

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Невинномысский технологический институт (филиал)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению практических занятий
по дисциплине «Коллоидная химия»
для студентов заочной формы обучения
направления подготовки
18.03.01 Химическая технология

Невинномысск 2020

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО и рабочей программы дисциплины «Коллоидная химия». Указания предназначены для студентов заочной формы обучения направления подготовки 18.03.01 Химическая технология. Содержат основные разделы изучаемого теоретического материала, перечень вопросов необходимых для проработки, а также список рекомендуемой литературы.

Составители

Л.В. Москаленко, канд. техн. наук, доцент.

Е.В. Вернигорова, ассистент

Отв. редактор

А.И. Свидченко, канд. техн. наук, доцент.

СОДЕРЖАНИЕ

1.	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 1. ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ. УДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ	5
2.	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 2. ПОВЕРХНОСТНАЯ ЭНЕРГИЯ. ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ	9
3.	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3. МИЦЕЛЛЯРНАЯ ТЕОРИЯ СТРОЕНИЯ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ	25
4.	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4. МОЛЕКУЛЯРНО- КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ	54
5.	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ	66
6.	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6. АГРЕГАТИВНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ	84
7.	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 7. КОАГУЛЯЦИЯ	90
8.	ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 8. ЛЮОФИЛЬНЫЕ ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ	110
	ЛИТЕРАТУРА	123
	ПРИЛОЖЕНИЯ	124

1 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1. ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ. УДЕЛЬНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ

При изучении данного раздела бакалавр приобретает следующие компетенции: ОК-7, ОПК-1, ОПК-3. Он будет готов к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства, способен приобретать новые знания в области естественных наук; способностью и готовностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, использовать знания о современной физической картине мира, строении вещества и природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире; способен использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности.

Дисперсными или ультрамикрорегетерогенными являются системы с высоко развитой поверхностью раздела фаз и линейными размерами частиц дисперсной фазы $10^{-7} \div 10^{-9}$ м.

Растворенное вещество в дисперсных системах принято называть дисперсной фазой (ДФ), а растворитель – дисперсионной средой (ДС).

Основными количественными характеристиками частиц дисперсной фазы коллоидного раствора являются:

1. Дисперсность D , которая представляет собой величину, обратную линейным размерам коллоидных частиц:

$$D = \frac{1}{a}, \quad (1.1)$$

где: D – дисперсность частиц дисперсной фазы, м^{-1} ;

a – линейный размер частиц: диаметр либо радиус сферических частиц; длина ребра куба для частиц кубической формы, м.

2. Удельная поверхность $S_{\text{уд}}$, которая представляет собой общую поверхность частиц единицы массы вещества дисперсной фазы:

$$S_{уд} = \frac{S}{m}, \quad (1.2)$$

где: $S_{уд}$ – удельная поверхность частиц дисперсной фазы, м²/кг;

S – общая поверхность частиц дисперсной фазы, м²;

m – масса дисперсной фазы, кг.

Удельная поверхность рассчитывается по линейным размерам коллоидных частиц с учетом их формы:

а) для шаровидных частиц:
$$S_{уд} = \frac{3}{r \cdot \rho} \quad (1.3)$$

б) для частиц кубической формы:
$$S_{уд} = \frac{6}{l \cdot \rho}, \quad (1.4)$$

где: r – радиус коллоидной частицы, l – длина ребра куба, м ;

ρ – плотность дисперсной фазы, кг/м³.

1.1

Решен

ие

типов

ых

задач

Задача 1. При дроблении вещества А, указанного в таблице 1.1, могут образоваться частицы сферической или кубической формы. Определить количество частиц, содержащихся в заданной массе m вещества, а также – удельную $S_{уд}$ и суммарную S поверхности для обеих форм частиц.

Таблица 1.1 - Данные для расчета удельной поверхности дисперсных частиц

Вещество А	Масса $m \cdot 10^3$, кг	Длина ребра куба $l \cdot 10^6$, м	Диаметр сферической частицы $d \cdot 10^6$, м	Плотность вещества $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³
Угольная пыль	5.0	8.0	8.0	1.80

Решение: 1. Для частиц сферической формы:

Рассчитаем массу одной частицы:

$$m(1сф.част.) = V(1сф.част.) \cdot \rho = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^3 \cdot \rho =$$

$$= \frac{4}{3} \cdot 3.14 \cdot \left(\frac{8.0 \cdot 10^{-6}}{2}\right)^3 \cdot 1.80 \cdot 10^3 = 4.82 \cdot 10^{-13} \text{ кг}$$

Определим количество частиц $\nu_{сф.}$, содержащихся в заданной условием массе вещества m :

$$\nu(сфер) = \frac{m}{m(1сф.ч.)} = \frac{5.0 \cdot 10^{-3}}{4.82 \cdot 10^{-13}} = 10.4 \cdot 10^9.$$

Рассчитаем поверхность одной сферической частицы:

$$S(1сф.част.) = 4 \cdot \pi \cdot r^2 = 4\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 = 4 \cdot 3.14 \cdot \left(\frac{8.0 \cdot 10^{-6}}{2}\right)^2 = 2.01 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2.$$

Определим суммарную поверхность $S_{(сфер.)}$ всех сферических частиц, содержащихся в заданной массе вещества m :

$$S(сфер.) = S(1сф.ч.) \cdot \nu(сфер.) = 2.01 \cdot 10^{-10} \cdot 10.4 \cdot 10^9 = 2.09 \text{ м}^2.$$

Рассчитаем удельную поверхность вещества дисперсной фазы:

$$S_{уд(сфер)} = \frac{S_{(сф)}}{m} = \frac{\nu_{(сф)} \cdot S_{(1сф.ч.)}}{\nu_{(сф)} \cdot m_{(1сф.ч.)}} = \frac{4\pi r^2}{\frac{4}{3} \cdot \pi r^3 \cdot \rho} = \frac{3}{r \cdot \rho} = \frac{6}{8.0 \cdot 10^{-6} \cdot 1.80 \cdot 10^3} = 416,66 \text{ м}^2 / \text{кг}.$$

Для частиц кубической формы:

Рассчитаем массу одной частицы:

$$m(1куб.част.) = V(1куб.част.) \cdot \rho = l^3 \cdot \rho = (8.0 \cdot 10^{-6})^3 \cdot 1.80 \cdot 10^3 = 9,22 \cdot 10^{-13} \text{ кг}.$$

Определим количество частиц $\nu_{(куб.)}$, содержащихся в заданной условием массе вещества m :

$$\nu(куб.) = \frac{m}{m(1куб.ч.)} = \frac{5.0 \cdot 10^{-3}}{9.22 \cdot 10^{-13}} = 5.42 \cdot 10^9 \text{ частиц}.$$

Рассчитаем поверхность одной кубической частицы:

$$S(1куб.част.) = 6l^2 = 6 \cdot (8.0 \cdot 10^{-6})^2 = 3,84 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2.$$

Определим суммарную поверхность $S_{(куб.)}$ всех кубических частиц, содержащихся в заданной массе вещества m :

$$S_{(куб.)} = S(1куб.част.) \cdot \nu(куб.) = 3,84 \cdot 10^{-10} \cdot 5,42 \cdot 10^9 = 2,08 \text{ м}^2.$$

Рассчитаем удельную поверхность вещества дисперсной фазы:

$$S_{\text{уд.}}(\text{куб.}) = \frac{S(\text{куб})}{m} = \frac{S(1\text{куб.част}) \cdot \nu(\text{куб})}{V(1\text{куб.част}) \cdot \rho \cdot \nu(\text{куб})} = \frac{6l^2}{l^3 \cdot \rho} =$$

$$= \frac{6}{8.0 \cdot 10^{-6} \cdot 1.80 \cdot 10^3} = 416,66 \text{ м}^2 / \text{кг}.$$

1.2

Много вариантные задачи

При дроблении вещества А, указанного в таблице 1.2, могут образовываться частицы сферической или кубической формы. Определить:

- количество частиц, содержащихся в заданной массе m , кг вещества;
- удельную поверхность $S_{\text{уд.}}$;
- общую поверхность S для сферических и кубических частиц.

Таблица 1.2 – Данные для расчета удельной и общей поверхности коллоидных сферических и кубических частиц

Вариант	Вещество А	Масса $m \cdot 10^3$, кг	Длина ребра куба $l \cdot 10^6$, м	Диаметр сферической частицы $d \cdot 10^6$, м	Плотность вещества $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³
1	диоксид кремния SiO ₂	2,0	0,004	0,006	2,76
2	сера S	3,0	1,20	1,0	2,07
3	кислота кремниевая H ₂ SiO ₃	1,0	8,0	5,0	3,17
4	марганца диоксид MnO ₂	6,0	0,15	0,10	5,03
5	берлинская лазурь Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃	2,0	70,0	56,0	1,84
6	гидроксид железа (III) Fe(OH) ₃	1,5	63,5	48,0	3,70
7	гексацианоферрат меди (II)	4,5	1,80	1,15	1,56
8	гидроксид алюминия Al(OH) ₃	2,0	4,80	4,20	2,42
9	суспензия глины	3,0	0,5	0,46	2,50
10	пудра сахарная	1,5	100	88	1,60
11	сахар	10	2000	1800	1,60
12	силикагель	2,5	60	49	2,76
13	оксид алюминия Al ₂ O ₃	2,0	2,58	3,06	2,07
14	уголь активированный	1,2	0,65	0,50	1,78
15	сажа	3,5	4,0	0,35	3,52

16	латекс	2,5	60	48	1,76
17	иодид серебра AgI	0,90	50	48	5,71
18	катализатор никелевый	2,0	0,03	0,018	8,91
19	катализатор палладиевый	3,0	0,15	0,20	12,0
20	золь золота	1,0	0,05	0,045	19,3
21	золь серебра	2,2	2,4	3,2	10,5
22	цианид серебра Ag CN	0,50	0,045	0,033	3,95
23	гидроксид никеля (II)Ni(OH) ₂	2,0	0,50	0,65	4,10
24	глюкоза	1,0	0,24	0,20	1,55
25	фенол	0,5	0,020	0,018	1,06
26	нафталин	1,0	17,0	20,0	0,88
27	бромид серебра AgBr	0,50	0,050	0,075	6,50
28	стеарин	0,20	0,28	0,43	0,84
29	полистирол	0,8	15,0	20,0	0,75
30	графит	1,0	12,0	0,6	1,75

1.3

Контр ольны е вопро сы

1. Дисперсные системы: определение, основные свойства.
2. Количественные характеристики дисперсных систем.
3. Вычислить удельную поверхность катализатора, если для образования мономолекулярного слоя на нем должно адсорбироваться 0,1 м³/кг азота (объем приведен к нормальным условиям). Площадь молекул азота в монослое равна $S_0 = 16,2 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.
4. Рассчитать удельную поверхность катализатора (активированного угля), если для образования монослоя молекул на нем должно адсорбироваться 0,25 м³/кг бензола (объем приведен к нормальным условиям). Площадь молекулы бензола в монослое равна $S_0 = 4,9 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

2 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2. ПОВЕРХНОСТНАЯ ЭНЕРГИЯ И ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ

При изучении данного раздела бакалавр приобретает следующие компетенции: ОК-7, ОПК-1, ОПК-3

Он стремится к повышению своей квалификации; овладевает новыми знаниями в области естественных наук; использует знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы; использует знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире; способен планировать и проводить физические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения ; способен использовать знание свойств химических элементов, соединений для решения задач профессиональной деятельности.

2.1

**Термо
динам
ическ
ие
функц
ии
повер
хност
ного
слоя**

Всякая поверхность раздела фаз отличается по своим свойствам от внутренних областей граничащих фаз. Различие заключается в том, что на поверхности раздела фаз имеется избыток свободной энергии. Количественной оценкой избыточной поверхностной энергии на границе жидкости с данной средой является удельная поверхностная энергия или поверхностное натяжение:

$$\sigma = \frac{F^S}{S}, \quad (2.1)$$

где: σ – поверхностное натяжение, Н/м

F^S – избыточная свободная энергия, Дж

S – площадь поверхности раздела фаз, м².

Термодинамические функции поверхностного слоя жидкости описываются уравнением, аналогичным уравнению 2-го начала термодинамики:

$$F^S = U^S - T \cdot S^S, \quad (2.2)$$

где: F^S – свободная энергия поверхностного слоя, Дж;

U^S – внутренняя энергия поверхностного слоя, Дж;

T – температура, К;

S^S – энтропия поверхностного слоя, Дж/К.

Энтропия поверхностного слоя S^S связана со свободной энергией соотношением, аналогичным уравнению Гельмгольца для объемных фаз:

$$S^S = -\frac{dF^S}{dT} \quad (2.3)$$

После совместного решения уравнений (2.1), (2.2) и (2.3) и отнесения всех термодинамических характеристик поверхностного слоя к единице поверхности раздела фаз получим основное уравнение поверхностного слоя – уравнение Гиббса-Гельмгольца для единицы площади поверхностного слоя:

$$\sigma = U + T \cdot \frac{d\sigma}{dT}, \quad (2.4)$$

где: $U = \frac{U^S}{S}$ – внутренняя энергия единицы поверхностного слоя, Дж/м²;

$\frac{d\sigma}{dT} = \beta$ – температурный коэффициент поверхностного натяжения.

2.2 Мет

оды

опред

елени

я

повер

хност

ного

натяж

ения

Для определения поверхностного натяжение жидкости можно использовать различные методы:

- метод капиллярного поднятия жидкости;
- метод наибольшего давления образования воздушных пузырьков,
- сталагмометрический и др.

Сталагмометрический метод основан на изучении зависимости числа капель, полученных из определенного объема жидкости (при свободном ее истечении в виде капель) и поверхностным натяжением:

$$\sigma(x) = \sigma(H_2O) \cdot \frac{n(H_2O) \cdot \rho(x)}{n(x) \cdot \rho(H_2O)}, \quad (2.5)$$

где: $\sigma(x)$ – поверхностное натяжение исследуемой жидкости, Н/м;

$\sigma(H_2O)$ – поверхностное натяжение жидкости сравнения, Н/м;

$n(H_2O), n(x)$ – число капель, образующихся при вытекании воды и исследуемой жидкости из объема сталагмометра;

$\rho(H_2O), \rho(x)$ – плотность воды и исследуемой жидкости, кг/м³.

Метод капиллярного поднятия жидкости основан на изучении зависимости высоты подъема жидкости h в стеклянном капилляре диаметром 0,5 – 1,0 мм от поверхностного натяжения и плотности жидкости. Согласно уравнению Жорена поверхностное натяжение жидкости определяется как:

$$\sigma = \frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot r \cdot \cos \theta}{2}, \quad (2.6)$$

где: σ – поверхностное натяжение, Н/м;

h – высота поднятия жидкости в капилляре, м;

r – радиус капилляра, м;

θ – краевой угол смачивания.

Метод наибольшего давления образования воздушных пузырьков основан на изучении зависимости наибольшего давления P проскока воздушного пузырька через границу раздела жидкость – воздух от величины поверхностного натяжения жидкости:

$$P = \frac{2 \cdot \sigma}{r}, \quad (2.7)$$

откуда:

$$\sigma = P \cdot \frac{r}{2} \quad (2.8)$$

Чаще всего используется относительный метод наибольшего давления проскока воздушных пузырьков, при котором поверхностное натяжение исследуемой жидкости рассчитывается по формуле:

$$\sigma(x) = \sigma(H_2O) \cdot \frac{P(x)}{P(H_2O)}, \quad (2.9)$$

где: $P(x)$, $P(H_2O)$ – давление проскока воздушного пузырька через исследуемую жидкость и жидкость сравнения (H_2O), Па;

$\sigma(H_2O)$ – поверхностное натяжение воды при температуре определения, Н/м.

2.3 Зав

исимо

сть

повер

хност

ного

натяж

ения

от

ряда

факто

ров

Поверхностное натяжение жидкости зависит от ряда факторов, в том числе от температуры и кривизны поверхности раздела фаз.

С увеличением температуры поверхностное натяжение жидкости уменьшается согласно уравнению Ван-дер-Ваальса:

$$\sigma = K \cdot (T_{кр} - T)^{1+\alpha}, \quad (2.10)$$

где: K – эмпирическая константа;

$\alpha = 0,5$ – для всех жидкостей при температуре, близкой к критической.

При $T = T_{кр}$ исчезает граница раздела между жидкостью и паром,

поэтому $\sigma_{T_{кр}} = 0$, что позволяет определить критическую температуру любой жидкости по экспериментально установленной зависимости $\sigma = f(T)$.

При температурах, далеких от критической, зависимость $\sigma = f(T)$ близка к линейной, т.е. производная $\frac{d\sigma}{dT} = \beta$, называемая температурным коэффициентом поверхностного натяжения, практически постоянна и отрицательна.

Исследования показывают, что для большинства жидкостей:

$$\beta = -B \cdot \left(\frac{\rho}{M} \right)^{2/3}, \quad (2.11)$$

где: B – коэффициент, практически постоянный для всех жидкостей;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

M – молекулярная масса жидкости, кг/моль.

Влияние кривизны поверхности жидкости на поверхностное натяжение выражается уравнением Томсона:

$$P_r = P_s \cdot e^{\pm \frac{K \cdot \sigma \cdot \bar{V}_i}{R \cdot T \cdot r}} \quad (2.12)$$

$$\text{или } \sigma = \pm \frac{r \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{P_r}{P_s}}{K \cdot \bar{V}_i}, \quad (2.13)$$

где: σ – поверхностное натяжение жидкости, Н/м;

$\bar{V}_i = \frac{M}{\rho}$ – парциальный мольный объем жидкости, м³;

r – радиус кривизны поверхности раздела, м;

P_s – давление насыщенного пара над плоской поверхностью, Па;

P_r – давление насыщенного пара над искривленной поверхностью;

k – коэффициент: $k = 2$ -для вогнутого шаровидного мениска;

$k = 1$ -для вогнутого цилиндрического мениска.

В уравнении Томсона знак (+) относится к выпуклой поверхности, знак (–) – к вогнутой.

ение типовых задач

Задача 1. При определении поверхностного натяжения σ методом капиллярного поднятия жидкости получены следующие данные (таблица 2.1). Рассчитать величины, отмеченные знаком «?».

Таблица 2.1 - Данные для определения поверхностного натяжения методом капиллярного поднятия жидкости

Вариант	Жидкость	Радиус капилляра $r \cdot 10^3$, м	Краевой угол смачивания θ^0	Высота поднятия жидкости		Плотность жидкости		Поверхностное натяжение $\sigma \cdot 10^3$, Н/м	$\frac{\sigma_1}{\sigma_2}$, раз
				$h_1 \cdot 10^3$, м	$h_2 \cdot 10^3$, м	$\rho_1 \cdot 10^3$, кг/м ³	$\rho_2 \cdot 10^3$, кг/м ³		
1	бутанол	0.28	30	21.7	-	0.804	-	?	-
2	виногр.сок	?	50	23.0	-	1.10	-	48.0	-
3	1-этилен-гликоль 2-толуол	4.0	0	36.8	14.0	1.113	0.867	-	?

Решение: Для расчета поверхностного натяжения σ воспользуемся

уравнением Жорена:
$$\sigma = \frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot r \cdot \cos \theta}{2} \quad (2.6)$$

$$\sigma = \frac{0.804 \cdot 10^3 \cdot 9.81 \cdot 21.7 \cdot 10^{-3} \cdot 0.28 \cdot 10^{-3} \cdot \cos 30^0}{2} = 20.75 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м}$$

Радиус капилляра r при использовании метода поднятия жидкости в капилляре также определяем из уравнения Жорена:

$$r = \frac{2 \cdot \sigma}{g \cdot \rho \cdot h \cdot \cos \theta} = \frac{2 \cdot 48.0 \cdot 10^{-3}}{9.81 \cdot 1.10 \cdot 10^3 \cdot 23.0 \cdot 10^{-3} \cdot \cos 50^0} = 0.602 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Для того чтобы определить во сколько раз поверхностное натяжение этиленгликоля σ_1 превышает поверхностное натяжение толуола, необходимо применить уравнение Жорена к каждой из жидкостей (1 и 2) и найти отношение их поверхностных натяжений:

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{g \cdot \rho_1 \cdot h_1 \cdot r \cdot \cos \theta}{g \cdot \rho_2 \cdot h_2 \cdot r \cdot \cos \theta} = \frac{\rho_1 \cdot h_1}{\rho_2 \cdot h_2} = \frac{1.113 \cdot 10^3 \cdot 36.8 \cdot 10^{-3}}{0.867 \cdot 10^3 \cdot 14.0 \cdot 10^{-3}} = 3.374 \text{ раза.}$$

Задача 2. Рассчитать поверхностное натяжение жидкостей методом наибольшего давления проскока воздушных пузырьков по следующим экспериментальным данным (поверхностное натяжение воды считать $\sigma_{H_2O}^{293} = 72.75 \cdot 10^{-3}$ Н/м):

Таблица 2.2 - Таблица для определения поверхностного натяжения методом Ребиндера

Исследуемая жидкость	Давление проскока пузырька		Поверхностное натяжение $\sigma \cdot 10^3$, Н/м
	$P(H_2O)$, Па	$P(C_3H_8O_3)$, Па	
Глицерин	270	220	?

Решение: Поверхностное натяжение по методу наибольшего давления проскока воздушных пузырьков определим по уравнению (2.9):

$$\sigma(C_3H_8O_3) = \sigma(H_2O) \cdot \frac{P(гл.)}{P(H_2O)} = 72.75 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{220}{270} = 59.4 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м.}$$

Задача 3. Рассчитать поверхностное натяжение жидкостей σ сталагмометрическим методом по следующим экспериментальным данным (поверхностное натяжение воды считать $\sigma_{H_2O}^{293} = 72.75 \cdot 10^{-3}$ Н/м; плотность $\rho_{H_2O}^{293} = 1.0 \cdot 10^3$ кг/м³):

$$\rho_{H_2O}^{293} = 1.0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

Таблица 2.3 - Данные для определения поверхностного натяжения сталагмометрическим методом

Исследуемая жидкость	Среднее число капель		Плотность жидкости $\rho \cdot 10^3$ кг/м ³	Поверхностное натяжение $\sigma \cdot 10^3$ Н/м
	Жидкость $n(x)$	Вода $n(H_2O)$		
Сероуглерод	156.7	55.0	1.2632	?

Решение: Для расчета поверхностного натяжения σ сталагмометрическим методом воспользуемся уравнением (2.5):

$$\sigma(CS_2) = \sigma(H_2O) \cdot \frac{n(H_2O) \cdot \rho(CS_2)}{n(CS_2) \cdot \rho(H_2O)} = 72.75 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{55.0 \cdot 1.2632 \cdot 10^3}{156.7 \cdot 1.0 \cdot 10^3} = 32.25 \cdot 10^{-3} \text{ Н/м.}$$

Задача 4. На основании экспериментальных данных изучения зависимости поверхностного натяжения жидкости от температуры:

а) построить графическую зависимость поверхностного натяжения жидкости от температуры $\sigma = f(T)$;

- б) определить температурный коэффициент поверхностного натяжения β ;
- в) рассчитать энтропию поверхностного слоя;
- г) рассчитать удельную внутреннюю энергию поверхностного слоя;
- д) графическим методом определить критическую температуру жидкости $T_{кр}$:

Таблица 2.4 - Данные для расчета термодинамических характеристик поверхностного слоя

Исслед. жидкость	Поверхностное натяжение $\sigma \cdot 10^3$, Н/м при температуре T, К							Плотность жидкости $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	Молек. масса $M(x) \cdot 10^3$ кг/моль
	273	283	293	303	313	323	333		
октан	23.70	22.73	21.76	20.79	19.78	18.79	17.82	0.7022	114.16

Решение: Строим графическую зависимость поверхностного натяжения от температуры в координатах: $\sigma \cdot 10^3 = f(T)$ (рисунок 2.1).

Температурный коэффициент поверхностного натяжения $\beta = \frac{d\sigma}{dT}$

определяем по тангенсу угла наклона α полученной прямой к оси абсцисс, расположенному во второй четверти:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d\sigma}{dT} = -\frac{(23.80 - 17.70) \cdot 10^{-3}}{337 - 274} = -0.0968 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{К}$$

Таким образом: $\beta = -0.0968 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{К}$

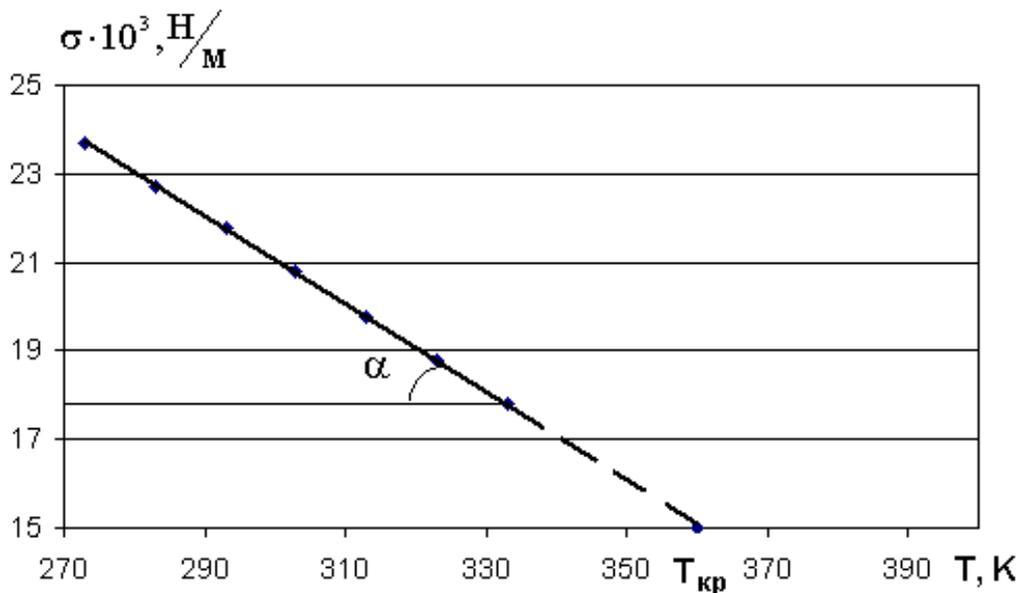


Рисунок 2.1 – Зависимость поверхностного натяжения от температуры

Энтропия единицы площади поверхностного слоя будет равна:

$$S^S = -\frac{dF^S}{dT} = -\left(-\frac{d\sigma}{dT}\right) = -(-0.0968 \cdot 10^{-3}) = 0.0968 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2 \cdot \text{К}$$

Удельную внутреннюю энергию поверхностного слоя рассчитываем по уравнению Гиббса-Гельмгольца для единицы поверхностного слоя при стандартной температуре 298 К:

$$\sigma = U + T \cdot \frac{d\sigma}{dT} \quad (2.4)$$

Откуда: $U = \sigma - T \cdot \frac{d\sigma}{dT} = 21.76 \cdot 10^{-3} - 293 \cdot (-0.0968 \cdot 10^{-3}) = 50.12 \cdot 10^{-3} \text{ Дж/м}^2$.

Критическую температуру $T_{кр}$ определяем по отрезку, отсекаемому полученной прямой от оси абсцисс: из графика $T_{кр} = 360,5 \text{ К}$.

Задача 5. Рассчитать равновесное давление паров над каплями исследуемой жидкости при $T = 293 \text{ К}$ на основании данных таблицы.2.5 (капли считать сферическими):

Таблица 2.5 - Данные для расчета давления пара над искривленной поверхностью

Исслед жидкость	Дисперсность капли $D \cdot 10^{-6}, \text{ м}$	Давление насыщ. пара над плоской поверхностью $P_s \cdot 10^{-3}, \text{ Па}$	Поверхностное натяжение $\sigma \cdot 10^3, \text{ Н/м}$	Плотность $\rho \cdot 10^{-3}, \text{ кг/м}^3$	Молек. масса $M \cdot 10^3, \text{ кг/моль}$
п-ксилол	33.0	76.5	28.31	8610	106.17

Решение: Равновесное давление паров п-ксилола над каплями

сферической формы при $T=293 \text{ К}$ рассчитаем по формуле Томсона:

$$P_r = P_s \cdot e^{\pm \frac{K \cdot \sigma \cdot \bar{V}}{R \cdot T \cdot r}} \quad (2.12)$$

Поскольку капля имеет сферическую выпуклую поверхность, расчет давления насыщенных паров по уравнению Томсона будем проводить со знаком (+); коэффициент К для сферических поверхностей $K = 2$.

Рассчитаем диаметр капли по заданному значению дисперсности D :

$$D = \frac{1}{d} \Rightarrow d = \frac{1}{D} = \frac{1}{33 \cdot 10^6} = 0.0303 \cdot 10^{-6} \text{ м} - \text{диаметр капли.}$$

Следовательно, радиус капли $r = \frac{d}{2} = \frac{0.0303 \cdot 10^{-6}}{2} = 0.0151 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$

Рассчитаем мольный объем n -ксилола по формуле:

$$\bar{V}(C_8H_{10}) = \frac{M(C_8H_{10})}{\rho(C_8H_{10})} = \frac{106.17 \cdot 10^{-3}}{0.861 \cdot 10^3} = 123.31 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{моль}$$

Рассчитаем давление насыщенного пара над сферическими каплями n -ксилола по уравнению Томсона:

$$P_r = P_s \cdot e^{\frac{K \cdot \sigma \cdot \bar{V}}{R \cdot T \cdot r}} = 76.5 \cdot 10^3 \cdot e^{\frac{2 \cdot 28.31 \cdot 10^{-3} \cdot 123.31 \cdot 10^{-6}}{0.0151 \cdot 10^{-6} \cdot 8.314 \cdot 283}} = 92.41 \cdot 10^3 \text{ Па.}$$

2.5 Мно говар иантн ые задач и

Задача 1. При определении поверхностного натяжения методом капиллярного поднятия жидкости получены данные (таблица 2.6). Рассчитать величины, отмеченные в таблице знаком «?». Для вариантов 1-4 рассчитать отношение поверхностных натяжений жидкостей σ_1/σ_2 .

