta_{уд}/C$	0,385	0,465	0,530	0,615

### Вариант 12

Осмометрия.  $T = 313,8$  К. Этилцеллюлоза в анилине.

Концентрация раствора $C$ , кг/м <sup>3</sup>	2	4	6	10
Осмотическое давление $\pi$ , Па	99,6	203,0	310,0	536,0

### Вариант 13

Вискозиметрия.  $T = 298$  К. Поливинилацетат в бензоле.  
Константы:  $K = 5,7 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,70$ .

Концентрация раствора $C$ , кг/м <sup>3</sup>	1	3	5	7
Приведенная вязкость $\eta_{уд}/C$	0,242	0,285	0,310	0,355



Вариант 14

Вискозиметрия.  $T = 298 \text{ К}$ . Этилцеллюлоза в анилине.

Константы:  $K = 6,9 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,72$ .

Концентрация раствора $C$ , $\text{кг/м}^3$	1,0	1,75	2,5	3,25	4,0
Удельная вязкость $\eta_{\text{уд}}$	0,24	0,525	0,875	0,135	0,184

Вариант 15

Вискозиметрия.  $T = 298 \text{ К}$ . Поливинилацетат в ацетоне.

Константы:  $K = 5,5 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,70$ .

Концентрация раствора $C$ , $\text{кг/м}^3$	1	3	5	7
Приведенная вязкость $\eta_{\text{уд}}/C$	0,222	0,260	0,295	0,330

Вариант 16

Вискозиметрия.  $T = 298 \text{ К}$ . Полиакриловая кислота в бензоле.

Константы:  $K = 6,5 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,71$ .

Концентрация раствора $C$ , $\text{кг/м}^3$	1	3	5	7
Приведенная вязкость $\eta_{\text{уд}}/C$	0,385	0,465	0,530	0,615

Вариант 17

Осмометрия.  $T = 293 \text{ К}$ . Бутадиеновый каучук в бензоле.

Концентрация раствора $C$ , $\text{кг/м}^3$	1,206	2,898	5,108	7,684	9,912	12,28
Осмотическое давление $\pi$ , Па	8,4	31,9	81,6	169,4	267,3	401,0

Вариант 18

Вискозиметрия.  $T = 298 \text{ К}$ . Полистирол в толуоле.

Константы:  $K = 1,61 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,70$ .

Концентрация раствора $C$ , $\text{кг/м}^3$	1,70	2,12	2,52	2,95	3,40
Удельная вязкость раствора $\eta_{\text{уд}}$	0,184	0,231	0,276	0,330	0,382

Вариант 19

Осмометрия.  $T = 313 \text{ К}$ . Этилцеллюлоза в анилине.

Концентрация р-ра $C$ , $\text{кг/м}^3$	1,10	2,79	4,91	6,89	10,06	13,38
Осмотическое давление $\pi$ , Па	49,4	140,6	250,9	365,4	536,0	739,6

Вариант 20

Вискозиметрия.  $T = 298 \text{ К}$ . Полибутадиен в толуоле.

Константы:  $K = 2,16 \cdot 10^{-5}$ ,  $\alpha = 0,64$ .

Концентрация раствора $C$ , $\text{кг/м}^3$	0	1,41	1,94	2,59	3,24	3,89
Время истечения раствора $t$ , с	171,5	216,1	234,0	257,3	282,6	308,1