Таблица 2.6 - Данные для определения поверхностного натяжения методом капиллярного поднятия жидкости

Вари	Жидкость	Ради ус капилл угол смач иван	Высота поднятия жидкости	Плотность жидкости	Пове рхно стно
------	----------	--	-----------------------------	-----------------------	----------------------

				$h_1 \cdot 10^3$, м	$h_2 \cdot 10^3$, м	$\rho_1 \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	$\rho_2 \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1-оливковое масло 2-глицерин	0.4	0	26.8	18.8	1.26	0.94	?
2	1-этиленглик. 2-подсолнечн. Масло	5.8	0	36.8	20.8	1.113	0.92	?
3	1-этиленглик. 2-бензол	1.2	0	20.8	15.3	1.113	0.879	?
4	1-ртуть 2-глицерин	0.6	0	-12.0	+17.8	13.6	1.26	?
5	глицерин	0.4	30	27.0	-	1.26	-	?
6	ртуть	0.16	130	-12.0	-	13.6	-	?
7	вода	1.25	60	24.0	-	1.0	-	?
8	этанол	0.28	45	28.2	-	0.789	-	?
9	нитробензол	0.51	30	16.8	-	1.203	-	?
10	анилин	0.51	45	24.0	-	1.022	-	?
11	бутанол	0.33	30	21.7	-	0.804	-	?
12	изопропанол	0.37	40	19.2	-	0.785	-	?
13	уксусная кислота	0.41	45	18.6	-	1.049	-	?
14	виноград. сок	?	50	18.0	-	1.10	-	48.0
15	виноград. сок	?	100	24.0	-	1.10	-	48.0
16	этиленгликоль	5.8	0	?	-	1.113	-	46.10
17	бензол	1.2	0	?	-	0.879	-	28.88
18	вода	0.80	60	?	-	1.0	-	72.75
19	анилин	1.20	45	?	-	1.022	-	43.30
20	ацетон	0.32	40	?	-	0.791	-	23.70
21	бутанол	0.41	30	?	-	0.804	-	24.60
22	толуол	1.14	30	?	-	0.867	-	28.92
23	гексан	2.50	20	?	-	0.660	-	18.46
24	гептан	0.66	50	?	-	0.683	-	20.86
25	глицерин	?	20	27.4	-	0.94	-	59.40
26	о-ксилол	?	30	16.0	-	0.880	-	30.03
27	м-ксилол	?	28	18.5	-	0.864	-	28.63
28	п-ксилол	?	25	10.5	-	0.861	-	28.31
29	метанол	?	20	12.0	-	0.791	-	22.60
30	нитробензол	?	30	11.3	-	1.203	-	43.90

Задача 2. При определении поверхностного натяжения методом максимального давления воздушных пузырьков получены следующие данные (таблица 2.7). Рассчитать величину поверхностного натяжения $\sigma(x)$ исследуемых жидкостей. Поверхностное натяжение воды $\sigma(H_2O) = 72.75 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

Таблица 2.7 – Данные для расчета поверхностного натяжения методом максимального давления проскока пузырька

Вариант	Исследуемая жидкость	Давление проскока пузырька, Па		Поверхностное натяжение $\sigma \cdot 10^3$, Н/м
		$P(H_2O)$, Па	$P(x)$, Па	
1	2	3	4	5
1	анилин	270	160.0	?
2	ацетон	135	44.0	?
3	бутанол	136	46.0	?
4	бензол	118	46.85	?
5	гексан	200	50.75	?
6	гептан	250	71.70	?
7	глицерин	260	212.3	?
8	диэтиловый эфир	182	42.5	?
9	этиленгликоль	160	101.4	?
10	о-ксилол	118	66.0	?
11	уксусная кислота	200	76.4	?
12	пропионовая кислота	205	75.2	?
13	метанол	188	58.4	?
14	нитробензол	162	100.0	?
15	хлороформ	185	69.0	?

Задача 3. При определении поверхностного натяжения сталагмо-метрическим методом получены данные (таблица 2.8). Рассчитать величину поверхностного натяжения $\sigma(x)$ исследуемых жидкостей. Поверхностное натяжение воды $\sigma^{293}(H_2O) = 72.75 \cdot 10^{-3}$ Н/м; плотность $\rho^{293}(H_2O) = 1,1 \cdot 10^3$ кг/м³.

Таблица 2.8 - Данные для определения поверхностного натяжения сталагмометрическим методом

Вариант	Исследуемая жидкость	Среднее число капель		Плотность жидкости $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	Поверхн. натяжение $\sigma \cdot 10^3$, Н/м
		жидкость $n(x)$	вода $n(H_2O)$		
1	2	3	4	5	6

1	виноградный сок	78.5	54.7	1.121	?
2	молоко	103.7	54.7	1.231	?
3	подсолнечное масло	115.4	54.7	0.7878	?
4	томатный сок	82.8	54.7	1.018	?
5	глицерин	125.6	54.7	0.926	?
6	этиленгликоль	96.6	55.0	1.113	?
7	этанол	143.4	55.0	0.7895	?
8	бутанол	131.5	55.0	0.8086	?
9	анилин	94.4	55.0	1.0218	?
10	гексан	162.2	62.4	0.6595	?
11	гептан	148.8	62.4	0.6836	?
12	нитробензол	124.4	62.4	1.2033	?
13	бензол	138.2	62.4	0.8790	?
14	о-ксилол	133.1	62.4	0.8802	?
15	уксусная кислота	171.3	62.4	1.0491	?

Задача 4. Рассчитать равновесное давление паров над каплями исследуемой жидкости при $T = 293$ К на основании данных таблицы 2.9. Капли жидкости считать сферическими.

Таблица 2.9 - Данные для расчета давления пара над искривленной поверхностью

Вариант	Исследуемая жидкость	Дисперсность капли $D \cdot 10^6, \mu\text{м}$	Давление насыщ. пара над плоской поверхностью $P_s \cdot 10^{-3}, \text{Па}$	Поверхн. натяжение $\sigma \cdot 10^3, \text{н/м}$	Плотность жидкости $\rho \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$
1	2	3	4	5	6
1	вода (H_2O)	15.0	21.40	72.75	1.000
2	гексан (C_6H_{14})	8.6	100.5	18.46	0.660
3	ацетон ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$)	9.05	130.5	23.70	0.791
4	анилин ($\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$)	13.5	77.5	43.30	1.022
5	гептан (C_7H_{16})	27.8	128.4	20.86	0.684
6	глицерин ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$)	22.0	44.5	59.40	1.260
7	уксусная кислота ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$)	10.5	98.4	27.80	1.049
8	метанол (CH_4O)	35.0	135.5	22.60	0.792
9	толуол (C_7H_8)	10.1	94.1	28.53	0.867
10	этанол ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$)	38.0	140.5	22.03	0.799
11	этилацетат ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$)	40.0	128.0	23.75	0.901
12	хлорбензол ($\text{C}_6\text{H}_5\text{Cl}$)	20.5	80.4	33.50	1.106
13	фенол ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$)	43.0	67.3	40.90	1.058
14	Серовуглерод (CS_2)	45.0	84.7	32.25	1.263

15	о-ксилол (C ₈ H ₁₀)	33.0	76.5	30.03	0.880
16	уксусный ангидрид (C ₄ H ₆ O ₃)	16.8	96.1	32.65	1.081
17	Нитробензол (C ₆ H ₅ NO ₂)	83.0	60.5	43.90	1.203
18	бутанол (C ₄ H ₁₀ O)	8.6	130.5	24.60	0.809
19	бензол (C ₆ H ₆)	20.8	93.5	28.88	0.879
20	октан (C ₈ H ₁₈)	34.2	127.3	21.76	0.702
21	пентан (C ₅ H ₁₂)	23.0	110.8	16.00	0.626
22	Тетрахлорметан (CCl ₄)	22.0	75.0	25.68	1.594
23	Циклогексан (C ₆ H ₁₂)	21.2	125.0	24.95	0.779
24	пропионовая кислота (C ₃ H ₆ O ₂)	14.4	101.3	26.70	0.992
25	Изопропанол (C ₃ H ₈ O)	40.8	93.0	21.20	0.785
26	Хлорбензол (C ₅ H ₅ Cl)	26.8	80.4	33.50	1.106
27	Этиленгликоль (C ₂ H ₆ O ₂)	35.0	75.0	46.10	1.113
28	вода (H ₂ O)	32.0	21.40	72.75	1.000
29	ацетон (C ₃ H ₆ O)	20.0	130.5	23.70	0.791
30	уксусная кислота (C ₂ H ₄ O ₂)	25.0	98.4	27.80	1.049

Задача 5: На основании данных таблицы 2.10:

- построить графическую зависимость поверхностного натяжения жидкости от температуры $\sigma = f(T)$;
- определить температурный коэффициент поверхностного натяжения β ;
- рассчитать энтропию единицы поверхностного слоя;
- рассчитать удельную внутреннюю энергию поверхностного слоя;
- графическим путем определить критическую температуру жидкости $T_{кр}$.

Таблица 2.10 - Данные температурной зависимости поверхностного натяжения

Вариант	Исследуемая жидкость	Поверхностное натяжение $\sigma \cdot 10^3$, Н/м при температуре T, К						
		273	283	293	303	313	323	333
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	вода	75.62	74.22	72.75	71.15	69.55	67.91	66.17
2	анилин	45.42	44.38	43.30	42.24	41.20	40.10	39.40
3	ацетон	26.21	25.00	23.70	22.01	21.16	19.90	13.61
4	бутанол	26.20	25.40	24.60	23.80	23.00	22.10	21.40
5	бензол	-	30.24	28.88	27.49	26.14	24.88	23.66
6	гексан	20.36	19.51	18.46	17.40	16.31	15.26	14.23
7	гептан	-	-	20.86	19.54	18.47	17.42	16.39
8	глицерин	-	-	59.40	59.00	58.50	58.00	57.40
9	диэтиловый эфир	19.40	18.20	17.00	15.80	14.60	13.50	12.40
10	о-ксилол	32.28	31.16	30.03	28.93	27.84	26.76	25.70

11	м-ксилол	30.92	29.78	28.63	27.54	25.44	25.36	24.26
12	п-ксилол	-	-	28.31	27.22	26.13	25.06	24.02
13	метанол	24.50	23.50	22.60	21.80	20.90	20.10	19.30
14	нитробензол	46.40	45.20	43.90	42.70	41.50	40.20	39.00
15	нитрометан	38.10	37.54	36.98	35.51	-	-	-
16	октан	23.70	22.73	21.76	20.79	19.78	18.79	17.82
17	пентан	18.20	17.10	16.00	14.96	13.80	-	-
18	сероуглерод	35.45	33.90	32.25	30.85	27.80	-	-
19	тетрахлорметан	29.38	28.05	25.68	25.54	24.41	23.22	22.38
20	толуол	30.92	29.70	28.53	27.32	26.15	25.04	23.94
21	уксусная кислота	-	28.80	27.80	26.80	25.80	24.80	23.80
22	уксусный ангидрид	-	33.37	32.65	31.22	30.05	29.00	28.08
23	хлорбензол	36.00	34.80	33.50	32.30	31.10	29.90	28.70
24	циклогексан	-	26.15	24.95	24.35	23.75	22.45	21.35
25	этанол	24.05	23.14	22.03	21.48	20.20	19.80	18.43

Продолжение таблицы 2.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9
26	этилацетат	26.56	24.36	23.75	22.25	20.20	-	-
27	амиловый спирт	22.70	21.73	20.76	19.79	18.78	17.79	16.82
28	изоамиловый спирт	21.50	20.53	19.56	18.59	17.58	16.59	14.62
29	бутилацетат	41.40	40.20	38.90	37.70	36.50	35.20	34.00
30	этилацетат	39.20	38.00	37.70	36.50	34.20	33.05	31.80

2.6 Контрольные вопросы

1. Какова причина возникновения избыточной поверхностной энергии?
2. Что называется поверхностным натяжением? От чего зависит величина σ ? В каких единицах она измеряется?
3. Найдите общую поверхность 1 кг сферических частиц угля, если средний диаметр частиц $7 \cdot 10^{-2}$ мм, а плотность угля – $1,8 \cdot 10^3$ кг/м³.
4. Удельная поверхность силикагеля равна $8,3 \cdot 10^3$ м²/кг. Рассчитайте средний диаметр частиц силикагеля, если его плотность равна 2,2 г/см³.

5. Поверхностное натяжение на границе ртуть–воздух равно $72,75 \cdot 10^{-3}$ Дж/м². Чему равна избыточная поверхностная энергия капли ртути диаметром 1,2 мм?

6. Методы определения поверхностного натяжения.

7. Вычислить поверхностное натяжение виноградного сока сталагмометрическим методом, если среднее число капель вино-градного сока равно 78.5, а среднее число капель воды равно 54.7. Поверхностное натяжение воды при температуре определения (20°C) $\sigma_0 = 72.75 \cdot 10^{-3}$ Н/м; относительная плотность раствора сока $\frac{\rho}{\rho_0} = 1.121$.

5. Рассчитать поверхностное натяжение раствора глицерина сталагмометрическим методом, если среднее число капель раствора равно 125.6, а среднее число капель воды равно 54.7. Поверхностное натяжение воды при температуре определения 20°C $\sigma_0 = 72.75 \cdot 10^{-3}$ Н/м; относительная плотность раствора глицерина $\frac{\rho}{\rho_0} = 0.9256$.

6. Во сколько раз поверхностное натяжение глицерина выше поверхностного натяжения оливкового масла, если в капилляре с радиусом, $r = 0.4 \cdot 10^{-3}$ м столбик первого поднялся на $h_1 = 26.8 \cdot 10^{-3}$ м, а второго на $h_2 = 18.8 \cdot 10^{-3}$ м? Плотность глицерина $\rho_{\text{г}} = 1.26 \cdot 10^3$ кг/м³; оливкового масла $\rho_{\text{м}} = 0.94 \cdot 10^3$ кг/м³.

7. Поверхностное натяжение виноградного сока $\sigma = 48.0 \cdot 10^{-3}$ Дж/м². Краевой угол смачивания нержавеющей стали $\theta_1 = 50^{\circ}$, а полиэтилена $\theta_2 = 100^{\circ}$. Во сколько раз равновесная работа адгезии сока к нержавеющей стали больше, чем к полиэтилену?

8. Во сколько раз поверхностное натяжение ртути превышает поверхностное натяжение глицерина, если в капилляре с радиусом $r = 0.6 \cdot 10^{-3}$ м столбик ртути опустился на $h_1 = 12 \cdot 10^{-3}$ м ниже, а глицерина поднялся на $h_2 =$

$17.8 \cdot 10^{-3}$ м выше уровня жидкости в сосуде? Плотность ртути $\rho_p = 13.6 \cdot 10^3$ кг/м³; глицерина $\rho_r = 1.26 \cdot 10^3$ кг/м³.

3 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 3. МИЦЕЛЛЯРНАЯ ТЕОРИЯ СТРОЕНИЯ КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ

При изучении данного раздела бакалавр приобретает следующие компетенции: ОК-7, ОПК-1, ОПК-3. Он стремится к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства, овладевает способностью приобретать новые знания в области естественных наук; готовностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы теоретического и экспериментального исследования; использовать знания о современной физической картине мира, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы; использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире; планировать и проводить эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения.

К электрокинетическим явлениям в дисперсных системах относятся:

1. Электрофорез—движение частиц дисперсной фазы относительно дисперсионной среды под действием постоянного электрического тока.
2. Электроосмос—движение дисперсионной среды относительно неподвижной дисперсной фазы под действием постоянного электрического тока.
3. Потенциал седиментации – возникновение разности потенциалов при оседании частиц дисперсной фазы.
4. Потенциал протекания – возникновение разности потенциалов при протекании (продавливании) коллоидного раствора через пористую перегородку.

Электрокинетические явления в дисперсных системах связаны с наличием на поверхности коллоидных частиц двойного электрического слоя (ДЭС), состоящего из заряженной поверхности коллоидной частицы с

потенциалом φ_0 и противоположно заряженной части слоя, в которой находятся противоионы.

Заряд поверхности коллоидной частицы φ_0 определяется зарядом ионов, избирательно адсорбирующихся на ней из дисперсионной среды и непосредственно примыкающих к поверхности коллоидной частицы. Эти ионы составляют первый слой плотного адсорбционного слоя (слоя Гельмгольца) ДЭС. Противоионы ДЭС пространственно распределяются между двумя слоями ДЭС. Одна часть противоионов входит в состав плотного адсорбционного слоя и удерживается в нем за счет электростатического взаимодействия с ионами, определяющими заряд поверхности частицы, на расстоянии нескольких ионных радиусов от поверхности частицы. Другая часть противоионов под действием теплового движения распространяется в глубь жидкой фазы, образуя так называемый диффузионный слой (слой Гуи) (рисунок 5.1):

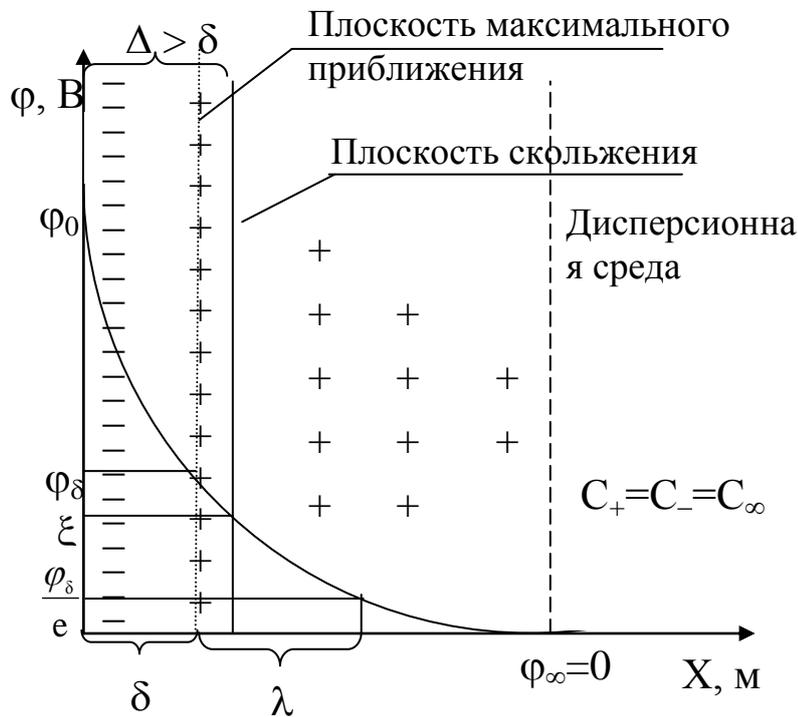


Рисунок 5.1 – Двойной электрический слой и изменение в нем потенциала с расстоянием X от поверхности частицы.

Толщина плотного слоя Гельмгольца принимается равной нескольким ионным радиусам противоионов. Эту часть ДЭС можно рассматривать как плоский конденсатор, потенциал которого с увеличением расстояния от поверхности частицы снижается линейно от φ_0 до φ_δ , представляющего собой потенциал так называемой плоскости максимального приближения, т.е. воображаемой поверхности, проведенной через центры первого слоя противоионов. Потенциал плоскости максимального приближения представляет собой потенциал на границе плотного слоя и диффузионного размытого слоя φ_δ .

Согласно теории Гуи-Чепмена для слабозаряженной поверхности изменение потенциала в диффузионной части ДЭС является функцией распределения заряженных ионов, т.е. $\varphi_\delta = f(C_+, C_-)$.

Число противоионов в двойном электрическом слое уменьшается по мере удаления от границы диффузионного слоя по экспоненциальному закону Больцмана, т.е.:

$$C_+ = C_\infty \cdot e^{-\frac{F \cdot z \cdot \varphi_x}{RT}}; \quad C_- = C_\infty \cdot e^{\frac{F \cdot z \cdot \varphi_x}{RT}}, \quad (5.1)$$

где: C_∞ – концентрация электролита в растворе при $\varphi_\infty = 0$, моль/дм³;

F – константа Фарадея;

z – заряд катиона и аниона;

φ_x – потенциал на расстоянии x от границы диффузионного слоя, β .

Соответственно потенциал в диффузионной части слоя снижается с расстоянием также по экспоненциальной зависимости:

$$\varphi_x = \varphi_\delta \cdot e^{-\alpha \cdot x}, \quad (5.2)$$

где: φ_δ – потенциал на границе диффузионного слоя, β ;

φ_x – потенциал на расстоянии x от границы диффузионного слоя, β ;

$\alpha = 1/\lambda$ – величина, обратная толщине диффузионного слоя λ , м⁻¹.

Из уравнения (5.2) следует, что за толщину диффузионного слоя принимается расстояние λ , на котором потенциал диффузионной части слоя φ_δ уменьшается в e раз (рисунок 5.1):

$$\lambda = \frac{1}{\varkappa} = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot RT}{2 \cdot F^2 \cdot I}} = K \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot T}{\sum_i C_{oi} \cdot z_i^2}}, \quad (5.3)$$

где: ε_0 – диэлектрическая постоянная, Ф/м;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

$I = \frac{1}{2} \sum C_{oi} \cdot z_i^2$ – ионная сила раствора;

C_{oi} – концентрация иона в растворе, моль/дм³;

K – постоянная Больцмана.

Плотность поверхностного заряда σ [Кл/м²] на границе диффузионного слоя рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \frac{\varepsilon \cdot \varkappa}{4 \cdot \pi} \cdot \varphi \quad (5.4)$$

Емкость диффузионного слоя C_δ [Кл/В=Ф] представляет собой отношение заряда на границе диффузионного слоя к потенциалу, который заряжает диффузионный слой:

$$C_\delta = \frac{\varepsilon \cdot \varkappa}{4 \cdot \pi} = \frac{\varepsilon}{4 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot F^2 \cdot I}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot RT}} \quad (5.5)$$

3.1

Мице
ллярн
ая
теори
я
строе
ния
колло

В соответствии с теорией ДЭС мицеллярная теория строения коллоидных частиц различает в составе мицеллы две основные части: внутреннюю – нейтральную и внешнюю – ионогенную, в свою очередь состоящую из двух слоев: плотного адсорбционного и размытого, диффузионного, составляющих двойной электрический слой на поверхности каждой частицы гидрозоля.

Основу мицеллы составляет труднорастворимый агрегат нейтральных атомов или молекул дисперсной фазы, имеющий кристаллическую структуру (рис.5.2):

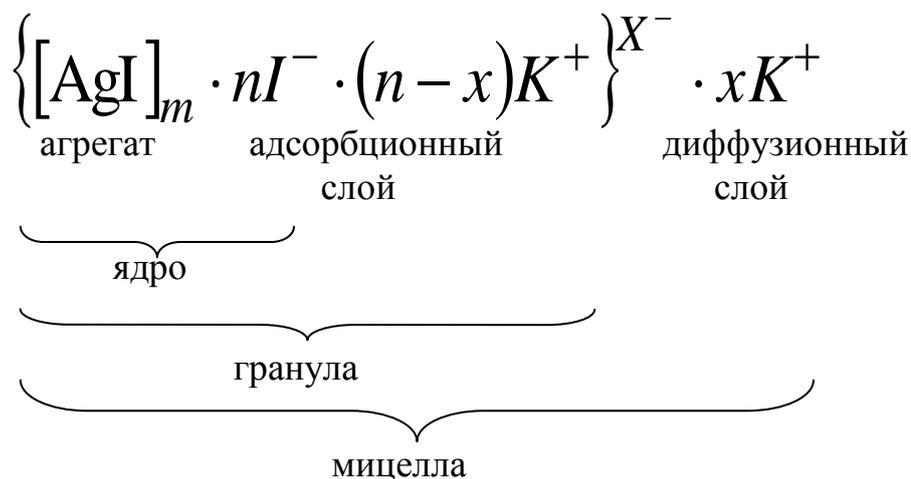


Рисунок 5.2 – Схема строения коллоидной мицеллы на примере мицеллы иодистого серебра

На поверхности нейтрального агрегата, согласно правилу Панета-Фаянса, предпочтительно адсорбируются ионы, способные достраивать его кристаллическую решетку или образующие с ионами, входящими в состав кристаллической решетки, труднорастворимые соединения. Ионы, адсорбирующиеся на поверхности агрегата, сообщают заряд ϕ_0 поверхности агрегата коллоидной частицы, поэтому они носят название потенциалообразующих или потенциалоопределяющих ионов.

Агрегат вместе с адсорбированными на его поверхности потенциалоопределяющими ионами составляют ядро мицеллы.

В непосредственной близости от ядра, на расстоянии нескольких ионных радиусов, в адсорбционном слое находится часть противоионов, заряд которых не компенсирует заряда потенциалоопределяющих ионов. Эта часть противоионов настолько прочно связана с ядром адсорбционными и электростатическими силами взаимодействия, что в электрическом поле движется вместе адсорбционным слоем. Противоионы составляют заряженную часть мицеллы с ядром. Ядро вместе с частью прочно удерживаемых противоионов носит название частицы или гранулы.

Другая часть противоионов, необходимая для полной компенсации заряда потенциалоопределяющих ионов, находится под непосредственным влиянием теплового движения молекул дисперсионной среды; располагается на периферической части мицеллы, граничащей с дисперсионной средой и составляет размытый, диффузионный слой мицеллы.

Смещение фаз в дисперсионной системе относительно друг друга, вызванное внешними силами (например, электрическим полем) происходит по поверхности скольжения, которая не всегда совпадает с плоскостью максимального приближения и проходит несколько правее нее на расстоянии Δ от поверхности агрегата мицеллы (рисунок 5.1). Потенциал на поверхности скольжения называется электрокинетическим потенциалом ξ . Он играет важную роль в агрегативной устойчивости дисперсных систем. Его можно рассчитать, измеряя скорость относительного смещения фаз при электрокинетических явлениях.

Для расчета электрокинетического потенциала по данным изучения электрокинетических явлений применяются формулы Гельмгольца-Смолуховского:

а) при электрофорезе

$$\xi = \frac{\eta}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot H} \cdot v;$$

(5.6)

б) при электроосмосе

$$\xi = \frac{\eta}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot W = \frac{\eta \cdot \varkappa}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot W \quad (5.7)$$

-с учетом поправки на поверхностную проводимость \varkappa_s , представляющей собой увеличение проводимости раствора в капилляре вследствие повышенной концентрации ионов в двойном электрическом слое:

$$\xi = \frac{\eta \cdot W(\varkappa_v + \varkappa_s)}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot I}; \quad (5.8)$$

в) при измерении потенциала протекания

$$\xi = \frac{\varkappa \cdot \eta}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0} \cdot E, \quad (5.9)$$

где: ξ – электрокинетический потенциал, В;

$U = \frac{h}{\tau}$ – скорость движения дисперсной фазы, м/с;

$W = V/\tau$ – объемная скорость движения дисперсной фазы, м³/с

H – вязкость среды, Па·с;

E – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума, Ф/м.

$H = E/l$ – напряженность электрического поля, В/м;

E – напряжение, приложенное к электродам

l – расстояние между электродами, м;

\varkappa – удельная электропроводность, ом⁻¹·м⁻¹;

I – сила тока, А;

ΔP – приложенная к системе разность гидростатических давлений, Па.

3.2

Решение
типовых
задач

Задача 1. Указать, к какому электроду должны двигаться частицы гидрозоля С, полученные: а) в случае избытка реагента А; б) в случае избытка реагента В. Ответ обосновать.

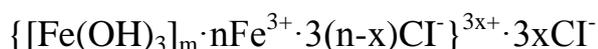
Таблица 5.1 – Условия получения гидрозоля

А	В	С
FeCl ₃	NaOH	Fe(OH) ₃

Решение: Направление движения коллоидных частиц определяется зарядом гранулы мицеллы.

Согласно правилу Панета-Фаянса, при избытке реагента FeCl₃ в дисперсионной среде, потенциалоопределяющими ионами будут ионы Fe³⁺, входящие в состав агрегата; противоионами будут ионы Cl⁻, находящиеся в избытке.

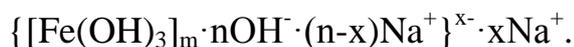
Мицелла в данном случае будет иметь следующее строение:



Поскольку в данном случае гранула заряжена положительно, при электрофорезе частицы гидрозоля будут двигаться к отрицательно заряженному электроду (катоде).

При избытке реагента NaOH в дисперсионной среде потенциалоопределяющими ионами будут ионы OH⁻, входящие в состав агрегата; противоионами будут ионы Na⁺, находящиеся в избытке.

Мицелла будет иметь следующее строение:



Поскольку гранула в данном случае заряжена отрицательно, при электрофорезе частицы гидрозоля будут двигаться к положительно заряженному электроду (аноду).

Задача 2. Рассчитать электрокинетический потенциал латекса, если смещение цветной границы золя за 60 мин составляет $2,5 \cdot 10^{-2}$ м. Напряжение, приложенное к электродам $U = 115$ В; расстояние между электродами 0,55 м; диэлектрическая проницаемость среды – 81; электрическая константа $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м; вязкость среды $\eta = 1,0 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

Решение: Электрокинетический потенциал золя латекса рассчитывается по уравнению Гельмгольца-Смолуховского

$$\xi = \frac{\eta}{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot H} \cdot v. \quad (5.6)$$

Рассчитаем скорость электрофоретического смещения:

$$v = \frac{h}{\tau} = \frac{2,5 \cdot 10^{-2}}{3600} = 0,7 \cdot 10^{-5} \text{ м/с.}$$

Рассчитаем напряженность электрического поля:

$$H = \frac{U}{l} = 115/0,55 = 209,0 \text{ В/м.}$$

Рассчитаем электрокинетический потенциал:

$$\xi = \frac{2}{3} \cdot \frac{1,0 \cdot 10^{-3} \cdot 0,7 \cdot 10^{-5}}{81 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 209} = 0,031 \text{ В.}$$

Задача 3. На основании данных таблицы 5.2 рассчитайте толщину диффузионного ионного слоя на поверхности твердой пластины, помещенной в водный раствор индифферентного электролита различной концентрации. Относительную диэлектрическую проницаемость раствора при 293 К считать равной 80,1.

Постройте графические зависимости:

а) толщины диффузионного слоя от концентрации электролита;

б) величины отношения $\frac{\varphi}{\varphi_\delta}$ от расстояния, которое изменяется от λ до 6λ в растворе с максимальной концентрацией электролита.

Таблица 5.2 – Данные для расчета характеристик диффузионного слоя

Электролит	Концентрация электролита, моль/м ³					
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
KCl	0,035	0,35	3,5	35,0	70	120

Решение: Толщина диффузионного слоя рассчитывается по уравнению:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot RT}{2 \cdot F^2 \cdot I}}, \quad (5.3)$$

где: ε_0 – диэлектрическая постоянная, Ф/м;

F – константа Фарадея;

I – ионная сила раствора.

Рассчитаем ионную силу растворов заданных концентраций по формуле:

$$I_i = \frac{1}{2} \cdot \sum C_i \cdot z_i^2, \quad (5.10)$$

где: C_i – концентрация раствора, моль/м³;

z_i – заряд катионов и анионов при диссоциации электролита KCl.

$$I_1 = \frac{1}{2} \cdot (0,035 \cdot 1^2 + 0,035 \cdot 1^2) = 0,035$$

$$I_2 = \frac{1}{2} \cdot (0,35 \cdot 1^2 + 0,35 \cdot 1^2) = 0,35$$

$$I_3 = \frac{1}{2} \cdot (3,5 \cdot 1^2 + 3,5 \cdot 1^2) = 3,5$$

$$I_4 = \frac{1}{2} \cdot (35 \cdot 1^2 + 35 \cdot 1^2) = 35$$

$$I_5 = \frac{1}{2} \cdot (70 \cdot 1^2 + 70 \cdot 1^2) = 70$$

$$I_6 = \frac{1}{2} \cdot (120 \cdot 1^2 + 120 \cdot 1^2) = 120$$

Рассчитаем толщину диффузионного слоя на поверхности пластины, погруженной в растворы заданных концентраций:

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{80,1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 8,314 \cdot 293}{2 \cdot 96500^2 \cdot 0,035}} = 5,15 \cdot 10^{-8} \text{ м.}$$

Аналогично рассчитываем толщину диффузионного слоя в растворах с концентрациями C₂~C₆:

$$\lambda_2 = 1,63 \cdot 10^{-8} \text{ м}; \quad \lambda_3 = 0,52 \cdot 10^{-8} \text{ м}; \quad \lambda_4 = 0,16 \cdot 10^{-8} \text{ м};$$

$$\lambda_5 = 0,11 \cdot 10^{-8} \text{ м}; \quad \lambda_6 = 0,8 \cdot 10^{-9} \text{ м.}$$

По результатам расчета построим графическую зависимость толщины диффузионного слоя от концентрации электролита, т.е. $\lambda = f(c)$ (рисунок.5.3).

Из графической зависимости следует, что с увеличением концентрации индифферентного электролита толщина диффузионного слоя снижается.

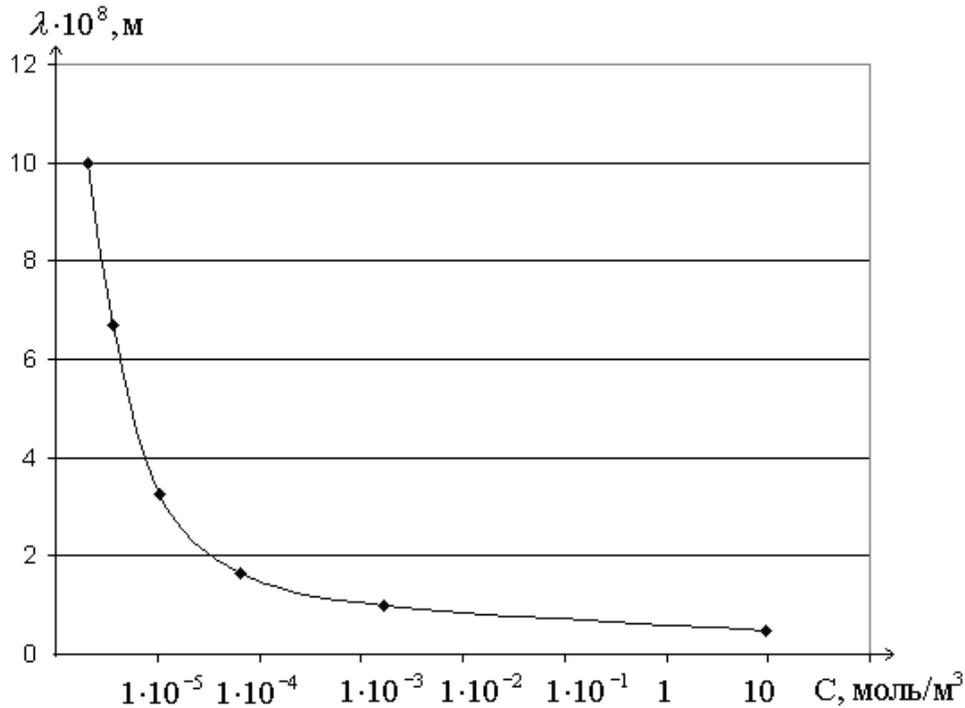


Рисунок 5.3 – Зависимость толщины диффузионного слоя от концентрации электролита

Рассчитаем величину отношения $\frac{\varphi}{\varphi_\delta}$ в растворе с максимальной концентрацией электролита $C_6 = 10,1$ моль/дм³ из уравнения (5.2):

$$\varphi = \varphi_\delta \cdot l^{-\alpha_6 \cdot x} = \varphi_\delta \cdot l^{-\frac{1}{\lambda_6} \cdot x},$$

откуда:

$$\left(\frac{\varphi}{\varphi_\delta} \right)_x = l^{-\frac{1}{\lambda} \cdot x}, \quad (5.11)$$

где: φ – потенциал на расстоянии X от границы диффузионного слоя, β ;

φ_δ – потенциал на границе диффузионного слоя, β ;

λ – толщина диффузионного слоя, м.

x – расстояние от границы диффузионного слоя, м.

Отношение $\frac{\varphi}{\varphi_{\delta}}$ в растворе с концентрацией электролита $C_6 = 120$ моль/дм³ на расстоянии от границы диффузионного слоя $X = \lambda_6$ будет равно:

$$\left(\frac{\varphi}{\varphi_{\delta}}\right)_{x=\lambda_6} = l^{-\frac{1}{\lambda_6} \cdot \lambda_6} = l^{-1} = \frac{1}{2.718} = 0.368$$

Аналогично рассчитываем $\frac{\varphi}{\varphi_{\delta}}$ при других значениях расстояний от границы диффузионного слоя: $x = 2\lambda_6 \div 6\lambda_6$.

$$\begin{aligned} \left(\frac{\varphi}{\varphi_{\delta}}\right)_{x=2\lambda_6} &= 0.135; & \left(\frac{\varphi}{\varphi_{\delta}}\right)_{x=3\lambda_6} &= 0.050; & \left(\frac{\varphi}{\varphi_{\delta}}\right)_{x=4\lambda_6} &= 0.018; \\ \left(\frac{\varphi}{\varphi_{\delta}}\right)_{x=5\lambda_6} &= 0.0067; & \left(\frac{\varphi}{\varphi_{\delta}}\right)_{x=6\lambda_6} &= 0.0025. \end{aligned}$$

По результатам расчета построим графическую зависимость $\left(\frac{\varphi}{\varphi_{\delta}}\right)_{C_6} = f(x)$

(рисунок 5.4). Из графической зависимости следует, что по мере удаления от границы диффузионного слоя, величина потенциала φ в диффузионном слое снижается.

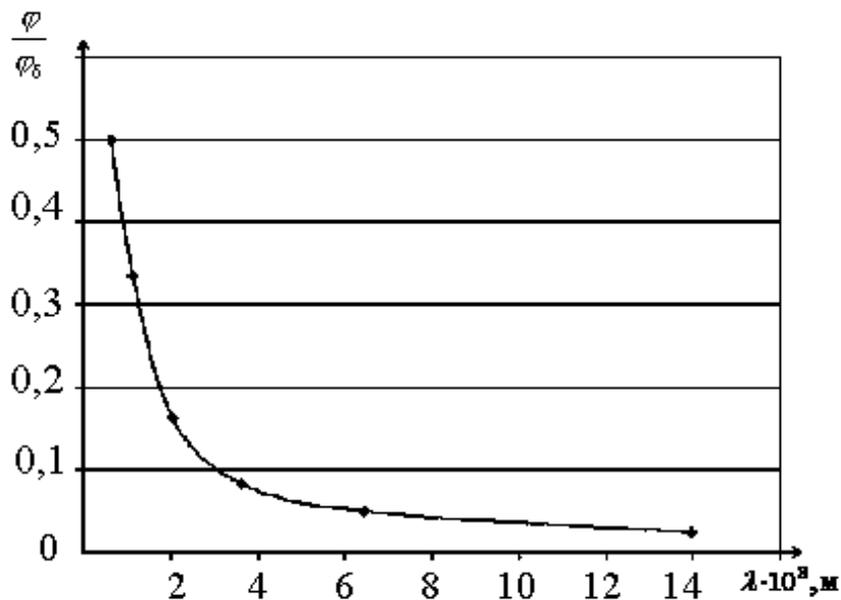


Рисунок 5.4 – Зависимость $\frac{\varphi}{\varphi_{\delta}}$ в диффузионном слое от расстояния

Задача 4. По результатам электроосмоса раствора KCl, приведенным в таблице 5.3:

1. Рассчитать электрокинетический потенциал корундовой диафрагмы: а) без учета поправки на поверхностную проводимость α_s ; б) с учетом поправки на поверхностную проводимость α_s .
2. Построить график зависимости электрокинетического потенциала от диаметра пор диафрагмы. Вязкость растворов принять равной $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с. Частицы считать шаровидными.

Таблица 5.3 – Данные для расчета электрокинетического потенциала методом электроосмоса

Диаметр пор $d \cdot 10^6$, м	Скорость электроосмоса $w \cdot 10^7$, м ³ /с	Удельная электропроводность α , ом ⁻¹ ·м ⁻¹		Сила тока I, А	Диэлектрическая проницаемость ϵ
		Поверхностная $\alpha_s \cdot 10^2$	Объемная $\alpha_v \cdot 10^2$		
3	10	1,20		3,0	80,1
15	15	0,80			
25	25	0,60			
40	35	0,40	2,5		
60	45	0,25			
90	55	0,12			

Решение: Электрокинетический потенциал рассчитывается по формуле

Гельмгольца-Смолуховского (5.7):
$$\xi = \frac{\eta \cdot \alpha}{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot I}$$

С учетом поправки на поверхностную проводимость:

$$\xi = \frac{\eta \cdot W(\alpha_v + \alpha_s)}{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot I}, \quad (5.8)$$

где: η – вязкость дисперсной среды, Па·с.

Рассчитаем электрокинетический потенциал корундовой диафрагмы ξ для различных диаметров пор без учета поправки на поверхностную проводимость:

$$d_1 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ м: } \xi = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 2,50 \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-7}}{80,1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3,0} = 0,0117 \text{ В}$$

$$d_2 = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м: } \xi = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 2,50 \cdot 10^{-2} \cdot 15 \cdot 10^{-7}}{80,1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3,0} = 0,0176 \text{ В}$$

$$d_3 = 25 \cdot 10^{-6} \text{ м: } \xi = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 2,50 \cdot 10^{-2} \cdot 25 \cdot 10^{-7}}{80,1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3,0} = 0,0292 \text{ В}$$

$$d_4 = 40 \cdot 10^{-6} \text{ м: } \xi = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 2,50 \cdot 10^{-2} \cdot 35 \cdot 10^{-7}}{80,1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3,0} = 0,0409 \text{ В}$$

$$d_5 = 60 \cdot 10^{-6} \text{ м: } \xi = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 2,50 \cdot 10^{-2} \cdot 45 \cdot 10^{-7}}{80,1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3,0} = 0,0526 \text{ В}$$

$$d_6 = 90 \cdot 10^{-6} \text{ м: } \xi = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 2,50 \cdot 10^{-2} \cdot 55 \cdot 10^{-7}}{80,1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3,0} = 0,0643 \text{ В}$$

С учетом поправки на поверхностную проводимость электрокинетический потенциал диафрагмы с диаметром пор $d_1 = 3 \cdot 10^{-6}$ м будет равным:

$$\xi_1 = \frac{1 \cdot 10^{-3} (2,50 + 1,20) \cdot 10^{-2} \cdot 10 \cdot 10^{-7}}{80,1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3,0} = 0,0174 \text{ В}$$

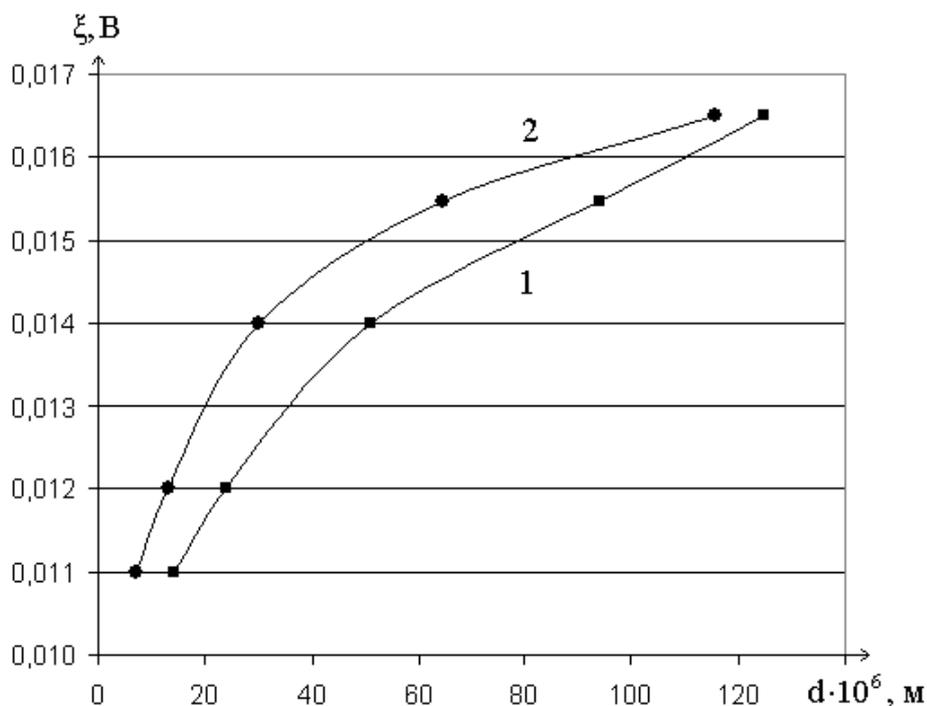
Соответственно электрокинетический потенциал корундовой диафрагмы с диаметром пор $d_2 \div d_6$ с учетом поверхностной проводимости будут равны:

$$\xi_2 = 0,0232 \text{ В; } \xi_3 = 0,0364 \text{ В; } \xi_4 = 0,0477 \text{ В;}$$

$$\xi_5 = 0,0581 \text{ В; } \xi_6 = 0,0677 \text{ В}$$

По результатам расчета построить графическую зависимость электрокинетического потенциала от диаметра пор корундовой диафрагмы, т.е. $\xi = f(d)$ (рисунок 5.5).

Из графической зависимости следует, что с увеличением диаметра пор корундовой диафрагмы электрокинетический потенциал ξ возрастает.



1- без учета поправки на поверхностную проводимость;

2- с учетом поправки

Рисунок 5.5 – Зависимость величины электрокинетического потенциала от диаметра пор

Задача 5. На основании данных таблицы 5.4 рассчитать параметры диффузионного слоя коллоидных частицы AgI в водном растворе KI:

- потенциал на расстоянии X от границы диффузионного слоя φ_x ;
- поверхностную плотность заряда на границе диффузионного слоя σ_δ ;
- емкость диффузионного слоя c_δ ;
- во сколько раз изменится значение φ_x , если расстояние от границы диффузионного слоя увеличится или уменьшится?

Таблица 5.4 – Данные для расчета характеристик диффузионного слоя

Концентрация электролита $C \cdot 10^4, \text{ моль/м}^3$	Потенциал диффузионного слоя $\varphi_\delta, \text{ В}$	Диэлектрическая проницаемость среды ϵ	Температура $T, \text{ К}$	Расстояние $x \cdot 10^9, \text{ м}$	Расстояние изменится, раз	
					увеличивается	уменьшается

2,0	0,022	80,1	293	20	5	2
-----	-------	------	-----	----	---	---

Решение: Значение потенциала на расстоянии X от границы диффузионного слоя рассчитывается по формуле :

$$\varphi_x = \varphi_\delta \cdot e^{-\varkappa \cdot x}, \quad (5.2)$$

где: φ_δ – потенциал на границе диффузионного слоя, В

$\varkappa = 1/\lambda$ – величина, обратная толщине диффузионного слоя, м^{-1} ;

X – расстояние от границы диффузионного слоя, м.

Прежде всего, для расчета потенциала φ_x необходимо рассчитать толщину диффузионного слоя по формуле (5.3):

$$\lambda = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot RT}{2F^2 \cdot I}} = \sqrt{\frac{80,1 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 8,314 \cdot 293}{2 \cdot (96500)^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-4} \cdot 1^2 + 2 \cdot 10^{-4} \cdot 1^2}}} = 9,629 \cdot 10^{-8} \text{ м},$$

откуда: $\varkappa = 1/\lambda = 1/9,629 \cdot 10^{-8} = 1,038 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$.

Следовательно, потенциал φ_x будет равен:

$$\varphi_x = \varphi_\delta \cdot e^{-\varkappa \cdot x} = 0,022 \cdot e^{-1,038 \cdot 10^7 \cdot 20 \cdot 10^{-9}} = 0,0179 \text{ В}.$$

Поверхностная плотность заряда на границе диффузионного слоя σ_δ

рассчитывается по формуле (5.4): $\sigma_\delta = \frac{\varepsilon \cdot \varkappa}{4\pi} \cdot \varphi_\delta$,

откуда: $\sigma_\delta = \frac{80,1 \cdot 1,038 \cdot 10^7}{4 \cdot 3,14} \cdot 0,022 = 1,456 \cdot 10^6 \text{ Кл/м}^2$.

Емкость диффузионного слоя C_δ рассчитаем по формуле:

$$C_\delta = \frac{\varepsilon \cdot \varkappa}{4\pi} = \frac{80,1 \cdot 1,038 \cdot 10^7}{4 \cdot 3,14} = 6,619 \cdot 10^7 \text{ Кл/В}.$$

Если расстояние от границы диффузионного слоя увеличится в 5 раз, т.е.

$X = 20 \cdot 10^{-9} \cdot 5 = 100 \cdot 10^{-9} \text{ м}$, потенциал φ_x снизится до:

$$\varphi_x = \varphi_\delta \cdot e^{-\frac{1}{\lambda} \cdot x} = 0,022 \cdot e^{-1,038 \cdot 10^7 \cdot 100 \cdot 10^{-9}} = 0,00778 \text{ В}.$$

Если расстояние от границы диффузионного слоя уменьшится в 2 раза, т.е. $X =$

$20 \cdot 10^{-9} / 2 = 10 \cdot 10^{-9} \text{ м}$, потенциал φ_x увеличится до:

$$\varphi_x = \varphi_\delta \cdot e^{-\frac{1}{\lambda} \cdot x} = 0,022 \cdot e^{-1,038 \cdot 10^7 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = 0,0198 \text{ В}.$$

3.3

Многовариантные задачи

Задача 1. Напишите формулу мицеллы и укажите знак заряда коллоидных частиц, образующихся при получении золя С: а) в случае избытка реагента А; б) в случае избытка реагента В.

Таблица 5.5 - Условия образования коллоидных частиц

Вариант	А	В	С
1	2	3	4
1	AlCl_3	NaOH	$\text{Al}(\text{OH})_3$
2	AgNO_3	HCl	AgCl
3	$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$	KI	Hg_2I_2
4	FeCl_3	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$
5	AgNO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	$\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$
6	AgNO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{S}$	Ag_2S
7	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	KI	PbI_2
8	NH_4CNS	AgNO_3	AgCNS
9	NaCl	KH_2SbO_4	NaH_2SbO_4
10	$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$	H_2S	HgS
11	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$	$\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$	$\text{Zn}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$
12	TiCl_4	NaOH	$\text{Ti}(\text{OH})_2$
13	K_2CrO_4	AgNO_3	Ag_2CrO_4
14	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$	NaOH	$\text{Bi}(\text{OH})_3$
15	Na_3AsO_4	AgNO_3	Ag_3AsO_4
16	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	H_2SO_4	PbSO_4
17	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	HCl	PbCl_2

Продолжение таблицы 5.5

1	2	3	4
18	MgCl_2	NaOH	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
19	KMnO_4	Na_2SO_3	MnO_2
20	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$	H_2S	Bi_2S_3
21	CdCl_2	H_2S	CdS
22	$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$	KI	HgI_2
23	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	H_2SO_4	BaSO_4

24	NaF	BaCl ₂	BaF ₂
25	Pb(NO ₃) ₂	(NH ₄) ₂ S	PbS
26	Na ₂ SiO ₃	HCl	H ₂ SiO ₃
27	CaCl ₂	H ₂ SO ₄	CaSO ₄
28	NaI	AgNO ₃	AgI
29	CuSO ₄	H ₂ S	CuS
30	(NH ₄) ₂ S	NiCl ₂	NiS

Задача 2. Указать, к какому электроду должны двигаться частицы гидрозоля С, полученные: а) в случае избытка реагента А;

б) в случае избытка реагента В. Ответ обосновать.

Таблица 5.6 - Условия образования коллоидных частиц

Вариант	А	В	С
1	2	3	4
1	Zn(NO ₃) ₂	K ₃ [Fe(CN) ₆]	Zn ₃ [Fe(CN) ₆] ₂
2	AgNO ₃	HCl	AgCl
3	Hg(NO ₃) ₂	KJ	HgJ ₂
4	K ₂ CrO ₄	AgNO ₃	Ag ₂ CrO ₄
5	FeCl ₃	K ₄ [Fe(CN) ₆]	Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃
6	NaF	BaCl ₂	BaF ₂
7	Na ₃ AsO ₄	AgNO ₃	Ag ₃ AsO ₄
8	AgNO ₃	(NH ₄) ₂ S	Ag ₂ S
9	Na ₂ SiO ₃	HCl	H ₂ SiO ₃
10	Pb(NO ₃) ₂	HCl	PbCl ₂
11	NH ₄ CuS	AgNO ₃	AgCuS
12	NaJ	AgNO ₃	AgJ

Продолжение таблицы 5.6

1	2	3	4
13	KMnO ₄	Na ₂ S ₂ O ₃	MnO ₂
14	Hg(NO ₃) ₂	H ₂ S	HgS
15	NaF	SrCl ₂	SrF ₂
16	CrCl ₃	NH ₄ OH	Cr(OH) ₃
17	(NH ₄) ₂ S	AgNO ₃	Ag ₂ S
18	BeCl ₂	NH ₄ OH	Be(OH) ₂

19	BaCl ₂	Na ₂ SO ₄	BaSO ₄
20	FeCl ₃	NaOH	Fe(OH) ₃
21	Cu(NO ₃) ₂	NH ₄ OH	Cu(OH) ₂
22	(NH ₄) ₂ S	Pb(CH ₃ COO) ₂	PbS
23	Hg(NO ₃) ₂	KJ	HgJ ₂
24	TiCl ₄	NaOH	TiO(OH) ₂
25	Na ₂ SiO ₃	HCl	H ₂ SiO ₃
26	K ₂ CrO ₄	AgNO ₃	Ag ₂ CrO ₄
27	CuSO ₄	H ₂ S	CuS
28	CdCl ₂	(NH ₄) ₂ S	CdS
29	Bi(NO ₃) ₃	NaOH	Bi(OH) ₃
30	Na ₃ AsO ₄	AgNO ₃	Ag ₃ AsO ₄

Задача 3. На основании данных таблицы 5.7 рассчитайте толщину диффузионного ионного слоя на поверхности твердой пластины, помещенной в водный раствор индифферентного электролита различной концентрации. Относительную диэлектрическую проницаемость растворов при 293К считать равной 80,1.

Постройте графические зависимости:

- а) толщины диффузионного слоя от концентрации электролита;
 б) величины отношения φ/φ_0 от расстояния, которое изменяется от λ до 6λ , в растворе с максимальной концентрацией электролита.

Таблица 5.7 – Данные для расчета параметров диффузионного слоя

Вариант	Электролит	Концентрация электролита, моль/м ³					
		C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
1	2	3	4	5	6	7	8
1	NaCl	0.02	0.2	2.0	20.0	40.0	80.0

Продолжение таблицы 5.7

1	2	3	4	5	6	7	8
2	KCl	0.01	0.1	1.0	10.0	50.0	100.0
3	NaCl	0.05	0.5	5.0	50.0	75.0	95.0
4	KCl	0.015	0.15	1.5	15.0	65.0	100.0
5	NaCl	0.025	0.2530	2.5	25.0	75.0	110.0
6	KCl	0.03	0.25	3.0	30.0	60.0	120.0
7	NaCl	0.08	0.80	8.0	80.0	100.0	140.0
8	KCl	0.035	0.35	3.5	35.0	70.0	120.0

9	NaCl	0.045	0.45	4.5	45.0	80.0	160.0
10	KCl	0.055	0.55	5.5	55.0	110.0	160.0
11	NaCl	0.085	0.85	8.5	85.0	120.0	170.0
12	KCl	0.023	0.23	2.3	23.0	46.0	92.0
13	NaCl	0.06	0.60	6.0	60.0	100.0	120.0
14	KCl	0.065	0.65	6.5	66.0	120.0	160.0
15	NaCl	0.070	0.70	7.0	70.0	100.0	140.0
16	KCl	0.075	0.75	7.5	75.0	140.0	180.0
17	NaCl	0.018	0.18	1.8	18.0	48.0	96.0
18	KCl	0.033	0.33	3.3	33.0	66.0	99.0
19	NaCl	0.090	0.90	9.0	90.0	130.0	160.0
20	KCl	0.047	0.47	4.7	47.0	94.0	140
21	KCl	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	0
22	KNO ₃	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	1.0	10.0	1.0
23	NaNO ₃	0.01	0.10	1.0	10.0	20.0	100.0
24	NaCl	0.05	0.5	5.0	50.0	100.0	40.0
25	Ba(NO ₃) ₂	0.05	0.5	5.0	50.0	100.0	150.0
26	NaCl	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	1.0	150.0
27	CaCl ₂	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	1.0	10.0
28	MgSO ₄	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	1.0	10.0
29	AlCl ₃	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	1.0	10.0
30	K ₂ SO ₄	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-1}$	1.0	10.0

Задача 4. На основании данных таблицы 5.8 рассчитать параметры диффузионного слоя коллоидной частицы AgCl в водном растворе NaCl:

- а) потенциал φ_x на расстоянии X от границы диффузионного слоя ;
- б) поверхностную плотность заряда на границе диффузионного слоя σ_δ ;
- в) емкость диффузионного слоя C_δ ;
- г) во сколько раз изменится значение φ_x , если расстояние от границы диффузионного слоя увеличивается или уменьшается?

Таблица 5.8 – Данные для расчета электрических параметров диффузионного слоя

Вариант	Концентрация электролита $C \cdot 10^3$	Диэлектрическая постоянная	Температура T, K	Расстояние $X \cdot 10^9$, м	Расстояние изменится, раз
---------	---	----------------------------	--------------------	-------------------------------	---------------------------

						увеличится	уменьшится
1	5	0.020	80.1	293	15	3	2
2	2	0.015	77.8	300	12	4	3
3	1	0.025	87.8	273	20	3.5	4
4	3	0.018	78.2	298	18	2	3
5	2,5	0.030	80.1	293	10	5	2
6	3,5	0.035	78.2	298	24	4	6
7	2,5	0.022	87.2	273	22	3	2
8	3,5	0.10	77.8	300	27	3	9
9	1,25	0.040	80.1	293	23	2.5	5
10	1,5	0.042	78.2	298	16	3	2
11	0,75	0.045	87.2	273	30	2	5
12	4,5	0.028	77.8	300	13	3	4
13	2,75	0.012	80.1	293	28	2	5
14	3,8	0.050	80.1	293	5	4	1.5
15	5,5	0.055	78.2	298	8	3	2
16	1.75	0.038	77.8	300	9	2	3
17	0.5	0.06	87.8	273	32	2	4
18	0.9	0.065	80.1	293	21	1.5	7
19	4.74	0.016	77.8	300	40	2.3	5
20	6.0	0.012	80.1	293	38	1.5	4
1	2	3	4	5	6	7	8
21	1.0	0.022	78.5	298	6.4	2	2
22	10.0	0.022	78.5	298	6.4	2	2
23	25	0.027	76.5	293	10	3	3
24	15	0.027	76.5	293	10	4	3
25	1.0	0.020	87.8	293	15	3	2
26	1.0	0.020	69.7	293	15	3	2
27	1.4	0.020	80.1	298	10	3	3
28	1.2	0.022	80.1	298	8	2	2
29	2.0	0.050	80.1	293	7	5	5
30	2.5	0.030	76.5	298	6.5	3	3

Задача 5. По результатам электрофореза рассчитать величины, отмеченные знаком «?» Частицы считать шаровидными. Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м.

Таблица 5.9 – Данные для расчета электрокинетического потенциала

Вариант	Дисперсная фаза	Смещение дисперсной фазы			Характеристики электр. поля			Диэлектрическая проницаемость среды ϵ	Вязкость среды $\eta \cdot 10^3$, Па·с	Электрокинетический потенциал $\xi \cdot 10^3$, В
		Смещение $h, \mu\text{м}$	Время смещения $\tau, \text{с}$	Скорость смещения $v=h/\tau$	Напряжение $U, \text{В}$	Расстояние между электродами $L, \text{м}$	Напряженность $H=U/L$, В/м.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	SiO ₂	-	-	$2.5 \cdot 10^{-4}$	220	0.2	-	81.0	1.0	?
2	Fe(OH) ₃	0.02	1800	-	160	0.5	-	75.0	0.4	?
3	Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃	0.01	2400	-	150	0.2	-	72.0	1.05	?
4	Сахароза	-	-	$1.3 \cdot 10^{-6}$	-	-	400	69.4	1.50	?
5	Cu ₂ [Fe(CN) ₆]	0.08	3000	-	120	0.4	-	49.0	0.90	?
6	As ₂ S ₃	-	-	?	149	0.4	-	80.1	1.0	42.3
7	Бентонит	$6 \cdot 10^{-3}$	900	-	100	0.25	-	78.2	0.89	?
8	SiO ₂	?	1800	-	110	0.25	-	80.1	1.0	34.7
9	SiO ₂	-	-	$2.2 \cdot 10^{-6}$	-	-	100	82.0	1.14	?
10	MnO ₂	-	-	$0.4 \cdot 10^{-6}$	-	-	150	80.1	1.14	?
11	Fe(OH) ₃	$12 \cdot 10^{-3}$	1800	-	170	0.45	-	78.2	0.89	?
12	Керамзит	-	-	$1.2 \cdot 10^{-4}$	-	-	?	80.1	1.06	34.7
13	AgCl	$15 \cdot 10^{-2}$	2400	-	?	0.20	-	79.6	1.02	18.6
14	S	$12 \cdot 10^{-3}$	3600	-	?	0.25	-	80.0	0.89	24.5
15	MnO ₂	$1 \cdot 10^{-4}$	1800	-	?	0.40	-	81.0	1.0	36.0

Задача 6. По результатам электроосмоса раствора KCl (таблица 5.10) рассчитайте электрокинетический потенциал корундовой диафрагмы:

- без учета поправки на поверхностную проводимость α_s ;
- с учетом поправки на поверхностную проводимость α_s .
- построить график зависимости электрокинетического потенциала от диаметра пор диафрагмы.

Вязкость растворов принять равной $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с. Частицы считать шаровидными.