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### Основная литература

1. Волков, В. А. Коллоидная химия: поверхностные явления и дисперсные системы : учеб. для бакалавров и магистров (направ. «Технология и проектирование текстильных изделий» и «Технология изделий легкого промышленности») / В. А. Волков. – СПб. : Лань, 2015. – 672 с.
2. Воюцкий, С. С. Курс коллоидной химии : учеб. для хим.-технол. спец. вузов / С. С. Воюцкий. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1976. – 574 с.
3. Гельфман, М. И. Коллоидная химия : учеб. для вузов / М. И. Гельфман, О. В. Ковалевич, В. П. Юстратов. – 4-е изд., стер. – СПб. : Лань, 2008. – 336 с.
4. Евстратова, К. И. Физическая и коллоидная химия : учеб. для вузов (фарм. и фак.) / К. И. Евстратова, Н. А. Купина, Е. Е. Малахова. – М. : Высш. шк., 1990. – 487 с.
5. Зимон, А. Д. Коллоидная химия (в том числе и наночастиц) : учеб. для вузов (технолог., педагог., мед., с.-х. и др., направ. «Химия», «Спец. технология», «Хим. технология и биотехнология» и спец. «Химия» и «Биотехнология») / А. Д. Зимон. – 5-е изд., испр. и доп. – М. : Агар, 2007. – 344 с.
6. Кругляков, П. М. Физическая и коллоидная химия : учеб. пособие для вузов (спец. строит.) / П. М. Кругляков. – М. : Высш. шк., 2005. – 319 с.
7. Мушкамбаров, Н. Н. Физическая и коллоидная химия: учеб. пособие для (мед.) / Н. Н. Мушкамбаров. – М. : ГЭОТАР-МЕД, 2001. – 384 с.
8. Нигматуллин, Н. Г. Физическая и коллоидная химия : учеб. пособие для вузов (техн. спец.) / Н. Г. Нигматуллин. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Лань, 2015. – 288 с.
9. Новикова, Е. А. Коллоидная химия: Дисперсные системы и частицы : курс лекций : учеб. пособие для вузов (направ. 150100 – Metallургия и 150700 – Физическое материаловедение) / Е. А. Новикова. – М. : Издательский дом МИСиС, 2011. – 52 с.
10. Писаренко, А. П. Курс коллоидной химии : учеб. для вузов / А. П. Писаренко, К. А. Поспелова, А. Г. Яковлев ; под общ. ред. А. П. Писаренко. – 3-е изд., испр. – М. : Высш. шк., 1969. – 248 с.
11. Сумм, Б. Д. Коллоидная химия : учеб. для вузов / Б. Д. Сумм. – 4-е изд., перераб. – М. : Academia, 2013. – 240 с.
12. Фридрихсберг, Д. А. Курс коллоидной химии : учеб. для вузов / Д. А. Фридрихсберг. – 4-е изд., испр. и доп. – СПб. : Лань, 2010. – 416 с.
13. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы : учеб. для вузов / Ю. Г. Фролов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1989. – 464 с.



14. *Щукин, Е. Д.* Коллоидная химия : учеб. для вузов (спец. и направ. «Химия») / Е. Д. Щукин, А. В. Перцов, Е. А. Амелина. – 7-е изд., испр. и доп. – М. : Юрайт, 2014. – 445 с.

### Дополнительная литература

15. *Ахметов, Б. В.* Задачи и упражнения по физической и коллоидной химии / Б. В. Ахметов. – Л. : Химия, 1989. – 240 с.
16. *Балезин, С. А.* Практикум по физической и коллоидной химии / С. А. Балезин. – 4-е изд. – М. : Просвещение, 1980. – 272 с.
17. *Баранова, В. И.* Практикум по коллоидной химии : учеб. пособие для вузов / под ред. И. С. Лаврова. – М. : Высш. шк., 1983. – 216 с.
18. *Гамеева, О. С.* Сборник задач и упражнений по физической и коллоидной химии : учеб. пособие для хим.-мех. техникумов / О. С. Гамеева. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1974. – 272 с.
19. *Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии* / под ред. В. Г. Фролова, А. С. Гродского. – М. : Химия, 1986. – 216 с.
20. *Лабораторные работы по химии. Дисперсные системы* / сост. Р. С. Вахидов. – УФА : УАИ, 1980. – 36 с.
21. *Методические указания к лабораторным работам по коллоидной химии* / сост. В. И. Любушкин. – Новочеркасск : Новочеркасский политехн. ин-т, 1986. – 26 с.
22. *Практикум по коллоидной химии : учеб. пособие для вузов (направ. 020100.62 и спец. 020101 «Химия»)* / В. Д. Должикова, Н. М. Задымова, Н. И. Иванова [и др.] ; под ред. В. Г. Куличихина. – М. : Вузовский учебник, 2012. – 288 с.
23. *Практикум по физической и коллоидной химии* / под ред. К. И. Евстратовой. – М. : Высш. шк., 1990. – 255 с.
24. *Рыбакова, Ю. С.* Лабораторные работы по коллоидной химии / Ю. С. Рыбакова. – М. : Высш. шк., 1989. – 112 с.
25. *Физико-химия дисперсных систем : метод. указ. к лаб. работам* / сост. Л. В. Сеничева. – Хабаровск : Хабар. политехн. ин-т, 1982. – 31 с.
26. *Фукс, Г. И.* Коллоидная химия нефти и нефтепродуктов / Г. И. Фукс. – М. : Знание, 1984. – 64 с.
27. *Шутова, А. И.* Задачник по коллоидной химии / А. И. Шутова. – М. : Высш. шк., 1966. – 88 с.



## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Ответы на тестовые задания для самоконтроля

1. г); 2. д); 3. а); 4. г); 5. б); 6. д); 7. в); 8. б); 9. г); 10. г); 11. б); 12. б); 13. в); 14. б); 15. д); 16. б); 17. д); 18. а); 19. б); 20. а); 21. д); 22. д); 23. а); 24. б); 25. б); 26. г); 27. д); 28. в); 29. г); 30. а); 31. в); 32. а); 33. г); 34. в); 35. г); 36. а); 37. б); 38. в); 39. б); 40. в); 41. г); 42. б); 43. д); 44. б); 45. г); 46. г); 47. д); 48. д); 49. в); 50. б); 51. в); 52. в); 53. г); 54. б); 55. а); 56. б); 57. д); 58. д); 59. в); 60. б); 61. г); 62. а); 63. а); 64. г); 65. д).

### Приложение 2

#### Нормативы концентраций химических веществ, встречающихся в природных водах или добавляемых к воде в процессе ее обработки, по ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством»

Химическое вещество	Норматив	Метод испытания
Алюминий остаточный (Al), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,5	По ГОСТ 18165-89
Бериллий (Be), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,0002	По ГОСТ 18294-89
Молибден (Mo), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,25	По ГОСТ 18308-72
Мышьяк (As), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,05	По ГОСТ 4152-89
Нитраты (NO <sub>3</sub> ), мг/дм <sup>3</sup> , не более	45,0	По ГОСТ 18826-73
Полиакриламид остаточный, мг/дм <sup>3</sup> , не более	2,0	По ГОСТ 19355-85
Свинец (Pb), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,03	По ГОСТ 18293-72
Селен (Se), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,01	По ГОСТ 19413-89
Стронций (Sr), мг/дм <sup>3</sup> , не более	7,0	По ГОСТ 23950-88
Фтор (F), мг/дм <sup>3</sup> , не более для климатических районов:		По ГОСТ 4386-88
I и II	1,5	
III	1,2	
IV	0,7	

### Приложение 3

#### Органолептические свойства воды по ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая. Гигиенические требования и контроль за качеством»

Показатель	Норматив	Метод испытания
Запах при 20 °С и при нагревании до 60°, баллы, не более	2	По ГОСТ 3351-74
Вкус и привкус при 20 °С, баллы, не более	2	По ГОСТ 3351-74
Цветность, градусы, не более	20	По ГОСТ 3351-74
Мутность по стандартной шкале, мг/дм <sup>3</sup> , не более	1,5	По ГОСТ 3351-74

**Примечание.** По согласованию с органами санитарно-эпидемиологической службы допускается увеличение цветности воды до 35°; мутности (в паводковый период) до 2 мг/дм<sup>3</sup>.