Таблица 5.10 – Данные для расчета электрокинетического потенциала

Вариант	Диаметр пор $d \cdot 10^6, \text{ м}$	Скорость электроосмоса $W \cdot 10^7, \text{ м}^3/\text{с}$	Удельная электропроводность $\kappa \cdot 10^2, \text{ ом}^{-1}, \text{ м}^{-1}$		Сила тока $I, \text{ А}$	Диэлектр проницаемость ϵ
			Поверхностная κ_s	Объемная κ_v		
1	2	3	4	5	6	7
1	4	1.4	3.3	1.8	2.6	81.0
	10	2.7	1.3			
	16	3.4	0.8			
	45	4.3	0.4			
	75	5.0	0.11			
2	3	2.0	2.4	2.5	2.0	76.5
	15	3.0	1.23			
	25	3.8	0.8			
	40	4.8	0.63			
	60	5.6	0.12			
	100	7.0	0.075			
3	5	5.0	1.2	1.6	2,4	80.1
	10	6.2	0.8			
	18	7.0	0.6			
	35	8.1	0.4			
	50	8.8	0.24			
	70	10.0	0.05			
4	7	10	1.8	1.4	1.9	78.5
	14	12	1.7			
	19	18	0.9			
	29	22	0.6			
	68	28	0.2			
	100	32	0.04			
5	10	3.0	1.04	1.8	1.5	81.0
	12	3.4	0.76			
	16	3.8	0.56			
	35	5.2	0.09			
	50	6.0	0.05			
	110	7.0	0.03			

Продолжение таблицы 5.10

1	2	3	4	5	6	7
6	2	8.0	1.8	2.5	1.7	76.5
	5	9.0	1.3			
	10	10.0	1.0			
	35	11.5	0.4			

	50 80	15.0 17.0	0.2 0.03			
7	5 10 15 30 60 100	4.5 4.8 6.0 8.2 10.2 12.0	1.8 1.7 1.2 0.7 0.25 0.02	1.8	2.0	81.0
8	1.5 4.5 10.0 25.0 50.0 90.0	9.0 10.5 12.0 12.7 14.0 15.0	0.53 0.29 0.27 0.20 0.13 0.04	1.4	1.8	78.5
9	2 6 12 30 45 85	7.8 8.3 9.0 10.2 11.0 12.5	0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.05	1.6	2.2	80.1
10	3.5 6.0 12.0 28.0 45.0 100.0	1.2 2.4 3.0 3.9 4.3 5.0	4.80 1.47 0.97 0.36 0.28 0.04	2.5	3.0	76.5
11	2.5 8.5 25.0 45.0 70.0 120.0	1.2 1.6 2.1 2.9 3.6 3.8	2.46 1.57 1.04 0.42 0.20 0.05	1.4	2.0	78.5
12	1.5 5.0 10.0 25.0 50.0 100.0	2.7 3.0 3.5 4.0 4.4 5.0	1.12 1.01 0.61 0.40 0.26 0.07	1.8	2.5	81.0
13	4 8 12 30 60 120	2.5 3.4 3.8 4.3 5.0 5.4	0.56 0.30 0.15 0.13 0.05 0.01	1.6	3.2	80.1

Продолжение таблицы 5.10

1	2	3	4	5	6	7
	5 19 30 40	1.4 2.0 2.3 2.5	1.28 0.72 0.50 0.40	1.8	2.0	81.0

	60 100	2.9 3.2	0.20 0.09			
15	4.5 9.0 18.0 35.0 65.0 120.0	1.85 2.00 2.25 2.60 2.90 3.40	0.71 0.58 0.40 0.30 0.25 0.07	1.4	3.2	78.5
16	3 9 20 40 80 100	1.4 1.8 2.2 2.6 3.2 3.5	1.8 1.1 0.8 0.5 0.12 0.01	1.6	3.4	80.1
17	2 6 18 40 60 130	3.00 3.25 3.62 4.11 4.40 4.74	0.91 0.73 0.46 0.30 0.20 0.05	2.5	3.3	76.5
18	6 10 20 50 80 120 150	2.15 2.4 2.7 3.2 3.57 4.0 4.3	1.22 0.74 0.63 0.50 0.36 0.14 0.02	1.8	2.0	81.0
19	3.5 10.0 15.0 45.0 70.0 100.0	4.5 4.9 5.1 5.7 6.0 6.4	0.35 0.30 0.29 0.148 0.08 0.01	1.6	2.2	80.1
20	4 8 16 46 90 130	4.3 4.5 4.8 5.8 6.6 6.9	0.55 0.52 0.49 0.25 0.10 0.06	1.4	3.1	78.5
21	5 10 18 35 50 70	2.0 3.0 3.8 4.8 5.6 7.0	1.2 0.8 0.6 0.4 0.24 0.05	1.2	2.0	80.1

Продолжение таблицы 5.10

1	2	3	4	5	6	7
	5	3.0	1.04			
	10	3.4	0.76			
	18	3.8	0.56			

22	35	5.2	0.09	6.2	2.0	80.1
	50	6.0	0.05			
	70	7.0	0.03			
23	10	0.75	0.56	6.10	3.30	80.1
	12	0.00	0.38			
	16	1.25	0.27			
	35	1.85	0.16			
	50	2.15	0.06			
24	3	2.0	0.64	5.5	5.0	80.1
	15	3.0	0.49			
	25	3.8	0.20			
	40	4.8	0.12			
	60	5.6	0.09			
	100	7.0	0.04			
25	3.5	10	0.50	1.16	3.0	80.1
	10	12	0.40			
	15	18	0.30			
	45	22	0.20			
	70	28	0.10			
	100	32	0.05			
26	5	2.5	0.56	2.4	1.8	78.4
	10	3.4	0.30			
	18	3.8	0.15			
	35	4.3	0.13			
	50	5.0	0.05			
	70	5.4	0.01			
27	1.5	9.0	1.8	5.4	2.8	78.5
	4.5	10.5	1.3			
	10.0	12.0	1.0			
	25.0	12.7	0.4			
	50.0	14.0	0.2			
	90.0	15.0	0.03			
28	5	1.2	4.80	8.0	3.0	82.0
	10	2.4	1.47			
	15	3.0	0.90			
	30	3.9	0.35			
	60	4.3	0.20			
	90	5.0	0.05			

Продолжение таблицы 5.10

1	2	3	4	5	6	7
29	4	2.5	1.12	4.20	4.5	80.1
	8	3.4	1.01			
	12	3.8	0.65			
	30	4.3	0.45			

	60	5.0	0.25			
	90	5.4	0.05			
30	5	2.5	0.56	3.85	2.6	80.1
	10	3.8	0.30			
	25	5.0	0.15			
	50	7.2	0.12			
	75	9.2	0.08			
	100	11.0	0.04			

3.4 Контрольные вопросы

1. Рассчитайте толщину диффузионного ионного слоя λ на поверхности твердой пластинки, погруженной в водные растворы с содержанием индифферентного электролита KCl: а) $1 \cdot 10^{-5}$; б) $1 \cdot 10^{-3}$; в) $1 \cdot 10^{-1}$ моль/дм³. Относительную диэлектрическую проницаемость растворов при 298К принять 78.5.

Постройте график зависимости φ/φ_δ от расстояния, которое изменяется от λ до 5λ .

2. Рассчитайте толщину диффузионного ионного слоя λ на поверхности пластины при 300К в водном растворе, 1 дм³ которого содержит 0.05г NaCl и 0.01г Ba(NO₃)₂ (индифферентные электролиты).

Относительная диэлектрическая проницаемость раствора = 76,5;

Во сколько раз изменится λ , если раствор разбавить водой в 4 раза?

3. Рассчитайте толщину диффузионного ионного слоя λ частиц дисперсной фазы при 293К в водных растворах, содержащих $1 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³ одного из следующих электролитов NaCl, CaCl₂, MgSO₄, считая, что относительная диэлектрическая проницаемость растворов линейно изменяется от 87.8 до 69.7 при повышении температуры от 273 до 323К. Постройте зависимость λ от τ для раствора NaCl.

Используя теорию Гуи-Чепмена для слабо заряженной поверхности, оцените значение потенциала φ и объемной плотности заряда ρ на расстоянии $x = 15$ нм от поверхности коллоидной частицы. Окружающей средой является водный раствор NaCl с концентрацией $1 \cdot 10^{-5}$ моль/дм³, $T = 293$ К, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80.1; потенциал поверхности равен 0,02В. Определите, во сколько раз измениться φ и ρ , если x увеличивается в 3 раза.

4. Рассчитайте объемную плотность заряда на границе диффузионного слоя ρ_δ дисперсной среды по следующим данным: $\rho_\delta = 0.03$ В; окружающей средой является водный раствор KCl с концентрацией $3 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80.1; температура 293К.

Чему равна плотность поверхностного заряда, обусловленного диффузионным слоем?

5. Рассчитайте емкость диффузионного слоя дисперсной фазы. Дисперсионной средой является водный раствор CaCl₂ концентрацией $2 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³ при 283К с относительной диэлектрической проницаемостью 83.8.

Определите, во сколько раз изменится емкость диффузионного слоя, если к раствору CaCl₂ добавить равный объем водного раствора NaCl с такой же мольной концентрацией?

6. Определить потенциал протекания, если через пленку продавливается 42.4%-й водный раствор этилового спирта при давлении $p = 20 \cdot 10^3$ Па. Удельная электрическая проводимость раствора $\kappa = 1.3 \cdot 10^{-2}$ Ом⁻¹·м⁻¹; относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 41.3$; вязкость $\eta = 0,9 \cdot 10^{-3}$ Па·с; электрокинетический потенциал $\xi = 16 \cdot 10^{-3}$ В.

7. Определите ξ – потенциал корундовой мембраны по результатам электроосмоса растворов KCl:

$C(\text{KCl}), \text{моль/дм}^3$	0.01	0.02	0.10	0.50
$\kappa, \text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	0.128	0.250	1.167	5.55
$R, \text{Ом}$	565	520	340	71.6
$I \cdot 10^3, \text{А}$	10	26	30	50
$v \cdot 10^3, \text{см}^3/\text{с}$	0.780	0.628	0.730	0.185

Относительная диэлектрическая проницаемость растворов 80.1; вязкость $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $T = 293$ К. Для всех растворов рассчитайте толщину ионного диффузного слоя λ и сопоставьте характер изменения ξ – потенциала и толщины слоя λ при увеличении концентрации KCl.

8. Рассчитайте ξ – потенциал по экспериментальным данным электрофореза золя гидроксида кремния (H_2SiO_3) в растворах $Cd(NO_3)_2$:

$C_{(Cd(NO_3)_2)}$, моль/дм ³	0	1	3,6	15.0
Эл-форетич. подвижность $U_o \cdot 10^9$, м/с·В	25	19	11	6.5

Относительная диэлектрическая проницаемость среды 80.1; $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Па·с; дисперсионная фаза перемещается к аноду. Построить графическую зависимость ξ – потенциала от концентрации $Cd(NO_3)_2$. Объясните полученную зависимость.

9. Определите ξ – потенциал на границе раздела фаз керамический фильтр – водный раствор KCl, если при протекании раствора под давлением $P = 2.0 \cdot 10^4$ Па потенциал протекания равен $6.5 \cdot 10^{-3}$ В. Удельная электропроводность среды $1.3 \cdot 10^{-2}$ Ом·м⁻¹; вязкость $\eta = 1 \cdot 10^{-3}$ Па·с, относительная диэлектрическая проницаемость среды 80.1.

10. Рассчитайте потенциал протекания, возникающий при продавливании этилового спирта через мембрану из $BaCO_3$ под давлением $9.81 \cdot 10^3$ Па, если ξ – потенциал равен $54 \cdot 10^{-3}$ В, удельная эл-проводность среды $1.1 \cdot 10^{-4}$ Ом·м⁻¹, вязкость $\eta = 1.2 \cdot 10^{-3}$ Па·с, относительная диэлектрическая проницаемость 25.

11. Водный раствор NaCl под давлением $4.9 \cdot 10^4$ Па проходит через кварцевую мембрану. Вычислить потенциал протекания на границе мембрана – раствор, если ξ – потенциал равен 0.04В, удельная электропроводность среды $1 \cdot 10^{-2}$ Ом·м⁻¹; вязкость $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с; относительная диэлектрическая проницаемость 80.1.

13. Рассчитайте потенциал, возникающий при течении водного раствора через мембрану из полистирола под действием давления $2 \cdot 10^4$ Па,

если известно, что при электроосмосе в этой дисперсной системе объемная скорость раствора равна $8 \cdot 10^{-4}$ мл/с при силе тока $4 \cdot 10^{-4}$ А.

14. Постройте графическую зависимость ξ – потенциала на границе раздела стекло-водный раствор электролитов: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$; $\text{Th}(\text{NO}_3)_4$ от их концентраций:

С. эл., моль/дм ³		$3 \cdot 10^{-7}$	$3 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-2}$
ξ – потенциал, мВ для электролитов:	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	-145	-120	-80	-33
	$\text{Al}(\text{NO}_3)_3$	-115	-15	+55	+30
	$\text{Th}(\text{NO}_3)_4$	-90	+45	+140	+83

Объясните влияние заряда катионов на изменение ξ – потенциала.

15. Постройте график – зависимость электрокинетического потенциала поверхности дисперсной фазы (электрокорунд, $\alpha - \text{Al}_2\text{O}_3$) от концентрации электролита Сэл (гексаметафосфат натрия) по экспериментальным данным электрофореза:

С.эл.,%	0.02	0.05	0.10	0.20
$\nu \cdot 10^3, \text{см}^3/\text{с}$	1.85	1.25	2.01	1.28
$I \cdot 10^3, \text{А}$	1.70	1.70	2.15	3.30
$\alpha_v \cdot 10^2, \text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	2.40	3.91	6.10	10.20
$\alpha_s \cdot 10^2, \text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$	7.76	6.42	0.49	0.20

Относительная диэлектрическая проницаемость растворов 80.1; вязкость $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с. Определите знак заряда поверхности мембраны, если растворы под действием тока перемещаются к катоду.

16. Рассчитайте объем раствора, перенесенный через мембрану из корунда за 1 ч в результате электроосмоса слабого раствора электролита под действием Э.Д.С. 100 В. Электрокинетический потенциал поверхности корунда 0.08 В, относительная диэл. проницаемость среды 80.1, вязкость $1 \cdot 10^{-3}$ Па·с, электрическое сопротивление мембраны с этим раствором $R_1 = 3900$ Ом.

Для определения удельной электропроводности раствора, включающей поправку на поверхностную проводимость, было измерено электрическое сопротивление мембраны в 0.1 н растворе КСl, которое оказалось равным $R_2 = 41.0$ Ом. Удельная электропроводность 0.1 н. раствора КСl равна $1.167 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.

4 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 4. МОЛЕКУЛЯРНО - КИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

При изучении данного раздела бакалавр приобретает следующие компетенции: ОК-7, ОПК-1, ОПК-3.

Студент стремится к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства, приобретению новых знаний в области естественных наук; он приобретает способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического теоретического и экспериментального исследования; использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы; использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире; способен использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности.

К молекулярно-кинетическим свойствам дисперсных систем относятся: броуновское движение, диффузия, седиментационное равновесие, осмотическое давление.

Броуновское или хаотическое смещение коллоидной частицы под действием беспорядочных столкновений с молекулами среды характеризуется величиной среднеквадратичного смещения или сдвига $\bar{\Delta}$, для расчета которого проводятся ультрамикроскопические измерения смещения коллоидной частицы по произвольно выбранному направлению $\Delta X_1, \Delta X_2 \dots \Delta X_i$ через равные промежутки времени.

Среднеквадратичное смещение коллоидной частицы рассчитывается по формуле:

$$\bar{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta X_i)^2}{n}}, \quad (4.1)$$

где: ΔX_i – смещение частицы в выбранном направлении, м;

n – число смещений частицы, участвующих в расчете.

Ультрамикроскопическое определение среднеквадратичного сдвига коллоидных частиц – процесс трудоемкий. Чаще для этой цели используется уравнение Эйнштейна – Смолуховского:

$$\bar{\Delta} = \sqrt{2 \cdot D \cdot \tau}, \quad (4.2)$$

где: τ – время диффузии, с;

D – коэффициент диффузии коллоидных частиц, м²/с.

Диффузия в дисперсных системах, т.е. самопроизвольное выравнивание концентрации коллоидных частиц под влиянием броуновского движения, определяется законом Фика:

$$\frac{dm}{d\tau} = -D \cdot S \cdot \frac{dc}{dx}, \quad (4.3)$$

где: $\frac{dm}{d\tau}$ – скорость диффузии или количество вещества, диффундирующего

через площадь S в единицу времени, моль/с;

$\frac{dc}{dx}$ – градиент концентраций диффундирующего вещества, моль/м.

Эйнштейном установлена зависимость коэффициента диффузии дисперсных частиц от характеристик коллоидного раствора:

$$D = \frac{R \cdot T}{N_A \cdot 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta}, \quad (4.4)$$

где: r – радиус коллоидных частиц, м;

η – вязкость дисперсной среды, Н·с/м²=Па·с.

В дисперсных системах конкурируют 2 самопроизвольных процесса: 1-диффузии, стремящейся выравнять концентрацию коллоидных частиц по объему раствора; 2-седиментации, т.е. самопроизвольного оседания частиц под действием гравитационного поля или собственной силы тяжести.

Когда эти процессы уравновешены, в дисперсной системе устанавливается равновесное распределение частиц по высоте согласно гипсометрическому закону Лапласа:

$$h = \frac{\ln \frac{v_0}{v}}{\frac{N_A}{R \cdot T} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g}, \quad (4.5)$$

где: h – гипсометрическая высота, на которой в единице объема содержится n коллоидных частиц, м;

v_0 – число частиц в единице объема на нулевом уровне;

$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$ – объем одной коллоидной шарообразной частицы, м³;

ρ_1, ρ_2 – плотность дисперсной фазы и дисперсионной среды, кг/м³.

В условиях седиментационного равновесия, при котором силы тяжести

$$F = m_{\text{част}} \cdot g = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot g \cdot (\rho_1 - \rho_2) \quad (4.6)$$

равны силам сопротивления вязкой дисперсной среды $f = 6 \cdot \pi \cdot r \cdot v$, можно записать:

$$\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot g \cdot (\rho_1 - \rho_2) = 6 \cdot \pi \cdot r \cdot v \quad (4.7)$$

Откуда следует формула Стокса для расчета скорости седиментации коллоидных частиц:

$$v = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g}{\eta} \quad (4.8)$$

Формула Стокса может быть преобразована для вычисления радиуса шарообразных частиц по скорости их седиментации:

$$r = \sqrt{\frac{9}{2} \cdot \frac{\eta}{(\rho_1 - \rho_2) \cdot g} \cdot v} \quad (4.9)$$

Учитывая, что скорость седиментации $v = \frac{h}{\tau}$, формулу Стокса можно

преобразовать также для расчета времени оседания коллоидных частиц под действием собственной силы тяжести:

$$\tau = \frac{h}{v} = \frac{9}{2} \cdot \frac{h \cdot \eta}{r^2 \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g} \quad (4.10)$$

Время оседания коллоидных частиц в центробежном поле рассчитывается по формуле:

$$\tau_{ц-б.} = \frac{9}{2} \cdot \frac{\eta \cdot \ln \frac{x_2}{x_1}}{\omega^2 \cdot r^2 \cdot (\rho_1 - \rho_2)}, \quad (4.11)$$

где: ω – угловая скорость вращения центрифуги, c^{-1} ,

x_1 и x_2 – начальное и конечное расстояние от оси вращения в начале центрифугирования и через время τ .

Осмотическое давление в разбавленных дисперсных системах рассчитывается по уравнению, аналогичному уравнению Вант-Гоффа, в котором масса 1 моля вещества заменяется массой одной коллоидной частицы:

$$\pi = \frac{m_{общ}}{N_A \cdot V} \cdot R \cdot T, \quad (4.12)$$

где: $m_{общ}$ – общая масса дисперсной фазы, кг;

m_o – масса одной коллоидной частицы, кг;

V – объем коллоидного раствора, m^3 .

Решение типовых задач

Задача 1. Рассчитать коэффициент диффузии и среднее квадратичное смещение аэрозольной частицы за 15с по следующим данным: радиус частицы $r = 1.0 \cdot 10^{-8}$ м, вязкость среды $\eta = 1.90 \cdot 10^{-7}$ Па·с; температура $T=298$ К.

Решение: Коэффициент диффузии аэрозольной частицы определим по формуле Эйнштейна (4.4):

$$D = \frac{RT}{N_A \cdot 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta} = \frac{8.314 \cdot 298}{6.02 \cdot 10^{23} \cdot 6 \cdot 3.14 \cdot 1.0 \cdot 10^{-8} \cdot 1.90 \cdot 10^{-7}} = 1.15 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2 / \text{с}$$

Среднее квадратичное смещение аэрозольной частицы рассчитывается по формуле Эйнштейна-Смолуховского (4.2):

$$\bar{\Delta} = \sqrt{2 \cdot D \cdot \tau} = \sqrt{2 \cdot 1.15 \cdot 10^{-7} \cdot 15} = 1.857 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Задача 2. Определить коэффициент диффузии красителя индигокармин в водно-спиртовом растворе, если при градиенте концентраций $0,5 \text{ кг/м}^3$ за 2 часа через площадь $S=25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ проходит $4,9 \cdot 10^{-7} \text{ г}$ вещества.

Решение: Коэффициент диффузии красителя рассчитывается по закону

Фика (4.3):
$$D = \frac{\Delta m}{\Delta \tau \cdot S \cdot \frac{dc}{dx}} = \frac{4,9 \cdot 10^{-7}}{7200 \cdot 25 \cdot 10^{-4} \cdot 0,5} = 5,44 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 / \text{с}.$$

Задача 3. Золь диоксида кремния в воде содержит частицы, радиус которых равен $2 \cdot 10^{-8} \text{ м}$. Определить, на какой высоте от начального уровня концентрация частиц уменьшится в 2 раза, если плотность частиц – $2,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; плотность среды – $1,0 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; температура – 298 К .

Решение: Из гипсометрической формулы Лапласа (4.5):

$$h = \frac{\ln \frac{v_0}{v}}{\frac{N_A}{R \cdot T} \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g}$$

$$h = \frac{\ln 2 \cdot 8,314 \cdot 298 \cdot 3}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot (2 \cdot 10^{-8})^3 \cdot (2,1 \cdot 10^3 - 1,0 \cdot 10^3) \cdot 9,81} = 7,89 \cdot 10 \text{ м}.$$

Задача 4. Определить, за какое время осядет частица каолина с поверхности жидкости, если высота столба жидкости равна $0,1 \text{ м}$; вязкость среды – $2 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$; радиус частиц каолина – $14 \cdot 10^{-6} \text{ м}$; плотность частиц – $2,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; плотность дисперсной среды – $1,1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

Решение: Время седиментации частиц каолина под действием собственной силы тяжести рассчитывается по формуле Стокса (4.8):

$$v = \frac{h}{\tau} = \frac{2}{9} \cdot \frac{r^2 \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g}{\eta},$$

где: h – путь, который проходит частица за время τ ,

откуда:

$$\tau = \frac{h}{v} = \frac{9}{2} \cdot \frac{h \cdot \eta}{r^2 \cdot (\rho_1 - \rho_2) \cdot g}$$

$$\tau = \frac{9}{2} \cdot \frac{0,1 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{(14 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (2,1 \cdot 10^3 - 1,1 \cdot 10^3) \cdot 9,81} = 468,08 \text{ с}.$$

Задача 5. Рассчитать радиус частиц каолина, оседающих в центрифуге, вращающейся с угловой скоростью 600 с^{-1} , при $T=298 \text{ К}$ за 10 с , если: начальное расстояние частицы от оси вращения -0.15 м ; конечное -0.25 м ; плотность частицы каолина $-2.1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; плотность дисперсной среды $-1.1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; вязкость среды $-2.0 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Решение: Радиус коллоидных частиц, оседающих в центробежном поле рассчитывается по формуле (4.11):

$$\tau_{\text{ц-б.}} = \frac{9}{2} \cdot \frac{\eta \cdot \ln \frac{x_2}{x_1}}{\omega^2 \cdot r^2 \cdot (\rho_1 - \rho_2)},$$

откуда:

$$r = \sqrt{\frac{9}{2} \cdot \frac{\eta \cdot \ln \frac{x_2}{x_1}}{\omega^2 \cdot \tau_{\text{ц-б.}} \cdot (\rho_1 - \rho_2)}} = \sqrt{\frac{9 \cdot 2.0 \cdot 10^{-3} \cdot \ln \frac{0.25}{0.15}}{2 \cdot 10 \cdot 600^2 (2.1 \cdot 10^3 - 1.1 \cdot 10^3)}} = 1.13 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$$

Задача 6. Коэффициент диффузии гидрозолья серы равен $1.50 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2/\text{с}$. Рассчитать осмотическое давление гидрозолья серы (форма частиц - сферическая) с концентрацией 5 г/дм^3 при 298 К , если плотность частицы $-2.11 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; вязкость среды $-1.15 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Решение: Осмотическое давление гидрозолья серы рассчитывается по

$$\pi = \frac{m_{\text{общ}}}{N_A \cdot V} \cdot R \cdot T,$$

формуле (4.12):

где: m_o – масса одной сферической частицы гидрозолья серы.

По известному значению коэффициента диффузии определим радиус коллоидных частиц по формуле Эйнштейна (4.4):

$$r = \frac{R \cdot T}{D \cdot N_A \cdot 6\pi\eta} = \frac{8.314 \cdot 298}{1.50 \cdot 10^{-9} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} \cdot 6 \cdot 3.14 \cdot 1.15 \cdot 10^{-3}} = 1.266 \cdot 10^{-8} \text{ м.}$$

Масса одной сферической частицы серы будет составлять:

$$m_o = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho = \frac{4}{3} \cdot 3.14 \cdot (1.266 \cdot 10^{-8})^3 \cdot 2.11 \cdot 10^3 = 1.792 \cdot 10^{-20} \text{ г.}$$

Тогда осмотическое давление в гидрозолье серы составит:

$$\pi = \frac{5,0}{6,02 \cdot 10^{23} \cdot 10 \cdot 10^{-3}} \cdot 1,792 \cdot 10^{-20} \cdot 8.314 \cdot 298 = 1148 \text{ Па.}$$

3.5

Многовариантные задачи

Задача 1. На основании данных табл. определить величины, обозначенные знаком “?”.

Таблица 4.1 - Данные для расчета среднеквадратичного смещения и коэффициента диффузии коллоидных частиц

Вариант	Вещество	Время смещения $\tau, \text{с}$	Радиус частицы $r \cdot 10^{+8}, \text{м}$	Коэффициент диффузии $D, \text{м}^2/\text{с}$	Среднеквадратичный сдвиг $\Delta \cdot 10^6, \text{м}$	Температура $T, \text{К}$	Вязкость среды $\eta \cdot 10^7, \text{Па} \cdot \text{с}$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	аэрозольные частицы	20	3.0	?	?	298	1.85
2	частицы тумана воды	25	2.0	?	?	298	1.5
3	частицы золя золота	30	0.1	?	?	298	10.0
4	аэрозольные частицы	40	3.0	?	?	298	1.6
5	частицы дыма хлорида аммония	30	2.0	?	?	298	1.8
6	частицы пыли карбамида	20	2.0	?	?	298	1.5
7	золь $\text{Al}(\text{OH})_3$	1.5	?	$1.5 \cdot 10^{-10}$?	298	10000
8	золь $\text{Fe}(\text{OH})_3$	15	1.5	?	?	293	10000
9	золь AgI	25	?	$1.5 \cdot 10^{-10}$?	298	10000
10	аэрозольные частицы	15	1.0	?	?	298	1.9
11	золь $\text{Fe}(\text{OH})_3$	10	5000	?	?	293	10000
12	частицы дыма хлорида аммония	5	10	?	?	273	1.7
13	эмульсия масла в воде	1	650	?	?	288	10000
14	мицеллы мыла в воде	10	1.25	?	?	313	6500
15	частицы дыма оксида цинка	25	200	?	?	283	170
16	мицеллы мыла в воде	20	6.15	?	?	313	15

Продолжение таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8
17	золь платины	0.45	?	?	1.3	298	2260
18	золь платины	0.65	?	?	2.1	295	1000
19	золь платины	1.60	?	?	6.2	293	3200
20	эмульсия масла в воде	1	65.0	?	?	288	10000
21	частицы пыли цемента	10	50.0	?	?	298	1.0
22	частицы угольной пыли	20	300	?	?	313	1.0
23	аэрозольные частицы	18	10.0	?	?	293	1900
24	золь AgI	15	?	$1.2 \cdot 10^{-10}$?	298	10000
25	мицеллы мыла в воде	25	125	?	?	313	6500
26	частицы дыма TiO_2	30	2000	?	?	285	1.70
27	гидрозоль серебра	10	50.0	?	?	293	10000
28	гидрозоль серы	15	18.0	?	?	298	10000
29	гидрозоль As_2S_3	25	26.5	?	?	298	10000
30	гидрозоль SiO_2	15	18.5	?	?	293	10000

Задача 2. На основании данных таблицы 4.2 рассчитать коэффициент диффузии красителей в водном растворе.

Таблица 4.2 - Данные для расчета коэффициента диффузии красителей

Вариант	Краситель	Масса вещества $m \cdot 10^{10}$, кг	Время, τ , час	Градиент концентраций, $\frac{dC}{dX}$ кг/м ²	Площадь диффузии, $S \cdot 10^4$, м ²
1	конго-красный	5.5	1.0	0.75	20
2	бриллиантовый зеленый	55.0	3.0	0.8	20
3	бриллиантовый зеленый	55.0	3.0	0.8	20
4	метилловый оранжевый	10.0	1.5	0.5	50
5	метиленовый голубой	6.5	1.0	0.6	18
6	метилловый фиолетовый	3.7	1.8	0.2	15
7	ализариновый красный	38.0	2.0	0.4	37
8	Бромкрезоловый синий	4.6	2.5	0.5	18
9	фуксин	22.0	3.5	0.8	24
10	фенолфталеин	36.2	1.2	0.6	32
11	эозин	40.8	1.0	0.5	41
12	кристаллический фиолетовый	4.2	1.2	0.6	20
13	крезоловый фиолетовый	4.8	1.5	0.4	15
14	фенолфталеин	9.2	1.8	0.3	33
15	тимолфталеин	21.0	2.0	0.5	18
16	хромоген черный	14.2	2.5	0.65	27

Задача 3 Для гидрзоля вещества А с установившимся диффузионно-седиментационным равновесием рассчитать величины, обозначенные в таблице 4.3 знаком ?. Частицы дисперсной фазы считать сферическими; температура $T=298$ К.

Таблица 4.3 – Данные для расчета гипсометрической высоты, скорости оседания, радиуса, концентрации коллоидных частиц

Вариант	Вещество А	Гипсометрич. высота $h, \text{м}$	Время оседания $\tau, \text{час}$	Радиус частиц $r, \text{м}$	Вязкость среды $\eta \cdot 10^3$	Плотность $\rho \cdot 10^{-3}, \text{кг/м}^3$		Концентрация частиц		
						Коллоидных частиц	Дисперсионной среды	Начальная $v_0 \cdot 10^3, \text{кг/м}^3$	На высоте h $v_h \cdot 10^3, \text{кг/м}^3$	Уменьшение на h v_0/v_h , раз
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Au	?	-	$1.0 \cdot 10^{-8}$	1.0	2.1	1.0	-	-	2.0
2	CaCO ₃	0.20	1.5	?	1.0	2.13	1.0	-	-	-
3	Мел	0.15	?	$4.6 \cdot 10^{-6}$	3.2	1.5	1.2	-	-	-
4	Глина	0.12	?	$8.0 \cdot 10^{-6}$	2.5	1.8	1.0	-	-	-
5	As ₂ S ₃	0.24	?	$3.8 \cdot 10^{-7}$	1.8	1.8	1.3	-	-	-
6	Fe(OH) ₃	?	-	$1.5 \cdot 10^{-7}$	1.0	3.90	1.0	-	-	2.0
7	Каолин	0.01	?	$1.0 \cdot 10^{-6}$	1.5	4.5	1.5	-	-	-
8	Hg	0.01	5.86с	?	1.15	10.0	0.991	-	-	-
9	Hg	0.01	10мин	?	1.15	10.0	0.991	-	-	-
10	Hg	0.01	16мин	?	1.15	10.0	0.991	-	-	-
11	Hg	0.1	?	$1.0 \cdot 10^{-7}$	1.15	10.0	0.991	-	-	-
12	Hg	0.1	?	$1.0 \cdot 10^{-6}$	1.15	10.0	0.991	-	-	-
13	SiO ₂	?	-	$2.5 \cdot 10^{-8}$	1.0	2.70	1.0	-	-	2.0
14	SiO ₂	0.326	-	?	1.0	2.70	1.0	-	-	2.0
15	SiO ₂	?	-	$1.2 \cdot 10^{-7}$	1.0	2.70	1.0	-	-	2.0
16	Au	$5 \cdot 10^{-5}$	-	?	1.0	19.3	1.0	1431	1053	-
17	Au	$1 \cdot 10^{-4}$	-	?	1.0	19.3	1.0	1431	779	-
18	Au	$2 \cdot 10^{-4}$	-	$6.28 \cdot 10^{-8}$	1.0	19.3	1.0	1431	?	-
19	Au	?	-	$6.28 \cdot 10^{-8}$	1.0	19.3	1.0	-	-	5.6
20	Au	$4 \cdot 10^{-4}$	-	?	1.0	19.3	1.0	1431	148	-
21	Fe(OH) ₃	15	-	$1.5 \cdot 10^{-8}$	1.2	3.90	1.0	7.5	?	-
22	AgI	10	-	$0.65 \cdot 10^{-8}$	1.45	5.71	1.0	1.8	?	-
23	Al(OH) ₃	3	-	$0.5 \cdot 10^{-8}$	1.05	2.42	1.0	2.0	?	-
24	BaSO ₄	4	-	$0.85 \cdot 10^{-8}$	1.50	4.50	1.0	9.0	?	-
25	Ca(OH) ₂	2	-	$2.5 \cdot 10^{-8}$	1.13	2.24	1.0	4.5	?	-
26	Al ₂ O ₃	5	1.2	?	1.15	4.00	1.0	-	-	-
27	Al ₂ O ₃	2	0.5	?	1.15	4.00	1.0	-	-	-
28	Fe ₂ O ₃	?	-	$0.5 \cdot 10^{-8}$	1.03	5.25	1.0	-	-	2.5
29	AgCl	5	-	$1.6 \cdot 10^{-8}$	1.21	5.56	1.0	1750	?	-
30	Ag ₂ S	?	-	$2.48 \cdot 10^{-7}$	1.55	7.32	1.0	-	-	1.3

Задача 4. Для частиц гидрозоля вещества А в дисперсионной среде В, оседающих в центрифуге при 298 К в соответствии с условиями, указанными в таблице 4.4,

рассчитать величины, обозначенные в таблице знаком “?”. Частицы дисперсной фазы считать сферическими.

Таблица 4.4 - Данные для расчета размера частиц, времени оседания и расстояния от оси вращения при центробежной седиментации

Вариант	Вещество А	Вещество В	Время оседания t , с	Радиус частиц r , м	Вязкость $\eta \cdot 10^3$ Па·с	Угловая скорость вращения Центрифуги ω , об/с	Расст. от оси ротора до частиц, м		Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³		Увелич. конц. частиц
							X_0	X	Коллоидных частиц	Дисперсионной среды	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Al	Толуол	?	$2.0 \cdot 10^{-8}$	0.85	628	0.02	?	2.70	0.867	2.0
2	Каолин	Вода	?	$8.0 \cdot 10^{-7}$	2.5	500	0.15	0.25	1.80	1.0	-
3	Au	Гексан	?	$5.0 \cdot 10^{-8}$	0.81	435	0.1	?	3.60	0.835	2.0
4	Яичный белок	Вода	?	$1.4 \cdot 10^{-7}$	1.15	180	0.0423	0.0438	1.30	1.0	-
5	Яичный белок	Вода	?	$1.4 \cdot 10^{-6}$	1.15	210	0.0380	0.0403	1.35	1.0	-
6	Au	Вода	22	?	1.40	250	0.08	0.16	19.3	1.0	-
7	Глина	Вода	12	?	2.32	60	0.03	0.12	2.74	1.0	-
8	AgCl	Ацетон	16	?	1.25	100	0.10	0.20	5.56	0.791	-
9	AgCl	Вода	30	?	1.86	150	0.037	0.05	5.56	1.0	-
10	Цемент	Вода	15	?	2.65	100	0.02	0.25	1.80	1.0	-
11	Цемент	Вода	10	?	2.65	250	0.06	0.18	1.80	1.0	-
12	Глина	Вода	25	?	3.12	410	0.07	0.2	2.74	1.0	-
13	AgCl	Вода	60	?	2.15	165	0.09	0.14	5.56	1.0	-
14	Au	Вода	60	?	3.86	145	0.04	0.07	19.3	1.0	-
15	SiO ₂	Вода	10	?	2.65	250	0.06	0.18	2.70	1.0	-
16	Al ₂ O ₃	Вода	3	?	1.80	100	0.04	0.09	4.00	1.0	-
17	TiO ₂	Олифа	60	?	2.50	300	0.18	0.22	4.26	0.85	-
18	ZnO	Олифа	45	?	3.12	420	0.04	0.09	5.70	0.85	-
19	Мрамор	Вода	12	?	1.65	200	0.12	0.145	2.75	1.0	-
20	Графит	толуол	28	?	2.87	250	0.03	0.07	2.10	0.867	-

Контрольные вопросы

1. Вычислить осмотическое давление гидрозоля золота концентраций $0,3 \text{ кг/м}^3$, имеющего частицы диаметром $1,0 \cdot 10^{-9} \text{ м}$. Плотность золота $19,3 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$; температура золя 293 К ; вязкость дисперсионной среды – $3,86 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

2. Сравнить осмотическое давление двух монодисперсных гидрозолей золота одинаковой концентрации по массе, но различной дисперсности, если средние радиусы частицы в них равны $\bar{r}_1 = 2.50 \cdot 10^{-8}$ м, а $\bar{r}_2 = 5.0 \cdot 10^{-8}$ м.

3. Как изменится степень дисперсности у коллоидного раствора при испарении, если его осмотическое давление уменьшится в 1000 раз?

4. В каком отношении находятся осмотические давления двух коллоидных растворов одного и того же вещества с равными концентрациями по массе, если средние радиусы частиц в них равны: $\bar{r}_1 = 2.0 \cdot 10^{-8}$ м, $\bar{r}_2 = 3.0 \cdot 10^{-7}$ м?

5. Рассчитать осмотическое давление 15% (по массе) гидрозоля SiO_2 при 298К, если удельная поверхность сферических частиц составляет $2,7 \cdot 10^{-5}$ м²/кг; плотность частиц $-2,70 \cdot 10^3$ кг/м³.

6. Рассчитать отношение осмотических давлений двух гидрозолей с одинаковой концентрацией по массе, если их дисперсности соответственно равны 40 мкм⁻¹ и 20 мкм⁻¹. Форма частиц гидрозоля – сферическая.

7. Рассчитать отношение осмотических давлений двух гидрозолей с одинаковой дисперсностью, если их массовые концентрации соответственно равны 7.0 г/дм³ и 3.5г/дм³. Форма частиц гидрозолей - сферическая.

8. Коэффициент диффузии гидрозоля золота равен $7.17 \cdot 10^{-11}$ м²/с. Рассчитать осмотическое давление гидрозоля золота с концентрацией 2.0 г/дм³ при 293 К. Форма частиц гидрозоля – сферическая; вязкость воды – $1.0 \cdot 10^{-3}$ Па·с; плотность частиц – $19.3 \cdot 10^3$ кг/м³.

9. Коэффициент диффузии гидрозоля серы равен $5.0 \cdot 10^{-10}$ м²/с. Рассчитать осмотическое давление гидрозоля серы с концентрацией 3.0 г/дм³ при 298 К. Форма частиц гидрозоля – сферическая; вязкость воды – $1.0 \cdot 10^{-3}$ Па·с; плотность частиц – $2.11 \cdot 10^3$ кг/м³.

10. Коэффициент диффузии сферических частиц гидрозоля Al_2O_3 равен $2.0 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Рассчитать осмотическое давление золя при температуре 303 К и

массовой концентрации 0.3 г/дм^3 ; вязкость воды – $1.0 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$; плотность частиц $4.00 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.

11. Вычислить по среднеквадратичному сдвигу частиц гуммигута постоянную Авогадро N_A , если радиус частиц $r = 0.212 \text{ мкм}$, а за время $\tau = 1 \text{ мин}$ частицы переместились на 10.65 мкм при $T = 290 \text{ К}$. Вязкость среды $\eta = 1.10 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

12. Показать, что среднеквадратичный сдвиг частиц радиусом $r_1 = 100 \text{ мкм}$ и $r_2 = 1 \text{ мкм}$ соответствует формуле Эйнштейна, если среднее смещение указанных частиц составляет соответственно $\Delta_1 = 4.1 \text{ мкм}$ и $\Delta_2 = 41 \text{ мкм}$ за одно и то же время.

13. Определить коэффициент диффузии частицы ZnO , если при изучении броуновского движения этой частицы вдоль оси OX через каждые 3с определялись смещения, которые оказались равными: $2; 2; 3; 4; 3; 2; 3; 4; 4; 3; 2; 2 \text{ мкм}$.

14. Определить коэффициент диффузии частиц золота, если при изучении броуновского движения этой частицы вдоль оси OX через каждые 2с определялись смещения, которые оказались равные: $1; 2; 2; 3; 1; 1; 2; 2; 1; 2; 3; 2; 1; 2; 3 \text{ мкм}$.

15. Какие свойства дисперсных систем относятся к молекулярно-кинетическим?

16. В чем состоит сущность броуновского движение, диффузии, осмоса? Чем они обусловлены?

17. Являются ли броуновское движение, диффузия и осмос процессами самопроизвольными? Почему?

5 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 5. ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

При изучении раздела «Оптические свойства дисперсных систем» бакалавр приобретает следующие компетенции: ОК-7, ОПК-1, ОПК-3. Он стремится к повышению своей квалификации и мастерства, овладевает способностью приобретать новые знания в области естественных наук; готовностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы теоретического и экспериментального исследования; использовать знания о строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы; использовать знания о природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире; планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения; способен использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности.

При падении луча света на дисперсную систему наиболее характерными являются два оптических явления:

1. Рассеяние света, проявляющееся в виде опалесценции или мутности;
2. Абсорбция или поглощение света дисперсной фазой.

Рассеяние света в дисперсных системах обусловлено дифракцией светового луча на коллоидных частицах, размер которых меньше длины волны падающего света, т.е. $r \leq 0,1 \lambda$.

Зависимость интенсивности рассеянного света в дисперсных системах от длины волны падающего света и характеристик дисперсной системы устанавливается формулой Рэлея:

$$J_p = 24 \cdot \pi^3 \cdot J_0 \cdot \frac{\nu' \cdot \nu^2}{\lambda^4 \cdot x^2} \cdot \left(\frac{n^2 - n_0^2}{n^2 + 2 \cdot n_0^2} \right)^2, \quad (7.1)$$

где: J_p и J_0 – интенсивности рассеянного и падающего света;

λ – длина волны падающего света;

ν' – частичная концентрация или число рассеивающих частиц в единице объема коллоидного раствора;

ν – объем одной сферической коллоидной частицы;

n_0, n – показатели преломления дисперсионной среды, дисперсной фазы;

x – расстояние от частицы до приемника излучения.

Из формулы Рэлея следует, что интенсивность светорассеяния прямо пропорциональна размеру рассеивающих коллоидных частиц. При постоянном значении λ уравнения Рэлея можно представить в виде:

$$J = k \cdot \nu' \cdot \nu^2 \cdot J_0 \quad (7.2)$$

Если при неизменной массовой концентрации дисперсной фазы объем частиц в результате дробления уменьшился в x раз, тогда частичная концентрация ν' увеличится в то же число x раз, а светорассеяние такого раствора J' уменьшится в x раз, т.е.

$$J' = k \cdot x \cdot \nu' \cdot \left(\frac{\nu}{x}\right)^2 \cdot J_0 = k \cdot \nu' \cdot \frac{\nu^2}{x} \cdot J_0 \quad (7.3)$$

Светорассеяние коллоидными системами лежит в основе таких оптических методов исследования дисперсных систем как ультрамикроскопия, нефелометрия, турбидиметрия.

Ультрамикроскопический метод определения размера коллоидных частиц, разработанный Б.В.Дерягиным и Г.Я.Власенко, основан на непосредственном подсчете числа коллоидных частиц n в единице объема V аэрозоля или лиозоля.

Численная концентрация коллоидных частиц будет равна:

$$\nu' = \frac{\nu}{V} \quad (7.4)$$

Массовая концентрация золя в этом случае будет равна:

$$C = \nu \cdot \rho \cdot \nu' = \frac{\nu \cdot \nu \cdot \rho}{V}, \quad (7.5)$$

где: ν – объем одной коллоидной частицы; м^3 ;

ρ – плотность частиц дисперсной фазы; $\text{кг}/\text{м}^3$;

V – объем золя, м^3 ;

ν' – численная (частичная) концентрация золя.

Выражение (7.5) позволяет рассчитать радиус сферической коллоидной

частицы с учетом ее объема $\nu(1сф.част) = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$:

$$r = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \nu}{4 \cdot \pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot C}{4 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \nu'}} \quad (7.6)$$

Размер ребра частиц кубической формы рассчитывается по уравнению:

$$l = \sqrt[3]{\nu} = \sqrt[3]{\frac{C}{\rho \cdot \nu'}} \quad (7.7)$$

Нефелометрический метод анализа коллоидных систем основан на уравнении Рэлея (7.1), согласно которому интенсивность светорассеяния при прочих равных условиях пропорциональна произведению концентрации коллоидного раствора на объем частиц дисперсной фазы, т.е.:

$$J_p = k \cdot C \cdot \nu \quad (7.8)$$

По измеренной интенсивности рассеянного света J_p можно определить только одну из переменных выражения (7.8): либо концентрацию коллоидного раствора C при постоянных размерах частиц дисперсной фазы в исследуемом и стандартном растворах; либо размеры коллоидных частиц при постоянной массовой концентрации исследуемого и стандартного растворов.

Действие оптических приборов – нефелометров - основано на сравнении интенсивности света, рассеянного исследуемым и стандартным золями. Равенства интенсивностей светорассеяния добиваются изменением высоты столба рассеивающего свет золя h .

Если интенсивности светорассеяния исследуемого и стандартного зольей равны, то отношение концентраций зольей обратно пропорционально отношению высот рассеивающих столбов зольей:

$$\frac{C_x}{C_0} = \frac{h_0}{h_x}, \quad (7.9)$$

где: C_x и C_0 – концентрации исследуемого и стандартного золь, кг/ м³;

h_x и h_0 – высота рассеивающего столба исследуемого и стандартного золь при равной освещенности полей зрения нефелометра.

Откуда концентрация исследуемого золь рассчитывается по формуле:

$$C_x = C_0 \cdot \frac{h_0}{h_x} \quad (7.10)$$

Если требуется определить размер частиц исследуемого золь, то при условии равенства концентраций $C_x = C_0$, находится неизвестный объем коллоидной частицы из соотношения:

$$\frac{v_x}{v_0} = \frac{h_0}{h_x}, \quad \text{откуда: } v_x = v_0 \cdot \frac{h_0}{h_x} \quad (7.11)$$

Учитывая, что объем шарообразных коллоидных частиц $v_x = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$, из выражения (7.11) можно рассчитать радиус коллоидной частицы:

$$r_x = r_0 \cdot \sqrt[3]{\frac{h_0}{h_x}} \quad (7.12)$$

Турбидиметрический метод анализа основан на измерении интенсивности прошедшего через коллоидный раствор светового потока в соответствии с основным законом светопоглощения Бугера-Ламберта-Бера:

$$J_n = J_0 \cdot e^{-\varepsilon \cdot C \cdot l}, \quad (7.13)$$

где: J_n и J_0 – интенсивность падающего и поглощенного коллоидным раствором слоя;

ε – молярный коэффициент поглощения;

C – концентрация раствора;

l – толщина светопоглощающего слоя, м.

На практике уравнения Бугера-Ламберта-Бера чаще всего используется в логарифмической форме:

$$\ln \frac{J_0}{J} = 2.303 \cdot D = \varepsilon \cdot C \cdot l, \quad (7.14)$$

где: $D = \lg \frac{J_0}{J}$ – оптическая плотность коллоидного раствора.

Выражение (7.14) используется для количественного определения концентрации коллоидных растворов C , поскольку при турбидиметрических измерениях величины ε , l – остаются постоянными.

Ослабление светового потока окрашенными коллоидными системами осуществляется как за счет абсорбции, так и за счет рассеяния света. В случае неокрашенных, белых золь (латексы, золь AgCl и т.п.) классическая абсорбция света отсутствует, и их оптическая плотность определяется только светорассеянием, а следовательно, зависит от размера коллоидных частиц согласно эмпирическому уравнению Геллера:

$$D_\lambda = k \cdot \lambda^{-n}, \quad (7.15)$$

где: D_λ – оптическая плотность золя;

λ – длина волны падающего на коллоидный раствор света, нм;

k – постоянная для данной коллоидной системы;

n – показатель дисперсности светорассеивающих коллоидных частиц.

Изменяется в пределах $2 \div 4$. При значениях показателя дисперсности $n = 4$ высокодисперсная система подчиняется закону светорассеяния Рэлея, при $n = 2$ – уравнение Рэлея не соблюдается.

Выражение (7.15) используется для турбидиметрического определения размера коллоидных частиц по экспериментальной зависимости оптической плотности белого золя от длины волны, построенной в логарифмических координатах: $\lg D_\lambda = f(\lg \lambda)$ (рисунок.7.1). Тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс дает величину показателя дисперсности n , а начальная ордината, соответственно, равна постоянной K .

По установленному графическим путем значению показателя дисперсности n с помощью экспериментальной кривой Геллера, устанавливающей зависимость показателя дисперсности от диаметра коллоидных частиц $n = f(d)$, определяется диаметр коллоидных частиц исследуемого белого золя.

Решение типовых задач

Задача 1. Используя уравнение Рэлея, сравните интенсивности светорассеяния золя высокодисперсного полистирола, освещенного монохроматическим светом длиной волны λ_1 , а затем – с длиной волны λ_2 ($\alpha = 4$).

Таблица 7.1 – Зависимость интенсивности светорассеяния от длины волны падающего света

Монохроматическое излучение с длиной волны		Отношение интенсивностей светорассеяния $\frac{J(\lambda_1)}{J(\lambda_2)}$
$\lambda_1 \cdot 10^9, \text{ м}$	$\lambda_2 \cdot 10^9, \text{ м}$	
415	527	?

Решение: Применив уравнение Рэлея (7.1) к светорассеянию высокодисперсного полистирола при его освещении монохроматическим светом двух указанных длин волн, получим:

$$\frac{J(\lambda_1)}{J(\lambda_2)} = \frac{24 \cdot \pi^3 \cdot J_0 \cdot \frac{\nu^1 \cdot \nu^2}{\lambda_1^4 \cdot X^2} \cdot \left[\frac{n^2 - n_0^2}{n^2 + 2 \cdot n_0^2} \right]^2}{24 \cdot \pi^3 \cdot J_0 \cdot \frac{\nu^1 \cdot \nu^2}{\lambda_2^4 \cdot X^2} \cdot \left[\frac{n^2 - n_0^2}{n^2 + 2 \cdot n_0^2} \right]^2} = \frac{\lambda_2^4}{\lambda_1^4} = \frac{(527)^4 \cdot 10^{36}}{(415)^4 \cdot 10^{36}} = 1.105$$

Таким образом, интенсивность светорассеяния золя полистирола выше при его облучении светом с меньшей длиной волны $\lambda_1 = 415 \cdot 10^{-9}$, м.

Задача 2. Используя уравнение Рэлея, сравните интенсивности светорассеяния двух эмульсий органических жидкостей А и В в воде с равными радиусами частиц и равными численными концентрациями. Показатель преломления воды $n_0 = 1.333$.

Таблица 7.2 – Зависимость интенсивности светорассеяния от показателя преломления

Эмульсия в воде		Показатель преломления		Отношение интенсивностей светорассеяния $\frac{J(\lambda_1)}{J(\lambda_2)}$
Жидкость А	Жидкость В	n(A)	n(B)	
этиленгликоль	бромбензол	1.4318	1.5601	?

Решение: Применив уравнение Рэлея (7.1) к светорассеянию водных эмульсий двух жидкостей: А и В, получим выражение для сравнения интенсивностей светорассеяния указанных эмульсий:

$$\frac{J(A)}{J(B)} = \frac{\left[\frac{n(A)^2 - n_0^2}{n(A)^2 + 2 \cdot n_0^2} \right]^2}{\left[\frac{n(B)^2 - n_0^2}{n(B)^2 + 2 \cdot n_0^2} \right]^2} = \frac{\left[\frac{1.4318^2 - 1.333^2}{1.4318^2 + 2 \cdot 1.333^2} \right]^2}{\left[\frac{1.5601^2 - 1.333^2}{1.5601^2 + 2 \cdot 1.333^2} \right]^2} = 0.197$$

Таким образом, водная эмульсия органической жидкости А (этиленгликоль) с меньшим показателем преломления $n(A)$ рассеивает свет в меньшей степени, чем эмульсия жидкости В (бромбензол) с большим показателем преломления $n(B)$.

Задача 3. Определить средний радиус частиц гидрозоля канифоли r на основании данных таблиц 7.3 и 7.4, предварительно построив калибровочную кривую Геллера зависимости характеристики дисперсности n от диаметра частиц латекса d , используя экспериментальные данные, приведенные в таблице 7.3:

Таблица 7.3 – Данные для построения кривой Геллера

Диаметр частиц $d \cdot 10^9, \text{м}$	57.0	68.0	86.7	91.0	99.0	112.0	119.0	123.0	138.0
n	2.92	2.64	2.30	2.23	2.04	1.82	1.72	1.66	1.45

Таблица 7.4 – Данные для расчета радиуса коллоидных частиц

Длина волны $\lambda \cdot 10^9, \text{м}$	Оптическая плотность D	Средний радиус частиц $r, \text{м}$	$\lg D$	$\lg \lambda$
435	0.275		-0.560	-6.362
505	0.195		-0.710	-6.297
547	0.127	?	-0.896	-6.262
705	0.066		-1.180	-6.152
770	0.048		-1.319	-6.114

Решение: Турбидиметрическое определение среднего радиус частиц гидрозоля основано на использовании уравнения Геллера в линейной форме:

$$\lg D_\lambda = \lg k - n \cdot \lg \lambda, \quad (7.16)$$

где: D_λ – оптическая плотность гидрозоля;

k – константа уравнения Геллера;

n – характеристика дисперсности гидрозоля;

λ – длина волны, м.

Для определения характеристики дисперсности n указанного гидрозоля построим графическую зависимость в координатах $\lg D_\lambda = f(x)$, которая представляет собой прямую с тангенсом угла наклона $\operatorname{tg} \alpha = -n$.

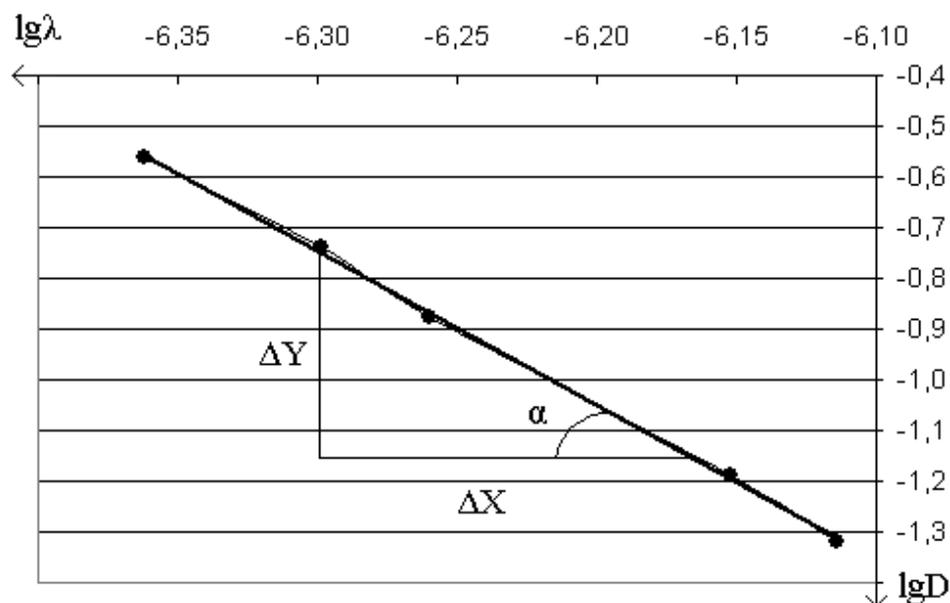


Рисунок 7.1 – Линейная форма уравнения Геллера

Из графика (рисунок 7.1): $\operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{BC} = -2.802$, следовательно:

$$n = -\operatorname{tg} \alpha = -(-2.802) = 2.802.$$

Для определения среднего радиуса частиц гидрозоля канифоли построим кривую Геллера: $n = f(d)$ по данным условия задачи (рисунок 7.2):

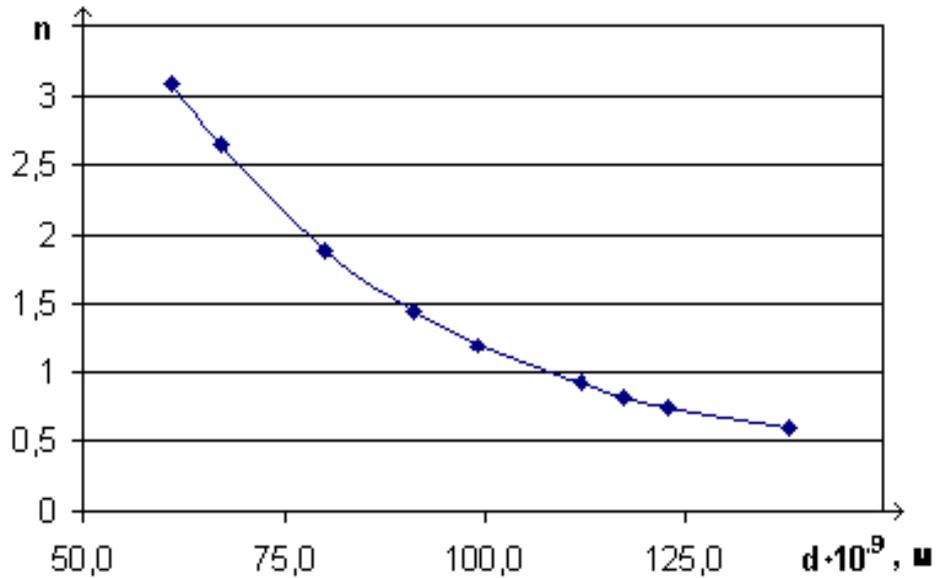


Рисунок 7.2 – Кривая Геллера

Затем по найденному значению характеристики дисперсности $n(x) = 2.802$ определим средний диаметр частиц гидрозоля с кривой Геллера (рисунок 7.1), равный $d(x) = 64 \cdot 10^{-9}$ м.

Тогда средний радиус частиц гидрозоля канифоли:

$$\bar{r}(x) = \frac{d(x)}{2} = \frac{64.0 \cdot 10^{-9}}{2} = 32.0 \cdot 10^{-9} \text{ м.}$$

Задача 4. При исследовании золя методом поточной ультрамикроскопии в объеме золя $V \text{ м}^3$, прошедшем через счетное поле ультрамикроскопа, подсчитано n частиц. Определить средний размер частиц \bar{r} .

Таблица 7.5 – Данные для расчета размера частиц методом поточной микроскопии

Золь	$V \cdot 10^{11}, \text{м}$	n	$C \cdot 10^6, \text{кг/м}^3$	$\rho \cdot 10^{-3}, \text{кг/м}^3$	Средний радиус $\bar{r}, \text{м}$ или ребро куба $\bar{l}, \text{м}$
Пылегазовая смесь	3.2	65	55.0	1.07	?

Решение: Средний размер частицы золя (радиус \bar{r} или ребро куба \bar{l}) в методе поточной ультрамикроскопии рассчитывается по формуле Дерягина - Власенко:

– для шаровидных частиц:
$$\bar{r} = \sqrt[3]{\frac{3}{4} \cdot \frac{C}{\pi \cdot \rho \cdot \nu^1}} \quad (7.6)$$

– для частиц кубической формы:
$$\bar{l} = \sqrt[3]{\frac{C}{\rho \cdot \nu^1}}, \quad (7.7)$$

где: $\nu^1 = \frac{V}{V}$ – численная (частичная) концентрация частиц, м^{-1} ;

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

ρ – плотность дисперсной фазы, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Рассчитаем численную (частичную) концентрацию коллоидных частиц:

$$\nu^1 = \frac{V}{V} = \frac{65}{3.2 \cdot 10^{-11}} = 20.31 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-1}$$

Рассчитаем средний радиус частиц золя с шаровидными частицами:

$$\bar{r} = \sqrt[3]{\frac{3}{4} \cdot \frac{55.0 \cdot 10^{-6}}{1.07 \cdot 10^3 \cdot 3.14 \cdot 20.31 \cdot 10^{11}}} = 1.821 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

Рассчитаем среднюю длину ребра куба \bar{l} частиц кубической формы данного гидрозоля:

$$\bar{l} = \sqrt[3]{\frac{55.0 \cdot 10^{-6}}{1.07 \cdot 10^3 \cdot 20.31 \cdot 10^{11}}} = 2.936 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Задача 5. Рассчитать оптическую плотность D , молярный коэффициент поглощения ε , если при турбидиметрическом исследовании белых гидрозолей были получены следующие экспериментальные данные (таблица 7.6). Сделать вывод о справедливости закона Бугера -Ламберта -Бера.

Таблица 7.6 – Данные для расчета оптической плотности

Золь	Концентр. золя, ω , %	Толщина поглощ. слоя, $1 \cdot 10^2$, м	Интенсивность прошедшего света J , %	Оптическая плотность D	Коэффициент поглощения, ε
Гидрозоль канифоли	0.60	2.5	27.0	?	?
	0.20	2.5	63.9		
	0.10	5.0	65.8		
	0.06	20.0	37.1		
	0.02	20.0	70.1		
	0.01	30.0	77.8		

Решение: Закон Бугера – Ламберта – Бера для белых золей имеет вид:

$$J = J_0 \cdot e^{-\varepsilon \cdot C \cdot l}, \quad (7.13)$$

где: J_0 и J – интенсивность падающего и поглощенного света;

ε – молярный коэффициент поглощения;

C – концентрация раствора, %;

l – толщина поглощающего слоя, м.

Оптическая плотность D золя и коэффициент поглощения монохроматического света ε определяются из логарифмической формы уравнения (7.13):

$$D = \lg \frac{J_0}{J} = \frac{\varepsilon \cdot C \cdot l}{2.303} \quad (7.14)$$

откуда:

$$\varepsilon = \frac{2.303 \cdot D}{C \cdot l} \quad (7.17)$$

Рассчитаем оптическую плотность D_i и молярный коэффициент поглощения ε_i для каждого из исследуемых растворов:

$D_1 = \lg \frac{100}{27.0} = 0.568;$	$\varepsilon_1 = \frac{2.303 \cdot 0.568}{0.60 \cdot 0.025} = 87.20$
$D_2 = \lg \frac{100}{63.9} = 0.194;$	$\varepsilon_2 = \frac{2.303 \cdot 0.194}{0.20 \cdot 0.025} = 89.35$
$D_3 = \lg \frac{100}{65.8} = 0.182;$	$\varepsilon_3 = \frac{2.303 \cdot 0.182}{0.10 \cdot 0.05} = 83.72$
$D_4 = \lg \frac{100}{37.1} = 0.431;$	$\varepsilon_4 = \frac{2.303 \cdot 0.431}{0.06 \cdot 0.20} = 82.72$
$D_5 = \lg \frac{100}{70.1} = 0.154;$	$\varepsilon_5 = \frac{2.303 \cdot 0.154}{0.02 \cdot 0.20} = 88.66$
$D_6 = \lg \frac{100}{77.87} = 0.109;$	$\varepsilon_6 = \frac{2.303 \cdot 0.109}{0.01 \cdot 0.30} = 83.67$

Поскольку в исследуемом интервале концентраций $\omega(\text{золя}) = 0,01 \div 0,60\%$ коэффициент поглощения $\varepsilon \sim$ одинаков (в пределах погрешности измерений), можно считать, что для данного золя закон Бугера – Ламберта – Бера выполняется.