**Нормативы концентраций химических веществ,  
влияющих на органолептические свойства воды, встречающихся  
в природных водах или добавляемых к воде в процессе ее обработки,  
по ГОСТ 2874-82 «Вода питьевая.  
Гигиенические требования и контроль за качеством»**

Показатель	Норматив	Метод испытания
Водородный показатель, pH	6,0–9,0	Измеряется при pH-метре любой модели со стеклянным электродом с погрешностью измерений, не превышающей 0,1 pH
Железо (Fe), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,3	По ГОСТ 4011-72
Жесткость общая, моль/м <sup>3</sup> , не более	7,0	По ГОСТ 4151-72
Марганец (Mn), мг/дм <sup>3</sup> , не более	0,1	По ГОСТ 4974-72
Медь (Cu <sup>2+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup> , не более	1,0	По ГОСТ 4388-72
Полифосфаты остаточные (PO <sup>3-</sup> <sub>4</sub> ), мг/дм <sup>3</sup> , не более	3,5	По ГОСТ 18309-72
Сульфаты (SO <sup>2-</sup> <sub>4</sub> ), мг/дм <sup>3</sup> , не более	500	По ГОСТ 4389-72
Сухой остаток, мг/дм <sup>3</sup> , не более	1000	По ГОСТ 18164-72
Хлориды (Cl <sup>-</sup> ), мг/дм <sup>3</sup> , не более	350	По ГОСТ 4245-72
Цинк (Zn <sup>2+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup> , не более	5,0	По ГОСТ 18293-72



## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
Список сокращений и обозначений величин .....	4
I. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФИЗИКО-ХИМИИ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ В СХЕМАХ, РИСУНКАХ, ТАБЛИЦАХ .....	7
II. ТЕСТОВЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ .....	35
III. ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ .....	45
Работа 1. Получение золя и его качественная характеристика .....	45
Работа 2. Исследование коагуляции лиофобных золь электролитами .....	51
Работа 3. Определение среднего размера частиц в бесцветном золе .....	59
Работа 4. Получение пены и изучение ее устойчивости .....	64
Работа 5. Получение суспензии и изучение ее устойчивости .....	69
Работа 6. Получение эмульсий и изучение их свойств .....	73
Работа 7. Определение вязкости растворов высокомолекулярных веществ и расчет молярной массы ВМВ .....	79
Работа 8. Исследование свойств растворов полиэлектролитов .....	84
Работа 9. Исследование процессов в студнях и гелях .....	90
Работа 10. Исследование дисперсных примесей в водопроводной, природной и технической воде (УИРС) .....	98
IV. МНОГОВАРИАНТНЫЕ ЗАДАЧИ .....	104
ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ .....	104
ЗАДАЧА 1. Характеристика дисперсных систем .....	118
ЗАДАЧА 2. Получение золь и их коагуляция .....	118
ЗАДАЧА 3. Получение золь .....	120
ЗАДАЧА 4. Молекулярно-кинетические и оптические свойства дисперсных систем .....	121
ЗАДАЧА 5. Электрокинетические свойства дисперсных систем .....	123
ЗАДАЧА 6. Коагуляция дисперсных систем. Очистка природных и сточных вод методом коагулирования .....	126
ЗАДАЧА 7. Изучение кинетики набухания ВМВ .....	129
ЗАДАЧА 8. Определение молярной массы ВМВ .....	133
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	136
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	138

Учебное издание

**Яргаева Валентина Александровна, Сеничева Лидия Васильевна**

### ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

Учебное пособие

Отпечатано с авторского оригинала-макета  
Компьютерная верстка *В. А. Яргаевой*  
Дизайнер обложки *А. С. Горшкова*

Подписано в печать 04.06.19. Формат 60х84  $\frac{1}{16}$ . Усл. печ. л. 8,25. Тираж 100 экз. Заказ 168.

Издательство Тихоокеанского государственного университета. 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.  
Отдел оперативной полиграфии издательства Тихоокеанского государственного университета.  
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136.