Многовариантные задачи

Задача 1. Используя уравнение Рэлея, сравните интенсивности светорассеяния золя высокодисперсного полистирола, освещенного монохроматическим светом длиной волны λ_1 , а затем – с длиной волны λ_2 ($\alpha = 4$).

Таблица 7.7 – Данные для сравнения интенсивностей светорассеяния золь

Вариант	Монохроматическое излучение с длиной волны		Отношение интенсивностей светорассеяния $\frac{J(\lambda_1)}{J(\lambda_2)}$
	$\lambda_1 \cdot 10^9$, м	$\lambda_2 \cdot 10^9$, м	
1	680	420	?
2	540	420	?
3	650	400	?
4	600	420	?
5	580	450	?
6	550	380	?
7	465	512	?
8	390	512	?
9	420	540	?
10	420	650	?
11	420	580	?
12	440	660	?
13	650	450	?
14	450	650	?
15	412	528	?

Задача 2. Используя уравнение Рэлея, сравните интенсивности светорассеяния двух эмульсий органических жидкостей А и В в воде с равными радиусами частиц и равными численными концентрациями. Показатель преломления воды $n_0 = 1.33$.

Таблица 7.8 – Данные для сравнения интенсивностей светорассеяния золь

Вариант	Эмульсия в воде		Показатель преломления		Отношение интенсивностей светорассеяния $\frac{J(\lambda_1)}{J(\lambda_2)}$
	Жидкость А	Жидкость В	n(A)	n(B)	
1	2	3	4	5	6
1	пропанол-1	толуол	1.3854	1.4969	?
2	изобутанол	толуол	1.3958	1.4969	?

Продолжение таблицы 7.8

1	2	3	4	5	6
3	этиленгликоль	толуол	1.4318	1.4969	?
4	этанол	толуол	1.3613	1.4969	?
5	уксусная кислота	пропанол-1	1.3717	1.3854	?
6	бензол	н-гексан	1.5011	1.3751	?
7	бензол	н-октан	1.5011	1.3977	?
8	бензол	н-пентан	1.5011	1.3577	?
9	толуол	н-гексан	1.4969	1.3751	?
10	нитробензол	н-октан	1.5524	1.3977	?
11	нитробензол	н-гексан	1.5524	1.3751	?
12	нитробензол	н-пентан	1.5524	1.3577	?
13	этиленгликоль	бензол	1.4318	1.5404	?
14	этиленгликоль	бромбензол	1.4318	1.5601	?
15	метанол	толуол	1.3286	1.4969	?

Задача 3. На основании данных таблицы 7.9, полученных для частиц полистирольного латекса, построить калибровочную кривую Геллера зависимости характеристики дисперсности n от диаметра частиц латекса d .

Используя экспериментальные данные, приведенные в таблице 7.10 для оптической плотности $D = f(\lambda)$ указанного золя, определить \bar{r} – средний радиус частиц гидрозоль канифоли.

Таблица 7.9 – Данные для построения кривой Геллера

Диаметр $d \cdot 10^9, \text{м}$	77.0	88.0	95.0	106.0	111.0	119.0	132.0	139.0	143.0	158.0	167.0	189.0
n	3.92	3.64	3.54	3.30	3.23	3.04	2.82	2.72	2.66	2.45	2.36	2.14

Таблица 7.10 – Данные для расчета радиуса коллоидных частиц

Длина волны $\lambda \cdot 10^9, \text{м}$	Вариант	Оптическая плотность D			
		1	2	3	
415		0.195	0.474	0.324	
485		0.127	0.329	0.215	
527		0.099	0.259	0.160	
685		0.48	0.133	0.084	

Продолжение таблицы 7.10

398 501 573 617	Вариант	4	5	6	7
		0.148	0.199	0.316	0.263
		0.125	0.158	0.281	0.199
		0.100	0.126	0.251	0.112
		0.063	0.100	0.199	0.100
400 440 490 540 582 630	Вариант	8	9	10	11
		0.562	0.975	0.795	-
		0.414	0.704	0.566	0.405
		0.289	0.518	0.382	0.336
		0.207	0.387	0.267	0.266
		0.159	0.306	0.202	0.221
		0.120	0.237	0.150	0.180
419 492 547 583 636	Вариант	12	13	14	15
		0.398	0.758	0.718	0.465
		0.280	0.501	0.625	0.270
		0.223	0.398	0.281	0.186
		0.199	0.316	0.251	0.150
		0.158	0.251	0.199	0.108

Задача 4. При исследовании золя методом поточной ультрамикроскопии Дерягина-Власенко в объеме золя $V \text{ м}^3$, протекшем через счетное поле микроскопа, подсчитано ν частиц. Определить средний размер частиц:

Таблица 7.11 – Данные для расчета размера частиц методом поточной микроскопии

Вариант	Золь	Объем золя $V \cdot 10^{11}, \text{м}^3$	Число частиц ν	Концентрация. $C \cdot 10^6, \text{кг/м}^3$	Плотность частиц $\rho \cdot 10^{-3}, \text{кг/м}^3$	Средний радиус $\bar{r}, \text{м}$ или ребро куба $\bar{l}, \text{м}$
1	2	3	4	5	6	7
1	масляный туман	1.33	50	25	0.9	\bar{r}
2	гидрозоль серы	2.0	100	65	1.0	\bar{r}
3	водяной туман	3.0	60	15	1.0	\bar{r}
4	гидрозоль золота	1.6	70	7	19.3	\bar{l}
5	дым мартен. печи	2.0	80	100	2.0	\bar{l}
6	гидрозоль As_2S_3	3.5	65	80	1.2	\bar{r}
7	пылегазовая смесь	4.0	50	16	1.08	\bar{r}

Продолжение таблицы 7.11

1	2	3	4	5	6	7
8	туман HCl	2.5	80	12	1.14	\bar{r}
9	гидрозоль берлин. лазури	6.0	70	1.15	1.15	\bar{r}
10	гидрозоль Fe(OH) ₃	2.0	45	1.30	1.08	\bar{l}
11	дым коксовой батареи	2.2	87	100	2.0	\bar{r}
12	гидрозоль латекса	2.2	63	12.5	0.67	\bar{r}
13	гидрозоль мастики	2.2	45	2.2	0.89	\bar{r}
14	дым дуговой сварки	2.2	58	100	1.21	\bar{r}
15	дым NH ₄ Cl	2.2	72	25.0	1.01	\bar{l}

Задача 5. Рассчитать оптическую плотность D , коэффициент поглощения ε , если при турбидиметрическом исследовании белых гидрозолей были получены экспериментальные данные (таблица 7.12). Сделать вывод о справедливости закона Бугера-Ламберта-Бера.

Таблица 7.12 – Данные для расчета оптической плотности

Вариант	Золь	Концентрация золя, ω , %	Толщина слоя, $l \cdot 10^2$, м	Интенсивность прошедшего света J , %	Оптическая плотность D	Коэффициент поглощения, ε
1	2	3	4	5	6	7
1	золь мастики	0.60	2.5	3.1	?	?
		0.20	2.5	29.4		
		0.08	20	2.6		
		0.04	20	15.9		
2	Fe(OH) ₃	0.20	2.5	1.7	?	?
		0.10	2.5	11.8		
		0.08	2.5	18.6		
		0.04	5.0	18.2		
		0.02	5.0	43.0		
3	латекс	0.8	2.0	38.2	?	?
		0.5	2.5	47.2		
		0.4	3.0	48.6		
		0.3	5.0	40.7		
		0.2	10.0	30.0		

Продолжение таблицы 7.12

1	2	3	4	5	6	7
4	золь гликогена	0.270	2.5	92.5	?	?
		0.265	5.0	85.5		
		0.265	10.0	73		
		0.250	15.0	64		
		0.200	20.0	55		
5	золь канифоли	0.50	0.14	92.5	?	?
		0.40	0.35	85.5		
		0.30	0.90	73		
		0.20	2.0	64		
		0.10	5.0	55		
6	золь серы	1.00	2.5	14.4	?	?
		0.60	2.5	27.0		
		0.20	2.5	63.9		
		0.10	5.0	65.8		
		0.06	20.0	37.1		
		0.02	20.0	70.1		
		0.01	30.0	77.8		
7	гидрозоль серы	0.60	2.0	7.10	?	?
		0.40	2.5	7.75		
		0.20	3.0	9.08		
		0.10	5.0	14.65		
		0.05	20.0	20.0		
8	гидрозоль свинца	1.0	1.0	90.0	?	?
		0.80	2.0	84.6		
		0.60	2.5	85.4		
		0.40	3.0	88.2		
		0.20	5.0	90.0		
9	гидрозоль MnO ₂	10.0	1.0	59.1	?	?
		8.0	2.0	43.2		
		6.0	4.0	38.9		
		4.0	5.0	35.0		
		2.0	10.0	36.0		
10	гидрозоль бентонита	0.26	2.0	90	?	?
		0.32	2.5	85		
		0.48	4.0	75		
		0.51	5.0	60		
		0.53	10.0	50		
11	золь канифоли	0.230	2.0	85	?	?
		0.255	2.5	80		
		0.275	4.0	75		
		0.205	5.0	70		
		0.125	10.0	65		

Продолжение таблицы 7.12

1	2	3	4	5	6	7
12	золь $\text{Al}(\text{OH})_3$	0.86	1.0	65	?	?
		0.51	2.0	60		
		0.48	2.5	55		
		0.28	5.0	50		
		0.32	5.0	45		
13	золь SiO_2	0.53	1.0	80	?	?
		0.61	2.0	60		
		0.80	2.5	40		
		0.80	5.0	20		
14	золь кремниевой кислоты H_2SiO_3	1.10	5.0	10	?	?
		0.62	2.0	80		
		0.79	2.5	70		
		0.71	4.0	60		
		0.77	5.0	50		
15	золь $\text{Zn}(\text{OH})_2$	0.51	10.0	40	?	?
		1.48	1.0	69		
		1.05	2.0	59		
		0.95	3.0	49		
		0.75	5.0	39		
		0.50	10.0	29		
0.44	15.0	19				

Контрольные вопросы

1. Рассчитать средний радиус частиц гидрозоля латекса полистирола, пользуясь данными, полученными с помощью нефелометра: высота освещенной части стандартного золя $h_1 = 8 \cdot 10^{-3}$ м; средний радиус частиц $\bar{r} = 88 \cdot 10^{-3}$, м. Высота освещенной части неизвестного золя $h_2 = 18 \cdot 10^{-3}$, м. Концентрации стандартного и неизвестного золь считать одинаковыми.

2. С помощью нефелометра сравнивались мутности двух гидрозолей мастики различных концентраций. Получены следующие экспериментальные данные: мутности определяемого и стандартного золь стали одинаковыми при высоте освещенной части первого золя $h_1 = 5.0 \cdot 10^{-3}$, м и второго золя $h_2 = 19.0 \cdot 10^{-3}$, м. Средний радиус частиц стандартного золя $\bar{r} = 120 \cdot 10^{-9}$, м. Определить радиус частиц второго золя.

3. Свет с длиной волны 540 нм и начальной интенсивностью J_0 проходит через слой эмульсии тетралина в воде толщиной: а) 5 см;

б) 10 см; в) 15 см; г) 20 см. Рассчитайте долю прошедшего света $\frac{J_i}{J_0}$ и

постройте график зависимости ее от радиуса частиц дисперсной фазы, изменяющегося в результате коалесценции от 10 до 50 нм. Содержание дисперсной фазы 0,05 % (масс), показатель преломления тетралина и воды $n_1 = 1.540$; $n_0 = 1.333$ соответственно.

4. Используя уравнение Рэлея, рассчитайте, как изменится интенсивность светорассеяния золя серы в воде, если раздробить частицы серы в 10; 100 и 1000 раз.

5. Какие оптические методы используются для определения размеров частиц дисперсной фазы?

6. От каких факторов зависит поглощение света окрашенными растворами? Что называется оптической плотностью?

7. В чем состоит отличие метода ультрамикроскопии от электронной микроскопии? Какой из методов является более чувствительным? Почему?

8. Чем объясняется мутность дисперсных систем?

9. Какой оптический метод основан на измерении мутности дисперсных систем?

6 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 6 АГРЕГАТИВНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ.

При изучении раздела «Агрегативная устойчивость дисперсных систем» бакалавр приобретает следующие компетенции: ОК-7, ОПК1, ОПК-3. Он стремится к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства, овладевает способностью приобретать новые знания в области естественных наук; готовностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы теоретического и экспериментального исследования; использовать знания о строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы; использовать знания о природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире; планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения; способен использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности.

Взаимодействие коллоидных частиц

Лиофобные коллоидные системы, обладающие избытком поверхностной энергии, являются агрегативно неустойчивыми.

Устойчивость дисперсных систем определяется балансом энергии притяжения и отталкивания частиц дисперсной фазы:

$$U(n) = U_{\text{э}} + U_{\text{м}}, \quad (6.1)$$

где: $U(n)$ - суммарная энергия межмолекулярного взаимодействия, Дж

$U_{\text{э}}$ – энергия электростатического отталкивания, Дж

$U_{\text{м}}$ – энергия молекулярного притяжения, Дж.

Энергия притяжения дисперсных частиц, обусловленная межмолекулярными силами взаимодействия, обратно пропорциональна

расстоянию между частицами. Для сферических частиц радиусом r рассчитывается по формуле Гамакера и зависит от расстояния h между дисперсными частицами:

$$\text{-для } h < 5 \cdot 10^{-8} \text{ м:} \quad U_m = -\frac{A \cdot r}{12 \cdot h} \quad (6.2)$$

$$\text{-для } h > 5 \cdot 10^{-8} \text{ м:} \quad U_m = -\frac{A \cdot r}{12 \cdot h^2} \quad (6.3)$$

Силы отталкивания (положительное расклинивающее давление по Дерягину-Ландау) складываются из 2-х основных составляющих:

- электростатической, связанной с электростатическим отталкиванием, возникающим при перекрывании одинаково заряженных ДЭС взаимодействующих дисперсных частиц (при $h < 2r_i$);

- структурной или сольватационной, обусловленной особо ориентированной структурой сольватных слоев на поверхности частиц дисперсной фазы.

Согласно теории Дерягина-Ландау, энергия отталкивания дисперсных частиц убывает с расстоянием между частицами по экспоненциальной зависимости, и определяется величиной потенциала диффузионного слоя φ_δ :

$$\text{- для слабо заряженных частиц с } \varphi_\delta < 25 \text{ мВ-} \quad U_s = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \varphi_\delta^2 \cdot \ln(1 + e^{-\alpha h}) \quad (6.4)$$

$$\text{- для сильно заряженных частиц с } \varphi_\delta > 80 \text{ мВ-} \quad U_s = 32 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \left(\frac{k \cdot T}{z \cdot e} \right)^2 \cdot e^{-\alpha h}, \quad (6.5)$$

где: φ_δ – электрический потенциал диффузного слоя, В;

α – величина, обратная толщине диффузионного слоя, м^{-1} ;

h – расстояние между частицами, м;

A – константа Гамакера;

ε – диэлектрическая проницаемость дисперсионной среды.

Взаимодействие двух частиц дисперсной фазы принято характеризовать с помощью потенциальных кривых, представляющих собой графическую

зависимость суммарной энергии взаимодействия частиц от расстояния:

$U_{(n)}=f(h)$ (рисунок 6.1):

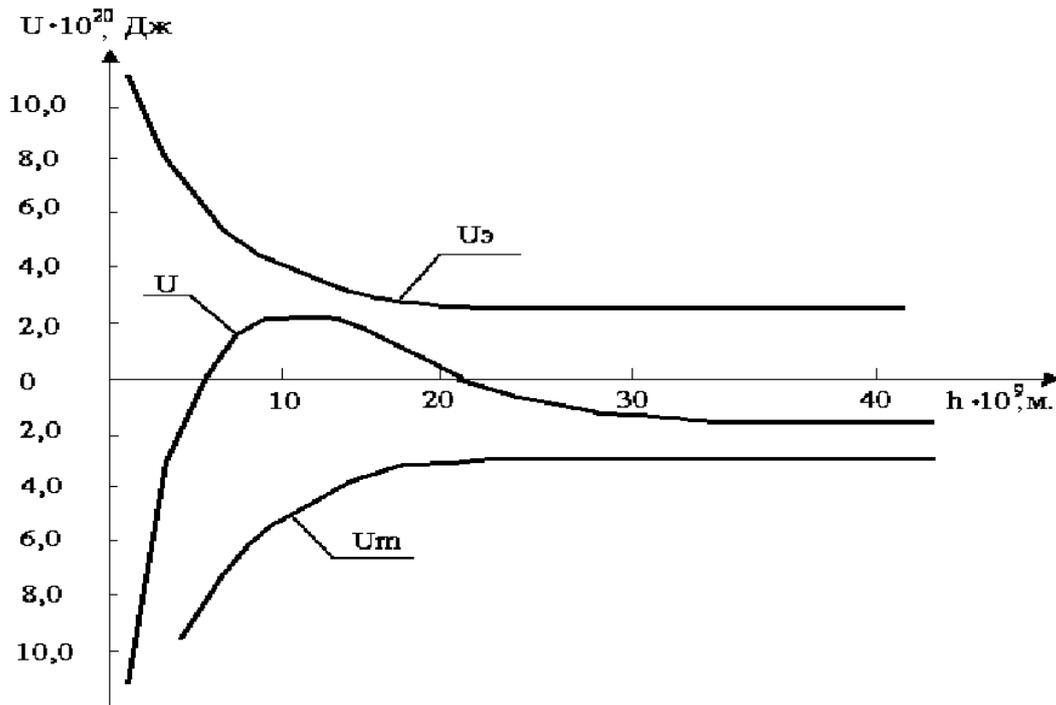


Рисунок 6.1 – Потенциальные кривые взаимодействия коллоидных частиц

Решение типовых задач

Задача 1. Рассчитать и построить потенциальную кривую взаимодействия сферических коллоидных частиц диаметром 200 нм в водном растворе NaCl, если потенциал $\varphi_\delta = 20$ мВ, константа Гамакера $A=0,5 \cdot 10^{-19}$ Дж; параметр $\alpha = 1,0 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$, температура $T=293$ К. Значения суммарной энергии взаимодействия частиц определить при следующих расстояниях между частицами: $h = 2; 5; 10; 20; 40$ нм.

Решение: Согласно теории Дерягина-Ландау, для слабозаряженных поверхностей и малых значений $h < 50$ нм суммарная энергия взаимодействия между двумя частицами радиусом r рассчитывается по уравнению:

$$U(n) = U_\varepsilon + U_m = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \varphi_\delta^2 \cdot \ln(1 + e^{-\alpha h}) - \frac{A \cdot r}{12 \cdot h},$$

где: U_ε – энергия отталкивания частиц, Дж

U_m – энергия притяжения частиц, Дж.

Рассчитаем радиус частиц: $r = \frac{d}{2} = \frac{200 \cdot 10^{-9}}{2} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$

Для расстояния между частицами $h = 2 \cdot 10^{-9} \text{ м.}$

Энергия притяжения частиц U_m будет равна:

$$U_m = -\frac{A \cdot r}{12 \cdot h} = -\frac{0.5 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^{-7}}{12 \cdot 2 \cdot 10^{-9}} = -20.83 \cdot 10^{-20} \text{ Дж.}$$

Энергия отталкивания частиц $U_{\text{э}}$ будет равна:

$$U_{\text{э}} = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r \cdot \varphi_{\delta}^2 \cdot \ln(1 + e^{-ae \cdot h})$$

$$U_{\text{э}} = 2 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 81 \cdot 1 \cdot 10^{-7} \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2 \cdot \ln(1 + 2.718^{-1 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^9})$$

$$= 10.77 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

Суммарная энергия взаимодействия частиц при $h = 2 \cdot 10^{-9} \text{ м}$ будет равна:

$$U(h = 2 \cdot 10^{-9}) = U_{\text{э}} + U_m = 10.77 \cdot 10^{-20} - 20.83 \cdot 10^{-20} = -10.06 \cdot 10^{-20} \text{ Дж. Аналогично}$$

рассчитаем энергию взаимодействия частиц радиусом

$r = 1 \cdot 10^{-7} \text{ м}$ при других расстояниях h :

Для расстояния между частицами $h = 5.0 \cdot 10^{-9} \text{ м.}$

$$U_m = -\frac{0.5 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^{-7}}{12 \cdot 5 \cdot 10^{-9}} = -8.33 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

$$U_{\text{э}} = 2 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 81 \cdot 1 \cdot 10^{-7} \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2 \cdot \ln(1 + 2.718^{-1 \cdot 10^8 \cdot 5 \cdot 10^9})$$

$$= 8.54 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

$$U(h = 5 \cdot 10^{-9}) = 8.54 \cdot 10^{-20} - 8.33 \cdot 10^{-20} = 0.21 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

Для расстояния между частицами $h = 10 \cdot 10^{-9} \text{ м.}$

$$U_m = -\frac{0.5 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^{-7}}{12 \cdot 10 \cdot 10^{-9}} = -4.16 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

$$U_{\text{э}} = 2 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 81 \cdot 1 \cdot 10^{-7} \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2 \cdot \ln(1 + 2.718^{-1 \cdot 10^8 \cdot 10 \cdot 10^9})$$

$$= 5.64 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

$$U(h = 10 \cdot 10^{-9}) = 5.64 \cdot 10^{-20} - 4.16 \cdot 10^{-20} = 1.48 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

Для расстояния между частицами $h = 20 \cdot 10^{-9} \text{ м}$

$$U_m = -\frac{0.5 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^{-7}}{12 \cdot 20 \cdot 10^{-9}} = -2.08 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

$$U_s = 2 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 81 \cdot 1 \cdot 10^{-7} \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2 \cdot \ln(1 + 2.718^{-1 \cdot 10^8 \cdot 20 \cdot 10^9})$$

$$= 2.28 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

$$U(h = 20 \cdot 10^{-9}) = 2.28 \cdot 10^{-20} - 2.08 \cdot 10^{-20} = 0.20 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

Для расстояния между частицами $h = 40 \cdot 10^{-9} \text{ м}$.

$$U_m = -\frac{0.5 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^{-7}}{12 \cdot 40 \cdot 10^{-9}} = -1.04 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

$$U_s = 2 \cdot 3.14 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 81 \cdot 1 \cdot 10^{-7} \cdot (2 \cdot 10^{-2})^2 \cdot \ln(1 + 2.718^{-1 \cdot 10^8 \cdot 40 \cdot 10^9}) = 0.32 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

$$U(h = 40 \cdot 10^{-9}) = 0.32 \cdot 10^{-20} - 1.04 \cdot 10^{-20} = -0.72 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$$

По расчетным значениям построим графические зависимости:

- 1- энергии притяжения от расстояния между частицами: $U_m = f(h)$;
- 2- энергии отталкивания от расстояния между частицами: $U_s = f(h)$;
- 3- потенциальную кривую суммарной энергии взаимодействия от расстояния между частицами: $U = f(h)$ (рисунок 6.1).

Многовариантные задачи

Задача 1. По данным таблицы рассчитать отмеченную знаком «?» энергию взаимодействия между коллоидными частицами. Построить графическую зависимость:

- а) энергии притяжения от расстояния между частицами: $U_m = f(h)$;
- б) энергии отталкивания от расстояния между частицами: $U_s = f(h)$;
- в) потенциальную кривую суммарной энергии взаимодействия от расстояния между частицами: $U = f(h)$ (рисунок.6.1).

Таблица 6.3 - Данные для расчета энергии взаимодействия коллоидных частиц

Вариант	Радиус частиц, $r \cdot 10^9, \text{ м}$	Потенциал диффузной поверхности, $\varphi_s \cdot 10^3, \text{ В}$	Константа Гамакера $A \cdot 10^{19}, \text{ Дж}$	Параметр $\alpha \cdot 10^{-8}, \text{ м}^{-1}$	Температура $T, \text{ К}$	Диэлектрич. проницаемость среды ϵ	Расст. между частиц. $h \cdot 10^9, \text{ м}$	Энергия притяжения $U_m \cdot 10^{20}, \text{ Дж}$	Энергия отталкивани $U_s \cdot 10^{20}, \text{ Дж}$	Сумм. энергия взаим., $U \cdot 10^{20}, \text{ Дж}$
---------	--	--	--	---	----------------------------	--	--	--	---	---

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	20.0	-	2.0	-	298	-	5 10 20 50 75 100	?	-	-
2	100	-	2.0	-	293	-	5 10 15 20 50	?	-	-
3	50		0.5	-	288	-	2 5 10 15 20	?	-	-
4	100	20	-	2.0	300	77.8	5 10 20 30 50	-	?	-

Продолжение таблицы 6.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
5	50	30	-	1.5	293	80.1	5 10 20 30 50	-	?	-
6	100	30	-	1 2 4 5 10	298	78.2	20	-	?	-
7	20	40	-	2.0	293	80.1	1 2 5 10 15	-	?	-
8	50	10	1.25	2.5	293	80.1	5 8 10 15 20	?	?	?
9	100	20	0.5	0.5	273	87.8	5 10 20	?	?	?

							30 50			
10	200	30	3.5	2.0	300	80.1	5 10 15 30 50	?	?	?
11	200	20	0.5	1.0	293	81.0	2 5 10 20 40	?	?	?
12	200	-	1.2	-	293	-	2 5 10 20 40	?	-	-
13	50	-	2.5	-	298	-	5 10 15 20 40	?	-	-

Продолжение таблицы 6.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14	50	30	-	3.0	300	81.0	5 10 15 20 30	-	?	-
15	200	20	-	2	303	80.1	0 5 15 25 35 45	-	?	-

7 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 7. КОАГУЛЯЦИЯ

При изучении раздела «Коагуляция» бакалавр приобретает следующие компетенции: ОК-7, ОПК-1, ОПК-3. Он стремится к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства, овладевает способностью приобретать новые знания в области естественных наук; готовностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности,

применять методы теоретического и экспериментального исследования; использовать знания о строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы; использовать знания о природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире; планировать и проводить физические и химические эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения; способен использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности

Процессом коагуляции называется нарушение агрегативной устойчивости дисперсных систем за счет слипания (слияния) коллоидных частиц в более крупные агрегаты.

Коагуляция в дисперсных системах может быть вызвана рядом факторов: повышением температуры, механическим встряхиванием, центрифугированием и, чаще всего, – введением стороннего электролита.

Различают два типа электролитной коагуляции:

- а) нейтрализационную, происходящую в результате снижения поверхностного потенциала частиц φ_0 ;
- б) концентрационную, протекающую вследствие сжатия диффузной части двойного электрического слоя (при неизменном потенциале поверхности частиц дисперсной фазы).

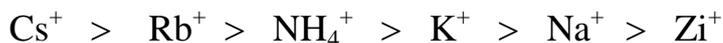
Нейтрализационная электролитная коагуляция характерна для дисперсных систем, содержащих слабо заряженные частицы; концентрационная – для сильно заряженных коллоидных частиц.

Основные закономерности электролитной концентрационной коагуляции носят название «правил Шульце – Гарди»:

1. Коагулирующий ион стороннего электролита должен иметь заряд, противоположный заряду гранулы разрушаемого золя.

2. Коагулирующая сила иона–коагулятора тем выше, чем больше его заряд.

3. Коагулирующая сила ионов одного заряда выражается лиотропными рядами, в которых ионы располагаются в соответствии с их поляризуемостью и степенью сольватации, т.е.



4. Электролит – коагулянт должен быть добавлен в концентрации не ниже порога коагуляции, под которым понимается минимальная или критическая концентрация электролита, вызывающая коагуляцию данного золя.

Согласно эмпирическому правилу Шульце-Гарди (обоснованному расчетами Дерягина – Ландау), порог коагуляции Π или Скр. обратно пропорционален заряду Z иона – коагулятора в шестой степени, т.е.

$$\Pi = C_{\text{кр}} = \frac{A}{Z^6}, \quad (6.6)$$

где: $\Pi = \text{Скр.}$ – порог коагуляции иона–коагулятора, моль/ дм³; моль/м³.

Z – заряд коагулирующего иона;

A – константа коагуляции.

Расчетной формулой для определения порога коагуляции является:

$$\Pi = C_{\text{кр}} = \frac{V_{\text{э}} \cdot C \left(\frac{1}{Z} \text{Э} \right)}{V + V_{\text{э}}}, \quad (6.7)$$

где: V – объем коагулируемого золя, м³;

$V_{\text{э}}$ – объем электролита-коагулянта, м³;

$C \left(\frac{1}{Z} \cdot \text{Э} \right)$ – молярная концентрация эквивалента электролита – коагулянта, моль/ дм³; моль/м³.

7.1 Кинетика коагуляции

В зависимости от концентрации добавленного электролита-коагулянта процесс коагуляции протекает по быстрому или медленному типу. Кинетика быстрой коагуляции описывается уравнением Смолуховского, позволяющим рассчитать общее число частиц в единице объема золя v_τ к моменту времени коагуляции τ по уравнению:

$$v_\tau = v_0 \cdot \frac{1}{1 + \frac{\tau}{\theta}}, \quad (6.8)$$

где: v_0 – начальное число частиц в единице объема золя, при $\tau=0$;

τ – время коагуляции, с;

θ – время половинной коагуляции, т.е. время, за которое начальное число частиц в дисперсной системе v_0 уменьшается в 2 раза, т.е. $v_\theta = \frac{v_0}{2}$.

Уравнение Смолуховского (6.8) используется при графическом определении времени половинной коагуляции по экспериментальной зависимости числа частиц в единице объема золя от времени коагуляции, т.е. $v_\tau = f(\tau)$. В этом случае уравнение Смолуховского применяется в линейной форме:

$$\frac{v_0}{v_\tau} = 1 + \frac{1}{\theta} \cdot \tau, \quad (6.9)$$

которая представляет собой уравнение прямой в координатах

$\frac{v_0}{v_\tau} = f(\tau)$ (рисунок 6.2). Время половинной коагуляции θ определяется

по тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс, который равен: $\operatorname{tg}\alpha = \frac{1}{\theta}$.

Откуда: $\theta = \frac{1}{\operatorname{tg}\alpha}$.

Теория коагуляции Смолуховского позволяет рассчитать число коллоидных частиц любой кратности v_m в момент времени τ от начала коагуляции:

$$v_m = v_0 \cdot \frac{\left(\frac{\tau}{\theta}\right)^{m-1}}{\left[1 + \frac{\tau}{\theta}\right]^{m+1}}, \quad (6.10)$$

где: v_m — число коллоидных частиц $m=2,3,4$ кратности

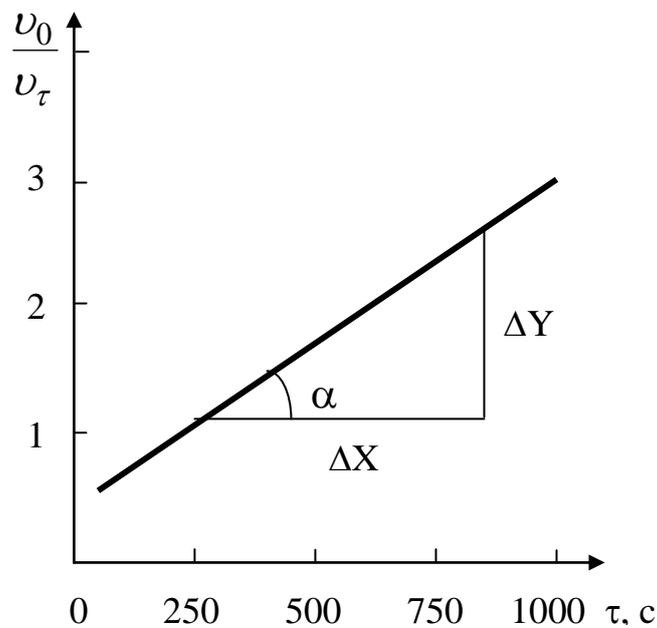


Рисунок 6.2 – Линейная форма уравнения быстрой коагуляции Смолуховского

Время половинной коагуляции θ служит для расчета основной кинетической характеристики процесса быстрой коагуляции – константы скорости коагуляции:

$$K_{\theta}^{\text{эксн}} = \frac{1}{\theta \cdot v_0} \quad (6.11)$$

В свою очередь, константа скорости быстрой коагуляции зависит от характеристик дисперсной среды:

$$K_{\delta}^{теор} = \frac{4 \cdot k \cdot T}{3 \cdot \eta}, \quad (6.12)$$

где: η – вязкость дисперсной среды, Па·с ;

k – постоянная Больцмана, Дж/К.

При недостаточной концентрации электролита-коагулянта, потенциальный барьер коагуляции не может быть преодолен большим количеством коллоидных частиц, не все соударения частиц эффективны, и происходит медленная коагуляция. Связь между константами скорости коагуляции по быстрому и медленному типу выражается уравнением:

$$K = K_{\delta} \cdot P \cdot e^{-\frac{\Delta E}{R \cdot T}}, \quad (6.13)$$

где: K – константа скорости медленной коагуляции, м/с;

K_{δ} – константа скорости быстрой коагуляции м/с;

P – стерический множитель, учитывающий благоприятное расположение частиц при столкновении;

ΔE – потенциальный барьер коагуляции, Дж/моль.

Решение типовых задач

Задача 1. Используя уравнение Смолуховского, по данным таблицы 6.1:

- построить кривую изменения общего числа частиц во времени при коагуляции гидрозоля А;
- определить графическим методом время половинной коагуляции золя θ ;
- определить константу скорости быстрой коагуляции графическим путем и сравнить ее с расчетным теоретическим значением;
- рассчитать число частиц 2-,3-,4-й кратности к моменту времени $\tau=60$ с.

Таблица 6.1 – Данные для расчета кинетики коагуляции гидрозоля А

Гидрозоль А	Количество частиц в 1 м ³ золя $\nu \cdot 10^{-14}$	Время коагуляции $\tau, \text{с}$	Вязкость среды, $\eta \cdot 10^3$ Па·с	Темпе- ратура, Т,К	$\frac{\nu_0}{\nu_\tau}$
Гидрозоль каолина	5.22 4.35 3.63 2.31 1.48	0 60 120 420 900	1.0	300	- 1.200 1.438 2.260 3.527

Решение: По условию задачи построим кривую изменения общего числа частиц во времени при коагуляции гидрозоля каолина в координатах: $\nu = f(\tau)$ (рисунок 6.3):

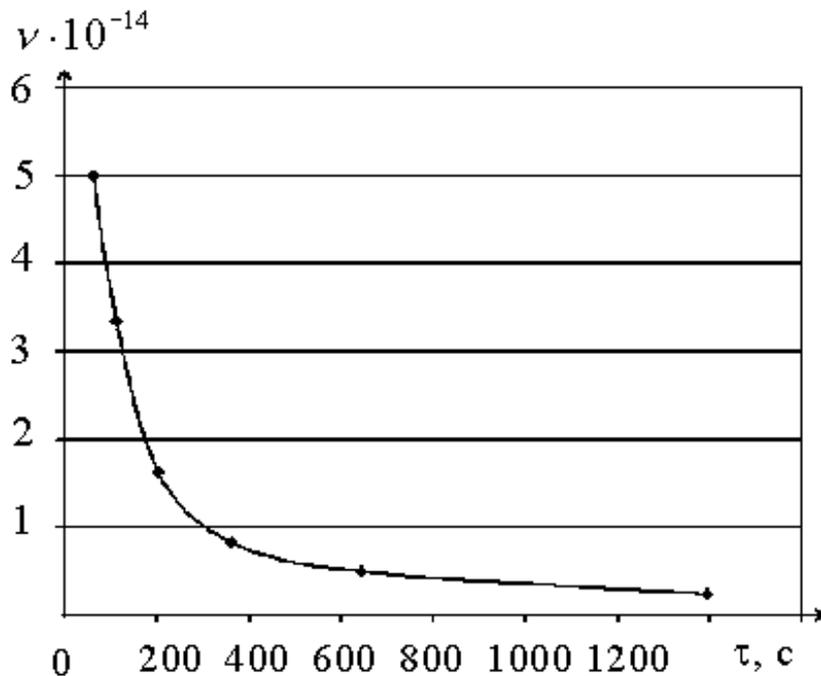


Рисунок 6.3 – Зависимость числа коллоидных частиц в системе от времени коагуляции

Для определения времени половинной коагуляции золя θ и константы скорости быстрой коагуляции K графическим путем воспользуемся линейной формой уравнения Смолуховского:

$$\frac{\nu_0}{\nu_\tau} = 1 + \frac{1}{\theta} \cdot \tau \quad (6.9)$$

Поскольку линейная форма уравнения Смолуховского представляет собой уравнение прямой линии в координатах $\frac{V_0}{V_\tau} = f(\tau)$, из условия задачи рассчитаем отношение $\frac{V_0}{V_\tau}$ и занесем рассчитанные значения в таблицу 6.1.

Построим графическую зависимость $\frac{V_0}{V_\tau} = f(\tau)$ (рисунок 6.4):

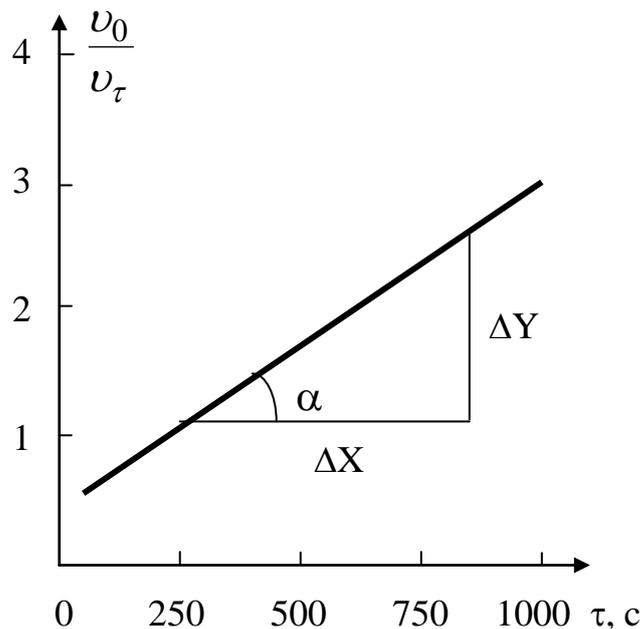


Рисунок 6.4 – Линейная форма уравнения быстрой коагуляции Смолуховского

Время половинной коагуляции θ определяется по тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс, который равен: $\operatorname{tg} \alpha = 1/\theta$. Откуда: $\theta = 1/\operatorname{tg} \alpha$.

$$\text{Из графика: } \operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\theta_{\text{граф}}} = \frac{3.86 - 1.20}{1000 - 60} = 0.00283 \text{ c}^{-1}.$$

Следовательно, время половинной коагуляции данного гидрозоля А :

$$\theta_{\text{граф}} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{1}{0.00283} = 353.36 \text{ c}.$$

По экспериментально установленному значению $\theta_{\text{граф}}$ рассчитаем константу скорости быстрой коагуляции по формуле (6.11):

$$K^{граф} = \frac{1}{\theta^{граф} \cdot v_0} = \frac{1}{353.36 \cdot 5.22 \cdot 10^{14}} = 5.421 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Теоретическое значение константы быстрой коагуляции рассчитаем по формуле (6.12):

$$K^{теор} = \frac{4 \cdot k \cdot T}{3 \cdot \eta} = \frac{4 \cdot 1.38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{3 \cdot 1.0 \cdot 10^{-3}} = 5.520 \cdot 10^{-18} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Вывод: Экспериментально установленное значение константы коагуляции $K^{граф}$ удовлетворительно совпадает с теоретически рассчитанным значением $K^{теор}$, поэтому можно считать, что коагуляция гидрозоль канифоли в данных условиях является быстрой.

Число частиц заданной кратности ($m = 2,3,4$) при времени коагуляции $\tau = 60\text{с}$ рассчитаем по уравнению Смолуховского (6.10):

$$v_2 = v_0 \cdot \frac{\left(\frac{\tau}{\theta}\right)^{m-1}}{\left[1 + \frac{\tau}{\theta}\right]^{m+1}} = 5.22 \cdot 10^{14} \cdot \frac{\left(\frac{60}{353.36}\right)^{2-1}}{\left[1 + \frac{60}{353.36}\right]^{2+1}} = 5.53 \cdot 10^{13} \text{ част}/\text{м}^3$$

$$v_3 = 5.22 \cdot 10^{14} \cdot \frac{\left(\frac{60}{353.36}\right)^{3-1}}{\left[1 + \frac{60}{353.36}\right]^{3+1}} = 8.03 \cdot 10^{12} \text{ част}/\text{м}^3$$

$$v_4 = 5.22 \cdot 10^{14} \cdot \frac{\left(\frac{60}{353.36}\right)^{4-1}}{\left[1 + \frac{60}{353.36}\right]^{4+1}} = 1.16 \cdot 10^{12} \text{ част}/\text{м}^3 .$$

Задача 3. На коагуляцию гидрозоль AgJ из $1,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$ сточных вод потребовалось $8,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ 10 %-го раствора NaCl ($\rho = 1,07 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$).

Рассчитать: а) порог коагуляции золь AgJ по NaCl ; б) рассчитать расход 28%-го раствора $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ($\rho = 1,30 \cdot 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$) для извлечения AgJ из 100 м^3 сточной воды при положительном заряде коллоидных частиц AgJ .

Решение: Количество молей вещества NaCl в объеме электролита $8,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3$ 10%-го NaCl равно:

$$n(\text{NaCl}) = \frac{V_3 \cdot \rho(\text{NaCl}) \cdot \omega(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{8.04 \cdot 10^{-4} \cdot 1.07 \cdot 10^3 \cdot 0.10}{58.5 \cdot 10^{-3}} = 1.46 \text{ моль}$$

Отсюда: порог коагуляции $C_{кр}(\text{NaCl})$ будет равен:

$$C_{кр}(\text{NaCl}) = \frac{n(\text{NaCl})}{V + V(\text{NaCl})} = \frac{1.46}{1.0 \cdot 10^{-2} + 8.0 \cdot 10^{-4}} = 135 \text{ моль/м}^3. \text{ Поскольку}$$

частицы AgJ заряжены положительно, ионом-коагулятором в $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ будут анионы SO_4^{2-} ($Z=2$).

Согласно правилам коагуляции Шульце-Гарди:

$$C_{кр}(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{C_{кр}(\text{NaCl})}{2^6} = \frac{135}{64} = 2.12 \text{ моль/м}^3.$$

Следовательно, для коагуляции AgJ из 100 м^3 сточной воды потребуется количество молей иона-коагулятора, равное:

$$n(\text{SO}_4^{2-}) = 2.12 \cdot 100 = 212 \text{ моль}$$

Соответственно масса $m[\text{Al}(\text{SO}_4)_3]$, содержащая такое количество иона-коагулятора, равна:

$$m[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] = \frac{n(\text{SO}_4^{2-}) \cdot M[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]}{3} = \frac{212 \cdot 342 \cdot 10^{-3}}{3} = 24.16 \text{ кг.}$$

Рассчитанная масса коагулянта содержится в объеме 28 %-го раствора $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$:

$$V[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] = \frac{m[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3] \cdot 100}{\rho(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) \cdot \omega(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)} = \frac{24.16 \cdot 100}{28 \cdot 1.30 \cdot 10^3} = 6.65 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3.$$

Задача 4. Для коагуляции 10 дм^3 сточной воды, содержащей As_2S_3 требуется $1,0 \text{ дм}^3$ 25%-го раствора NaCl плотностью $\rho(\text{NaCl})=1,10 \text{ г/см}^3$.

Расчитать порог коагуляции данного золя по NaCl .

Решение: Определим молярную концентрацию эквивалента 25% -го раствора NaCl :

$$C\left(\frac{1}{Z} \text{ NaCl}\right) = C(\text{NaCl}) = \frac{10 \cdot \omega(\text{NaCl}) \cdot \rho(\text{NaCl})}{M(\text{NaCl})} = \frac{10 \cdot 25 \cdot 1,190}{58,44} = 5,09 \text{ моль/дм}^3$$

Рассчитаем порог коагуляции по формуле (6.4):

$$П(NaCl) = C_{кр} = \frac{V_3 \cdot C \left(\frac{1}{Z} \Theta \right)}{V + V_3} = \frac{1,0 \cdot 5,09}{100 + 1,0} = 0,0504 \text{ моль} / \text{дм}^3.$$

Задача 5. При достаточно медленном введении вещества В в разбавленный раствор вещества А образуется гидрозоль вещества С.

- а) написать формулу мицеллы и указать знак заряда частиц золя;
 б) какой из предложенных электролитов- коагулянтов является наиболее эффективным? Ответ обосновать.

Таблица 6.2 – Условия образования мицелл

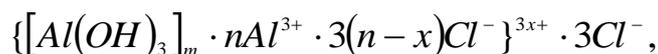
А	В	С	Электролит-коагулянт
AlCl ₃	NaOH	Al(OH) ₃	NH ₄ Cl, (NH ₄) ₂ SO ₄

Решение: Образование гидрозоля Al(OH)₃ происходит по реакции:



Согласно правилу Панета-Фаянса, при избытке AlCl₃ в дисперсионной среде, потенциалоопределяющими ионами будут катионы Al³⁺, входящие в состав агрегата; противоионами будут ионы Cl⁻, находящиеся в дисперсионной среде в избытке.

Мицелла будет иметь следующее строение:



т.е. гранула мицеллы имеет положительный заряд.

Согласно правилу электролитной коагуляции Шульце-Гарди, ион-коагулятор должен обладать возможно большим по величине зарядом, противоположным по знаку заряду гранулы. Поскольку гранула гидрозоля заряжена положительно, ионом-коагулятором должен быть анион. Из двух предложенных электролитов-коагулянтов NH₄Cl и (NH₄)₂SO₄ анион SO₄²⁻ имеет больший заряд, следовательно, наиболее эффективным является ион-коагулятор SO₄²⁻.

Контрольные вопросы

Задача 1. На основании данных таблицы 6.4 рассчитайте величины, обозначенные знаком «?». Частицы механических примесей в речной воде считать заряженными отрицательно.

Таблица 6.4 - Данные для расчета порога коагуляции

Вариант	Гидрозоле	Электролит-коагулянт	Объем золя $V, \text{ м}^3$	Объем электролита $V_{\text{э}}, \text{ м}^3$	Концентрация электролита		Плотность $\rho, \text{ кг/м}^3$	Порог коагуляции $\Pi = \text{Скр}, \text{ моль/м}^3$
					$C, \text{ моль/м}^3$	$\omega, \%$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Гидроксид алюминия	NH_4Cl	30.0	0.33	-	20.0	1060	?
2	Гидроксид алюминия	$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	30.0	0.10	-	10.0	1025	?
3	Речная вода	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	100000	?	-	10.0	1250	0.23
4	Речная вода	NaCl	100000	?	-	10.0	1071	5.20
5	Речная вода	FeSO_4	100000	?	-	10.0	1100	0.68
6	Сульфид мышьяка	CaCl_2	100	1.0	-	20.0	1190	?
7	Речная вода	FeSO_4	100000	?	-	20.0	1180	0.08
8	Иодид серебра	NaCl	$1.0 \cdot 10^{-2}$	$8.0 \cdot 10^{-2}$	-	10.0	1070	?
9	Гидроксид алюминия	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$1.0 \cdot 10^{-5}$	1.0	-	-	?
10	Оксид алюминия	K_2CrO_4	$1.0 \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-5}$	1.0	-	-	?
11	Иодид серебра	KNO_3	100	3.0	$5.0 \cdot 10^{-4}$	-	-	?
12	Гидроксид алюминия	K_2CrO_4	100	?	1,0	-	-	0.63

Продолжение таблицы 6.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	Сульфид цинка	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	1000	40.0	1,0	-	-	?
14	Роданид серебра	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	1000	?	1.0	-	-	0.02
15	Гидроксид железа(III)	KCl	1500	40.0	0.3	-	-	?
16	Латекс полистирольный	NaCl	70	35	0.47	-	-	?

17	Диоксид марганца	CuCl_2	150	10.0	?	-	-	4.9
18	Гидрозоль золота	NaCl	90	25	0.0024	-	-	?
19	Гидрозоль золота	K_2SO_4	900	?	0.001	-	-	0.12
20	Иодид серебра	KCl	1000	56	?	-	-	0.256
21	Иодид серебра	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	1000	22	?	-	-	0,120
22	Сульфид мышьяка	KNO_3	300	?	0.20	-	-	0.15
23	Сульфид мышьяка	AlCl_3	1000	100	0.093	-	-	?
24	Сульфид мышьяка	MgCl_2	1000	50	0.065	-	-	?
25	Иодид серебра	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	$1,0 \cdot 10^{-4}$	$4,5 \cdot 10^{-6}$	0.05	-	-	?
26	Сульфид мышьяка	NaCl	100	1.0	-	25.0	1190	?
27	Гидроксид хрома (III)	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	100000	?	-	10.0	1120	0.52
28	Иодид серебра	KNO_3	$1,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$?	-	-	0.80
29	Речная вода	NaCl	1000	?	-	20.0	1.175	0.5
30	Сульфид мышьяка	AlCl_3	1000	100	0.093	-	-	?

Задача 3. При достаточно медленном введении вещества В в разбавленный раствор вещества А образуется гидрозоль вещества С:

а) написать формулу мицеллы и указать знак заряда коллоидных частиц данного золя; б) какой из предложенных электролитов-коагулянтов является наиболее эффективным? Ответ обосновать.

Таблица 6.5 – Условия образования мицелл

Вариант	А	В	С	Электролит-коагулянт
1	2	3	4	5
1	NaF	SrCl_2	SrF_2	ZnCl_2 ; NH_4NO_3 ; CH_3COONa
2	$\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$	H_2S	Bi_2S_3	$\text{CH}_3\text{COONH}_4$; NaNO_3 ; HCl
3	$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$	H_2S	HgS	$\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$; $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; CH_3COONa

4	CuSO ₄	H ₂ S	CuS	HCl; CaCl ₂ ; Na ₂ SO ₄
5	KMnO ₄	Na ₂ S ₂ O ₃	MnO ₂	NaNO ₃ ; (NH ₄) ₂ SO ₄ ; CuCl ₂
6	NaCl	KH ₂ SbO ₄	NaH ₂ SbO ₄	NH ₄ Cl; K ₂ SO ₄ ; FeCl ₃
7	NaJ	AgNO ₃	AgJ	NaF; K ₂ SO ₄ ; Ca(NO ₃) ₂
8	MgCl ₂	NaOH	Mg(OH) ₂	KCl; Zn(CH ₃ COO) ₂ ; AlCl ₃
9	NH ₄ CNS	AgNO ₃	AgCNS	Na ₂ SO ₄ ; CH ₃ COONa; KNO ₃
10	CaCl ₂	H ₂ SO ₄	CaSO ₄	ZnCl ₂ ; AlCl ₃ ; CH ₃ COONa
11	Pb(NO ₃) ₂	HCl	PbCl ₂	ZnCl ₂ ; NaNO ₃ ; CH ₃ COOK
12	Pb(NO ₃) ₂	KJ	PbJ ₂	Ca(OH) ₂ ; NH ₄ NO ₃ ; AlBr ₃
13	Na ₂ SiO ₃	HCl	H ₂ SiO ₃	Na ₂ SO ₄ ; Al(NO ₃) ₃ ; NH ₄ Cl
14	Pb(NO ₃) ₂	H ₂ SO ₄	PbSO ₄	Zn(NO ₃) ₂ ; CH ₃ COONa(NH ₄) ₂ SO ₄
15	AgNO ₃	(NH ₄) ₂ S	Ag ₂ S	Ba(NO ₃) ₂ ; (CH ₃ COO) ₂ Zn; KNO ₃
16	Pb(NO ₃) ₂	(NH ₄) ₂ S	PbS	Ca(NO ₃) ₂ ; CH ₃ COONa; Al(NO ₃) ₃
17	Na ₃ AsO ₄	AgNO ₃	Ag ₃ AsO ₄	Na ₂ SO ₄ ; NH ₄ NO ₃ ; HNO ₃
18	AgNO ₃	(NH ₄) ₂ CrO ₄	Ag ₂ CrO ₄	NH ₄ NO ₃ ; CH ₃ COOK; CH ₃ COOH
19	NaF	BaCl ₂	BaF ₂	FeCl ₃ ; Ca(NO ₃) ₂ ; KBr
20	Bi(NO ₃) ₃	NaOH	Bi(OH) ₃	NaNO ₃ ; NH ₄ NO ₃ ; CH ₃ COONa
21	FeCl ₃	K ₄ [Fe(CN) ₆]	Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃	K ₂ SO ₄ ; NH ₄ NO ₃ ; AlCl ₃
22	Hg ₂ (NO ₃) ₂	H ₂ SO ₄	Hg ₂ SO ₄	KNO ₃ ; NH ₄ NO ₃ ; (CH ₃ COO) ₂ Zn
23	K ₂ CrO ₄	AgNO ₃	Ag ₂ CrO ₄	Zn(NO ₃) ₂ ; NH ₄ NO ₃ ; CH ₃ COONa
24	Hg ₂ (NO ₃) ₂	KJ	Hg ₂ J ₂	KNO ₃ ; Zn(NO ₃) ₂ ; CH ₃ COONa
25	Hg(NO ₃) ₂	KJ	HgJ ₂	KNO ₃ ; NH ₄ NO ₃ ; (CH ₃ COO) ₂ Zn
26	TiCl ₄	NaOH	Ti(OH) ₂	K ₂ CrO ₄ ; Al(NO ₃) ₃ ; NH ₄ NO ₃
27	AgNO ₃	HCl	AgCl	Al(NO ₃) ₃ ; NH ₄ NO ₃ ; K ₂ SO ₄
28	CdCl ₂	H ₂ S	CdS	(NH ₄) ₂ SO ₄ ; CaBr ₂ ; NaCl
29	Zn(NO ₃) ₂	K ₃ [Fe(CN) ₆]	Zn ₃ [Fe(CN) ₆] ₂	NaCl; K ₂ SO ₄ ; NH ₄ NO ₃
30	AlCl ₃	NaOH	Al(OH) ₃	Na ₂ SO ₄ ; KNO ₃ ; CaCl ₂

Задача 4. Используя уравнение Смолуховского, по данным таблицы 6.6:

- построить кривую изменения общего числа частиц во времени при коагуляции гидрозоль А;
- определить графическим методом время половинной коагуляции золь θ;
- определить константу скорости быстрой коагуляции графическим путем и сравнить ее с расчетным теоретическим значением;

г) рассчитать число частиц 2, 3, 4-й кратности к моменту времени коагуляции $\tau_{\text{крат.}}$

Таблица 6.6 – Кинетика коагуляции гидрозоля А

Вариант	Гидрозоль А	Количество частиц в 1 м^3 золя, $\nu \cdot 10^{-14}$	Время коагуляции τ , с	Время для расчета кратности $\tau_{\text{крат.}}$, с	Вязкость среды, $\eta \cdot 10^3$, Па·с	Тем-ра Т, К
1	2	3	4		5	6
1	Гидрозоль селена	32	0	10	1.0	300
		26	7			
		20	15			
		17	20			
		14	30			
		10	50			
2	Гидрозоль кварца	5.0	0	60	1.0	298
		3.80	90			
		3.27	150			
		2.84	220			
		2.32	300			
		1.98	390			
3	Золь Au	20.0	0	50	1.0	298
		14.7	30			
		10.8	60			
		8.25	120			
		4.90	240			
		3.00	480			
4	Золь MnO_2	20.20	0	50	1.0	303
		14.70	30			
		10.80	60			
		8.25	120			
		4.89	240			
		3.03	480			

Продолжение таблицы 6.6

1	2	3	4		5	6
5	Золь каолина	5.0	0	60	1.04	295
		3.90	105			
		3.18	180			
		2.92	255			
		2.52	335			
		2.00	420			

6	Латекс	3.0 2.28 1.80 1.60 1.20 1.00	0 7 15 20 30 60	10	1.12	293
7	Золь графита	5.00 3.80 3.27 2.84 2.44 2.11	0 90 150 220 300 390	60	1.0	298
8	Золь серы	1.60 0.99 0.50 0.20	0 2 4 10	5	1.02	303
9	Поливинилацетатная дисперсия	32.2 24.2 19.0 16.7 14.2	0 7.0 15.0 20.2 28.0	10	1.04	300
10	Золь каолина	29.70 28.80 25.40 16.50 10,70	0 0.66 4.25 19.00 43.00	10	1.04	293
11	Золь кварца	5.0 2.52 1.92 1.75 1.49	0 335 510 600 800	60	1.08	298
12	Золь каолина	5.00 3.78 3.23 2.86 2.22 1.96	0 100 175 250 400 500	60	1.04	300

Продолжение таблицы 6.6

1	2	3	4		5	6
13	Золь кварца	5.0 4.0 3.70 2.94 2.04 1.73	0 20 40 60 80 100	50	1.08	303

14	Золь As_2S_3	4.50	0	5	1.02	298
		3.52	3			
		2.25	6			
		1.72	9			
		1.40	12			
		1.11	15			
0.85	20					
15	Золь серы	6.0	0	5	1.0	303
		4.0	1			
		3.0	2			
		2.0	4			
		1.02	10			
		0.56	20			
16	Золь AgI	5.5	0	10	1.12	300
		3.66	2			
		3.14	3			
		2.44	5			
		1.35	12			
		1.10	18			
17	Золь BaS	6.5	0	10	1.08	298
		2.82	4			
		1.82	8			
		1.35	12			
		0.95	18			
		0.85	22			
18	Золь $BaSO_4$	8.0	0	10	1.22	300
		4.25	6			
		1.90	12			
		1.42	18			
		1.10	24			
		0.62	45			
19	Гидрозоль бентонита	7.0	0	60	1.02	298
		6.50	10			
		5.42	20			
		4.44	35			
		2.62	45			
		1.18	110			

Продолжение таблицы 6.6

1	2	3	4		5	6
---	---	---	---	--	---	---

20	Золь канифоли	5.25 3.50 2.80 2.33 1.99 1.20	0 25 50 75 100 150	60	1.12	288
21	Золь мастики	7.5 3.75 2.40 1.81 1.00 0.91	0 30 60 100 180 240	50	1.06	298
22	Золь Fe(OH) ₃	5.50 4.52 3.25 2.96 2.64 2.40	0 3 6 9 12 15	10	1.0	298
23	Аэрозоль – дым	6.00 5.50 4.68 3.82 2.54 1.42	0 10 30 60 120 240	50	1.800·10 ⁻⁴	293
24	Аэрозоль – туман	6.50 3.82 1.65 0.75 0.40 0.16	0 60 240 480 960 1440	50	1.857·10 ⁻⁴	303
25	Аэрозоль – дым	7.00 4.92 4.58 3.85 3.15 1.82	0 20 40 60 100 180	50	1.800·10 ⁻⁴	293
26	Аэрозоль – туман	12.0 11.0 9.36 7.64 5.08 2.84	0 30 60 120 240 480	20	1.857·10 ⁻⁴	303

Продолжение таблицы 6.6

1	2	3	4		5	6
---	---	---	---	--	---	---

27	Золь каолина	8.25	0	60	1.04	300
		7.00	25			
		5.80	50			
		4.90	75			
		4.75	100			
		4.20	150			
28	Золь канифоли	10.0	0	5	1.12	300
		8.0	1			
		6.65	2			
		5.35	4			
		4.85	10			
		4.63	20			
29	Золь MnO_2	10.0	0	25	1.0	295
		9.50	10			
		8.42	20			
		7.44	35			
		6.62	45			
		5.18	110			
30	Золь SiO_2	10.0	0	60	1.0	288
		9.0	100			
		8.42	150			
		5.35	200			
		4.90	250			
		3.73	300			

7 Контрольные вопросы

1. При исследовании коагуляции полистирольного латекса получены следующие значения порогов коагуляции:

электролит	NaCl	CaCl ₂	AlCl ₃
П= Скр., моль/дм ³	0,47	$8,8 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-4}$

Рассчитать соотношение порогов коагуляции для ионов различного заряда и сопоставить его с выражением Гарди-Шульце.

2. Порог коагуляции отрицательно заряженного гидрозоля As_2S_3 под действием KCl равен $4,9 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³. С помощью правил Шульце-Гарди для данного золя рассчитать пороги коагуляции, вызываемой следующими электролитами: KNO_3 , $BaCl_2$, K_2SO_4 , $MgSO_4$, $K_2Cr_2O_7$.

3. Порог коагуляции положительно заряженного гидрозольа металлического золота, вызываемой NaCl, равен $0,024 \text{ моль/дм}^3$. С помощью правил Шульце-Гарди рассчитать порог коагуляции для следующих электролитов: Na_2SO_4 ; Na_3PO_4 .

4. Коагуляция $1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ отрицательно заряженного зольа AgJ наблюдается при добавлении к нему $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ электролита KNO_3 концентрации 1 моль/дм^3 . Определить концентрацию $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ электролита $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, которая вызывает коагуляцию зольа $1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ зольа AgJ.

5. Коагуляция $1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ отрицательно заряженного зольа AgJ наблюдается при добавлении к нему 5 см^3 электролита $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ концентрации $0,01 \text{ моль/дм}^3$. Определить концентрацию $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ электролита $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, которая вызывает коагуляцию $1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ данного зольа.

6. Какие факторы агрегативной устойчивости лиофобных зольей вам известны?

7. Сформулируйте правила электролитной коагуляции зольей.

8. В чем состоит различие между нейтрализационной и концентрационной коагуляцией?

9. В чем состоит сущность теории ДЛФО? Что называется расклинивающим давлением?

10. Что представляют собой потенциальные кривые взаимодействия между коллоидными частицами? Как объясняются на их основе явления коагуляции?

11. Какие случаи коагуляции смесью электролитов вы знаете?

8 ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ 8. ЛИОФИЛЬНЫЕ ДИСПЕРСНЫЕ СИСТЕМЫ

При изучении данного раздела бакалавр приобретает следующие компетенции: ОК-7, ОПК-1, ОПК-3. Он стремится к повышению своей квалификации, приобретает новые знания в области естественных наук; готов использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, может применять методы теоретического и экспериментального исследования; использовать знания о современной физической картине мира, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы; использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире; планировать и проводить эксперименты, проводить обработку их результатов и оценивать погрешности, выдвигать гипотезы и устанавливать границы их применения; способен использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности.

К лиофильным дисперсным системам относятся растворы высокомолекулярных соединений (ВМС). Основной характеристикой растворов ВМС является молекулярная масса макромолекул ВМС, определяющая их технологические и эксплуатационные свойства: прочность, эластичность, способность к набуханию и растворению. Поскольку ВМС представляет собой смесь полимергомологов, определяется средняя молекулярная масса данного полимера: \bar{M} (ВМС). Наиболее распространенными методами определения молекулярной массы ВМС являются: вискозиметрический и осмометрический методы, а также седиментационный метод с использованием ультрацентрифугирования.

Вискозиметрический метод определения молекулярной массы ВМС основан на применении уравнения Марка-Хаувинка:

$$[\eta] = K \cdot M^\alpha, \quad (8.1)$$

где: K – константа, постоянная для растворов соединений полимергомологического ряда в данном растворителе;

α – константа, характеризующая форму макромолекул в растворе и гибкость его цепей;

$$[\eta] = \lim_{c \rightarrow 0} \frac{\eta_{уд}}{c} \text{ характеристическая вязкость раствора ВМС, Н·с/м}^2.$$

Характеристическая вязкость раствора исследуемого полимера $[\eta]$ определяется экспериментально на основании изучения зависимости вязкости раствора ВМС от концентрации, т.е. $\eta = f(c)$. По экспериментально измеренной величине вязкости η_i для растворов различной концентрации C_i рассчитывается удельная вязкость:

$$\eta_{уд.,i} = \frac{\eta_i - \eta_0}{\eta_0}, \quad (8.2)$$

где: η_0 – вязкость растворителя, Н·с/м²

η_i – вязкость данного раствора ВМС, Н·с/м².

После чего по удельной вязкости $\eta_{уд.,i}$ рассчитывается приведенная вязкость:

$$\eta_{прив.,i} = \frac{\eta_{уд.,i}}{C_i}, \quad (8.3)$$

На основании рассчитанных значений приведенной вязкости $\eta_{прив.,i}$ строится графическая зависимость в координатах: $\eta_{прив} = f(C)$, представляющая собой прямую линию, отсекающую на оси ординат отрезок, численно равный характеристической вязкости $[\eta]$.

Для расчета молекулярной массы M (ВМС) уравнение Марка-Хаувинка используется в логарифмической форме:

$$\lg \bar{M}(\text{ВМС}) = \frac{\lg[\eta] - \lg K}{\alpha}, \quad (8.4)$$

где: K и α – справочные значения констант уравнения Марка–Хаувинка.

Осмометрический метод определения молекулярной массы ВМС основан на применении уравнения Вант-Гоффа, которое с учетом взаимодействия макромолекул полимера с растворителем принимает вид:

$$\frac{\pi}{C} = \frac{R \cdot T}{M} + b \cdot C, \quad (8.5)$$

где: $\frac{\pi}{C}$ – приведенное осмотическое давление;

M – молекулярная масса ВМС;

b – константа, характеризующая взаимодействие молекул ВМС с растворителем.

Уравнение (8.5) представляет собой прямую линию в координатах: $\frac{\pi}{C} =$

$f(c)$. Отрезок, отсекаемый полученной прямой от оси ординат, численно равен

величине $\frac{R \cdot T}{M}$, из которой рассчитывается средняя молекулярная масса

\bar{M} (ВМС).

Седиментационный метод определения молекулярной массы M (ВМС) разработан Сведбергом. Реализуется в двух вариантах. По первому варианту раствор ВМС центрифугируется до тех пор, пока не наступит равновесие между седиментацией и диффузией при данной скорости вращения центрифуги. Расчет молекулярной массы полимера в этом случае производится по формуле:

$$\bar{M} = \frac{2 \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{C_2}{C_1}}{(1 - \rho_0 \cdot \bar{V}) \cdot (h_2^2 - h_1^2) \cdot \omega^2}, \quad (8.6)$$

где: h_2, h_1 – расстояние от оси центрифуги в конечный и начальный моменты центрифугирования, м;

c_2, c_1 – концентрация полимера на расстоянии h_2 и h_1 , кг/м³;

ρ_0 – плотность растворителя, кг/м³;

\bar{V} – парциальный объем полимера, м³/кг;

$\omega = 2\pi n$ – угловая скорость вращения центрифуги;

n – число оборотов центрифуги, с⁻¹.

При работе по второму варианту определяют константу седиментации в поле с центробежным ускорением 10^5 – $10^6 g$ при бесконечном разбавлении раствора ВМС. Константа седиментации S_0 рассчитывается по уравнению:

$$S_0 = \frac{\ln \frac{h_2}{h_1}}{\omega^2 t} \quad (8.7)$$

Молекулярную массу полимера определяют по формуле:

$$S_0 = K \cdot M^b, \quad (8.8)$$

где: S_0 – константа седиментации;

K, b – эмпирические постоянные для данной системы: ВМС – растворитель.

8.1 Решение типовых задач

Задача 1. Рассчитать молекулярную массу образца высокомолекулярного соединения А в растворителе В на основании данных таблицы 8.1, полученных вискозиметрическим методом.

Таблица 8.1 – Данные для определения молекулярной массы вискозиметрическим методом

ВМС А	Растворитель В	Характеристическая вязкость $[\eta]$, м ³ /кг	Константы уравнения Марка-Хаувинка	
			$K \cdot 10^5$	α
Синтетический каучук	хлороформ	0.0215	1.85	0.56

Решение: Определение средней молекулярной массы синтетического каучука \overline{M} проводим по логарифмической форме уравнения Марка-Хаувинка (8.4):

$$\lg \overline{M} = \frac{\lg[\eta] - \lg K}{\alpha} = \frac{\lg 0.0215 - \lg 1.85 \cdot 10^{-5}}{0.56} = 5.4771$$

Следовательно: $\overline{M} = 10^{5.4771} = 299985$.

Задача 2. Рассчитать молекулярную массу высокомолекулярного соединения А в растворителе В на основании данных зависимости осмотического давления π от концентрации (таблица 8.2):

Таблица 8.2 – Данные для расчета молекулярной массы по осмотическому давлению

ВМС А	Растворитель В	Осмотическое давление π , Па	Концентр. $C \cdot 10^3$ кг/м ³	Приведенное осмот. давление $\pi/c \cdot 10^3$, Па·м ³ /кг	Темпе- ратура T , К
резина	керосин	27.0	0.5	54.0	303
		93.0	1.5	62.0	
		170.0	2.5	68.0	
		265.0	3.5	75.7	
		430.0	5.0	86.0	
		650.0	6.5	100.0	

Решение: Определение средней молекулярной массы резины проводим на основании уравнения:

$$\frac{\pi}{C} = \frac{R \cdot T}{\overline{M}} + b \cdot C \quad (8.5)$$

Уравнение (8.5) представляет собой прямую линию в координатах: $\frac{\pi}{C} = f$

(с), поэтому построим по данным условиям задачи графическую зависимость (рисунок 8.1):

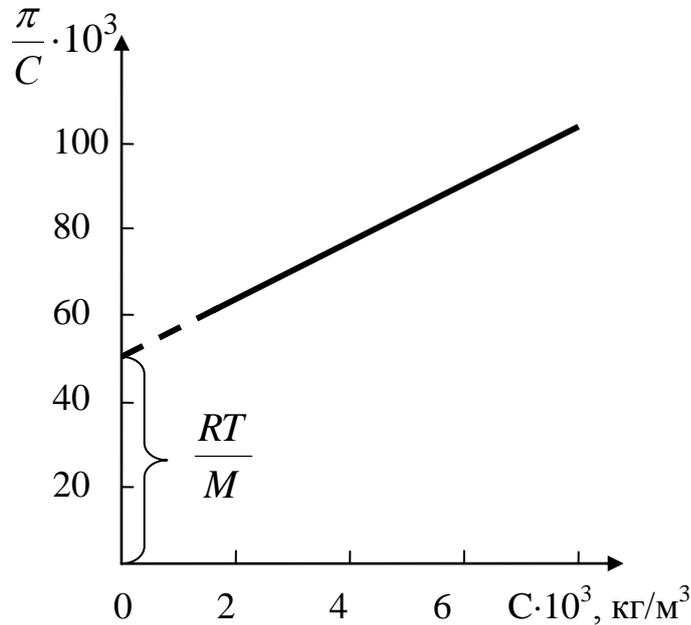


Рисунок 8.1 – Зависимость приведенного осмотического давления от концентрации

Отрезок, отсекаемый полученной прямой на оси ординат, численно равен:

$$\frac{R \cdot T}{M} = 50.05 \cdot 10^{-3}.$$

$$\text{Откуда: } \bar{M} = \frac{R \cdot T}{50.05 \cdot 10^{-3}} = \frac{8.314 \cdot 303}{50.05 \cdot 10^{-3}} = 49884.$$

Задача 3. При центрифугировании раствора глобулина седиментационное равновесие установилось через 48 ч при числе оборотов центрифуги $n = 6920$ об/мин, $T = 291$ К. Парциальный объем ВМС $\bar{V} = 0.745 \cdot 10^{-3}$ м³/кг, плотность растворителя $\rho_0 = 1.0077 \cdot 10^3$ кг/м³.

По усредненным данным, полученным Сведбергом, определить массу глобулина, если концентрации ВМС на расстояние: $h_1 \cdot 10^2 = 4.63$ м; $h_2 \cdot 10^2 = 4.68$ м; соответственно равны: $c_1 = 0.189$ %; $c_2 = 0.215$ %.

Решение: Среднюю молекулярную массу глобулина \bar{M} рассчитаем по формуле Сведберга:

$$\bar{M} = \frac{2 \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{C_2}{C_1}}{(1 - \rho_0 \cdot \bar{V}) \cdot (h_2^2 - h_1^2) \cdot \omega^2} \quad (8.6)$$

$$\bar{M} = \frac{2 \cdot 8.314 \cdot 291 \cdot \ln \frac{0.215}{0.189}}{(1 - 1.0077 \cdot 10^3 \cdot 0.745 \cdot 10^{-3}) \cdot [(4.68 \cdot 10^{-2})^2 - (4.63 \cdot 10^{-2})^2] \cdot \left(\frac{6920}{60}\right)^2} =$$

$$= 116000.$$

Многовариантные задачи

Задача 1. Рассчитать молекулярную массу образца высокомолекулярного соединения А в растворителе В на основании данных таблицы, полученных вискозиметрическим методом.

Таблица 8.3 – Данные для расчета молекулярной массы полимера вискозиметрическим методом

Вариант	Высокомолекулярное соединение А	Растворитель В	Характеристическая вязкость $[\eta]$, м ³ /кг	Константы уравнения Марка-Хаувинка	
				$K \cdot 10^5$	α
1	2	3	4	5	6
1	поливиниловый спирт	вода	0.15	4.53	0.74
2	полистирол	толуол	0.105	1.70	0.69
3	нитроцеллюлоза	ацетон	0.204	0.89	0.90
4	синтетический каучук	хлороформ	0.0211	1.85	0.56
5	натуральный каучук	бензол	0.126	5.0	0.67
6	поливинилацетат	хлороформ	0.340	6.50	0.71
7	поливинилацетат	бензол	0.225	5.70	0.70
8	полиизобутилен	толуол	0.180	3.60	0.64
9	полистирол	толуол	0.105	1.70	0.69
10	нитроцеллюлоза	ацетон	0.104	1.01	0.64
11	ацетилцеллюлоза	ацетон	0.140	4.30	0.82
12	натуральный каучук	толуол	0.441	5.14	0.67
13	нейлон	муравьиная кислота	0.112	15.9	0.72

14	перхлорвиниловая смола	циклогексанон	0.116	6.45	0.67
15	полибутадиен	толуол	0.740	2.16	0.64
16	поливинилацетат	ацетон	0.175	2.87	0.67
17	поливинилацетат	бутанол	0.162	3.04	0.62
18	поливинилацетат	хлороформ	0.561	8.77	0.71
19	поливинилацетат	бензол	0.293	7.18	0.70
20	полиметилметакрилат	хлороформ	0.237	1.41	0.82
21	полиарилат	диметилформамид	0.110	2.13	0.56
22	поливиниловый спирт	вода	0.111	6.04	0.67
23	полиизобутилен	диизобутилен	0.191	2.99	0.64
24	полиметилметакрилат	бензол	0.117	6.79	0.77
25	полиметилметакрилат	тетрахлорметан	0.120	7.01	0.65
26	полистирол	толуол	0.244	1.61	0.70
27	полистирол	тетрахлорметан	0.166	1.80	1.00
28	целлюлоза	медноаммиачный раствор	0.690	2.29	0.81
29	полистирол	бензол	0.212	2.68	0.62
30	этилцеллюлоза	анилин	0.238	9.97	0.72

Задача 2. Рассчитать молекулярную массу образца высокомолекулярного соединения А в растворителе В на основании данных зависимости осмотического давления π от концентрации (таблица 8.4):

Таблица 8.4 – Данные для расчета молекулярной массы полимера осмотическим методом

Вариант	ВМС А	Растворитель В	Осмотическое давление π , Па	Концентрация $C \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	Температ. Т, К
1	2	3	4	5	6
1	поливиниловый спирт	вода	35.4	0.6	303
			80.3	1.4	
			126.3	2.4	
			196.3	3.2	
			272.0	4.4	
			365.4	5.5	
2	полистирол	толуол	84.0	1.5	293
			180.5	3.5	
			342.5	6.0	
			632.5	7.5	
			638.0	9.5	
			780.0	11.0	
3	нитроцеллюлоза	ацетон	68.0	1.0	303
			147.5	2.5	
			236.0	4.0	
			322.1	5.3	
			450.0	7.0	
			624.0	9.0	

4	синтетический каучук	хлороформ	16.0	0.5	290
			72.0	1.8	
			138.0	3.0	
			280.0	5.0	
			384.0	6.0	
			608.0	8.0	
5	натуральный каучук	бензол	26.0	0.5	300
			73.0	1.8	
			148.0	3.0	
			290.0	5.0	
			394.0	6.0	
			618.0	8.0	
6	поливинилацетат	хлороформ	68.8	1.2	300
			115.6	2.8	
			198.1	5.1	
			287.1	7.7	
			401.1	9.5	
			556.1	12.0	
7	поливинилацетат	бензол	81.8	1.1	305
			160.4	2.8	
			228.0	4.0	
			326.4	5.5	
			446.0	7.0	
			820.0	10.0	

Продолжение таблицы 8.4

1	2	3	4	5	6
8	полистирол	толуол	16.0	0.5	310
			52.5	1.5	
			120.0	3.0	
			202.5	4.5	
			300.0	6.0	
			456.0	8.0	
9	ацетилцеллюлоза	ацетон	36.1	0.7	305
			60.5	1.5	
			116.0	3.0	
			207.2	4.8	
			290.0	6.0	
			402.5	7.5	
10	полибутадиен	толуол	33.6	0.7	315
			83.2	1.6	
			174.0	3.0	
			335.0	5.0	
			525.0	7.0	
			807.5	9.5	
11	каучук	бензин	25.4	0.6	318
			70.3	1.4	
			125.3	2.4	
			186.3	3.2	
			262.0	4.4	
			355.4	5.5	

12	резина	керосин	34.0	2.0	295
			70.0	3.5	
			126.5	5.5	
			216.0	8.0	
			280.0	10.0	
			420.0	12.0	
13	каучук	этилацетат	48.0	1.0	308
			127.5	2.5	
			216.0	4.0	
			302.1	5.3	
			420.0	7.0	
			594.0	9.0	
14	полиметил– метакрилат	толуол	54.0	1.5	293
			150.5	3.5	
			312.0	6.0	
			502.5	7.5	
			608.0	9.5	
			750.0	11.0	
15	бутадиеновый каучук	бензол	28.8	1.2	300
			75.6	2.8	
			158.1	5.1	
			247.1	7.7	
			361.0	9.5	
			516.0	12.0	

Продолжение таблицы 8.4

1	2	3	4	5	6
16	полистирол	ксилол	54.0	2.0	300
			87.0	3.0	
			139.5	4.5	
			204.0	6.0	
			270.0	7.5	
			361.0	9.5	
17	резина	бензин	8.0	0.5	293
			36.0	1.8	
			69.0	3.0	
			140.0	5.0	
			192.0	6.0	
			304.0	8.0	
18	поливинилацетат	ацетон	55.5	1.5	303
			105.3	2.7	
			164.0	4.0	
			215.0	5.0	
			292.5	6.5	
			384.0	8.0	
19	этилцеллюлоза	толуол	30.0	1.0	303
			92.5	2.5	
			211.5	4.5	
			330.0	6.0	
			472.5	7.5	
			630.0	9.0	

20	полиметил метакрилат	хлороформ	33.6	0.7	300
			83.2	1.6	
			174.0	3.0	
			335.0	5.0	
			525.0	7.0	
			807.5	9.5	
21	ацетицеллюлоза	ацетон	60.0	2.0	300
			152.0	3.8	
			264.0	5.5	
			399.0	7.0	
			603.0	9.0	
			858.0	11.0	
22	каучук	диэтиловый эфир	27.0	1.0	298
			87.0	3.0	
			139.5	4.5	
			198.0	6.0	
			270.0	7.5	
			342.0	9.0	
23	полиметил– метакрилат	бензол	16.0	0.5	303
			52.5	1.5	
			120.0	3.0	
			202.5	4.5	
			300.0	6.0	
			456.0	8.0	

Продолжение таблицы 8.4

1	2	3	4	5	6
24	каучук	ацетон	64.6	1.7	302
			135.0	3.0	
			218.4	4.2	
			319.0	5.5	
			490.0	7.0	
			693.0	9.0	
25	каучук	сероуглерод	16.1	0.7	315
			40.5	1.5	
			96.0	3.0	
			187.2	4.8	
			270.0	6.0	
			382.5	7.5	
26	резина	толуол	21.6	1.2	318
			57.7	2.5	
			104.0	4.0	
			159.5	5.5	
			231.0	7.0	
			314.5	8.5	
27	этилцеллюлоза	анилин	40.3	1.3	313
			103.6	2.8	
			148.0	4.5	
			328.6	6.2	
			450.0	7.5	

			665.0	9.5	
28	полистирол	бензол	44.2 93.0 153.0 228.0 334.4 510.0	1.7 3.0 4.5 6.0 7.6 10.0	298
29	резина	керосин	41.8 120.4 188.0 286.0 406.0 780.0	1.1 2.8 4.04 5.5 7.0 10.0	297
30	ацетилцеллюлоза	толуол	13.5 46.5 85.0 133.0 215.0 325.0	0.5 1.5 2.5 3.5 5.0 6.5	305

Контрольные вопросы

1. Рассчитать молекулярную массу этилцеллюлозы в анилине, используя данные вискозиметрического метода. Константы уравнения Марка – Хаувинка: $K = 6.9 \cdot 10^{-5}$; $\alpha = 0.72$.

концентрация C , кг/м ³	1.0	1.75	2.50	3.25	4.0
удельная вязкость $\frac{\eta - \eta_0}{\eta_0}$	0.24	0.525	0.875	1.35	1.84

2. Рассчитать молекулярную массу поливинилацетата в ацетоне, используя данные вискозиметрического метода. Константы уравнения Марка – Хаувинка: $K = 4.2 \cdot 10^{-5}$; $\alpha = 0.68$.

концентрация C , кг/м ³	1.0	3.0	5.0	7.0
удельная вязкость $\frac{\eta - \eta_0}{\eta_0}$	0.14	0.465	0.84	1.30

3. Рассчитать молекулярную массу полистирола, если при $T=323K$ осмотическое давление его раствора в ацетоне концентрации 3.0 кг/м^3 равно 3.65 Па ; константа $b = 0.78$.

4. Рассчитать молекулярную массу этилцеллюлозы в толуоле, используя данные вискозиметрического метода. Константы уравнения Марка – Хаувинка: $K = 11.8 \cdot 10^{-5}$; $\alpha = 0.662$:

концентрация C , кг/м ³	1.0	4.0	6.0	8.0	10.0
удельная вязкость $\frac{\eta - \eta_0}{\eta_0}$	0.163	0.192	0.210	0.240	0.263

5. Рассчитать молекулярную массу полиамида в метаноле, пользуясь данными метода ультрацентрифугирования: константа седиментации при бесконечном разбавлении раствора $S_0 = 1.95$ с; константы: $K = 1.86 \cdot 10^{-2}$; $b = 0.47$.

6. Рассчитать молекулярную массу поликаприама в гексафторизопропанол, пользуясь данными метода ультрацентрифугирования: константа седиментации при бесконечном разбавлении раствора $S_0 = 0.91$ с; константы: $K = 8.70 \cdot 10^{-3}$; $b = 0.45$.

7. Рассчитать молекулярную массу капрона в м-крезоле пользуясь экспериментальными данными метода ультрацентрифугирования (константы: $K = 8.70 \cdot 10^{-3}$; $b = 0.45$).

концентрация C , кг/м ³	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0
константа седиментации S , с	0.670	0.556	0.476	0.446	0.409	0.333

8. Рассчитать молекулярную массу белка по данным, полученным методом ультрацентрифугирования: парциальный объем $\bar{V} = 0.945 \cdot 10^{-3}$ м³/кг; плотность растворителя $\rho_0 = 1.107 \cdot 10^3$ кг/м³; $h_1 = 0.0501$ м; $h_2 = 0.0555$ м; $c_1 = 0.125$ %; $c_2 = 0.175$ %.

9. Рассчитать молекулярную массу гемоглобина по данным, полученным методом ультрацентрифугирования: парциальный объем $\bar{V} = 0.5 \cdot 10^{-3}$ м³/кг; плотность растворителя $\rho_0 = 1.120 \cdot 10^3$ кг/м³; $h_1 = 0.0218$ м; $h_2 = 0.0246$ м; $c_1 = 0.220$ %; $c_2 = 0.231$ %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основная литература:

1. Ершов Ю.А. Коллоидная химия: учебник / Ю.А. Ершов М. : ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 352с. ISBN 978-5-9704-2860-3
2. Коллоидная химия [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Н.Н. Францева [и др.].- Электрон. текстовые данные.— Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, Параграф, 2013.- 52 с.- Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47308>.- ЭБС «IPRbooks»

2. Перечень дополнительной литературы:

1. Зимон, А. Д. Коллоидная химия : учебник для вузов / А. Д. Зимон ; Мин-во образования Рос. Федерации, Моск. гос. технол. акад. - 4-е изд., испр. и доп. - М. : АГАР, 2003. - 320 с. : ил. - Библиогр.: с. 312. - ISBN 5-89218-151-0
2. Белик, В. В. Физическая и коллоидная химия: учебник/ В. В. Белик, К. И. Киенская. - М.:Академия,2005. - 288 с. (Высшее профессиональное образование)
3. Гельфман, М. И. Коллоидная химия / М. И. Гельфман, О. В. Ковалевич, В. П. Юстратов. - Изд. 2-е, стер. - СПб. : Лань, 2004. - 336 с. - ([Учебники для вузов. Специальная литература]). - ISBN 5-8114-0478-6
4. Евстратова, К.И. Физическая и коллоидная химия: Учебник.Рек.Глав.управ.учеб.завед.Мин.здравоохр.СССР./ Н.А.Купина, Е.Е.Малахова; Под.ред.К.И.Евстратовой. - М:Высш.шк.,1990. - 487с.:ил.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины:

1. <http://window.edu.ru/> – Единое окно доступа к образовательным ресурсам.
2. www.biblioclub.ru – Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн».
3. catalog.ncstu.ru – Электронный каталог фолиант СКФУ
4. www.library.stavsu.ru – Электронная библиотека и электронный каталог научной библиотеки СКФУ

ПРИЛОЖЕНИЯ

Основные обозначения

Физико–химическая величина	Обозначение	Единица измерения
Адсорбция	a	моль/кг; м ³ /кг
Предельная адсорбция	a _∞	моль/кг; м ³ /кг
Постоянная Гамакера	A	Дж
Концентрация	C	моль/дм ³ ; моль/м ³
Адсорбция на границе жидкость-газ	Г	моль/м ²
Дисперсность	D	м ⁻¹
Коэффициент диффузии	D	м ² /с
Оптическая плотность	D	-
Линейный размер коллоидной частицы	d	м
Высота, расстояние	h	м
Ребро куба	l	м
Расстояние между электродами	l	м
Напряженность электрического поля	E	В / м
Сила	F	Н
Свободная энергия Гиббса	G	Дж/ моль
Поверхностная активность	g	Дж·м / моль
Сила тока	I	А
Ионная сила	I	моль/дм ³ ; моль/м ³
Интенсивность светового потока	I	-
Молекулярная масса	M	г / моль; кг/ моль
Показатель преломления	n	-
Давление	p	Па
Радиус	r	м
Порог коагуляции	Π=C _{кр}	моль/дм ³ ; моль/м ³
Энтропия	S	Дж/ моль К
Константа седиментации	S	-
Площадь	S	м ²
Площадь одной молекулы	S ₀	м ²
Удельная поверхность	S _{уд}	м ²
Энергия взаимодействия	U	Дж
Напряжение	U	В
Объем	V	м ³
Суммарный объем пор	V ₀	м ³
Парциальный мольный объем	\bar{v}_i	м ³
Скорость седиментации	v	м/с
Заряд иона	Z	-
Сдвиг по выбранному направлению	Δ	м
Толщина адсорбционного слоя	δ	м

Диэлектрическая проницаемость	ε	-
Молярный коэффициент поглощения	ε	-
Электрическая постоянная	ε_0	Ф/ м
Электрокинетический потенциал	ξ	В
Краевой угол смачивания	θ	-
Время половинной коагуляции	θ	с
Удельная электропроводность	\varkappa	Ом ⁻¹ м ⁻¹
Величина, обратная толщине диф. слоя	\varkappa	м ⁻¹
Вязкость	η	Па с;
Толщина диффузионного слоя	λ	м; нм
Длина волны		м; нм
Число частиц в единице объема (частичная концентрация)	ν	
Осмотическое давление	π	Па
Плотность	ρ	г/м ³ ; кг/ м ³
Поверхностное натяжение	σ	Н/м; Дж/м ²
Поверхностная плотность заряда	σ	Кл/м ²
Время	τ	с
Потенциал	φ	В
Потенциал поверхности коллоидной частицы	φ_0	В
Потенциал поверхности максимального приближения	φ_δ	В
Угловая скорость	ω	рад/с

Основные физические постоянные

Название	Обозначение	Единица измерения
Универсальная газовая постоянная	R	Дж/м ³ ·К
Постоянная Авогадро	N _A	6.02205·10 ²³ моль ⁻¹
Постоянная Больцмана	k	1.38054·10 ⁻²³ Дж/К
Электрическая постоянная	ε_0	8.8542·10 ⁻¹² Ф/ м
Постоянная Фарадея	F	96500 Кл/ моль
Ускорение силы тяжести	g	9.8066 м ² /с

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Невинномысский технологический институт (филиал)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Коллоидная химия»
для студентов заочной формы обучения
направления подготовки 18.03.01 Химическая технология

Невинномысск 2020

Методические указания разработаны в соответствии с требованиями ФГОС ВО и рабочей программы дисциплины «Коллоидная химия» для студентов заочной формы обучения направления подготовки 18.03.01 Химическая технология

Составители

Л.В. Москаленко, канд.техн.наук

Е.В. Вернигорова, ассистент.

Отв. редактор

А.Л. Проскурнин, канд.хим.наук, доцент.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа № 1	
Получение дисперсных систем	4
2. Лабораторная работа № 2 Определение размеров коллоидных частиц турбидиметрическим методом	9
3. Лабораторная работа № 3 Определение поверхностного натяжения жидкости по методу Ребиндера	12
4. Лабораторная работа № 4 Определение знака заряда коллоидных частиц электрофоретическим методом.	23
5. Лабораторная работа № 5 Определение электрокинетического потенциала гидрозоля гидроксида железа (III)	33
6. Лабораторная работа № 6 Определение порога коагуляции гидрозолей оптическим методом.	39
7. Лабораторная работа № 7 Определение порога коагуляции гидрозоля гидроксида железа (III)	42
8. Лабораторная работа № 8 Определение порога коагуляции гидрозоля берлинской лазури	46
9. Лабораторная работа № 9 Взаимная коагуляция	49
10. Лабораторная работа № 10 Получение и обращение эмульсий.	51
Список литературы	54

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ПОЛУЧЕНИЕ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Цель работы: освоение лабораторных методов получения дисперсных систем

Оборудование. Материалы

1. Колбы мерные емкостью 100 см³.
2. Воронки.
3. Фильтры.
4. Насыщенный спиртовой раствор серы.
5. Спиртовой раствор канифоли с $\omega(\text{канифоли}) = 2\%$.
6. Раствор FeCl₃ с $\omega(\text{FeCl}_3) = 2\%$.
7. Раствор FeCl₃ с $\omega(\text{FeCl}_3) = 5\%$.
8. Раствор K₄[Fe(CN)₆] с $\omega(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 0,1\%$.
9. Раствор K₄[Fe(CN)₆] с $\omega(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 2\%$.
10. Раствор CuSO₄ с $\omega(\text{CuSO}_4) = 0,1\%$.
11. Раствор HCl с $\omega(\text{HCl}) = 0,1\%$.
12. Раствор NaOH с $\omega(\text{NaOH}) = 0,1\%$.
13. Раствор NH₄OH с $\omega(\text{NH}_4\text{OH}) = 0,1\%$.
14. Раствор HCl с $C(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$.
15. Раствор H₂C₂O₄ с $C(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$.
16. Раствор Na₂S₂O₃ с $\omega(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 1\%$.
17. Раствор KMnO₄ с $\omega(\text{KMnO}_4) = 1,5\%$.
18. Раствор Fe(NO₃)₃ с $\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 5\%$.

ХОД РАБОТЫ

1 Получение гидрозолей методом замены растворителя

1.1 Получение гидрозоля серы

1.1.1 В пробирку налить 5-10 см³ воды и добавить по каплям (не больше 1 см³) спиртового раствор серы.

1.1.2 Наблюдать изменения, происходящие в пробирке. Охарактеризовать свойства полученного гидрозоля (его цвет в проходящем и боковом освещении).

Написать формулу мицеллы образовавшегося гидрозоль серы, если стабилизатором является сернистая кислота.

1.2 Получение золя канифоли

1.2.1 В пробирку налить 5-10 см³ воды и добавить по каплям (не больше 0,5 см³) спиртового раствора канифоли с $\omega(\text{канифоли}) = 2\%$ серы. Полученный раствор энергично перемешать.

1.2.2 Наблюдать изменения, происходящие в пробирке. Охарактеризовать свойства полученного гидrozоль (его цвет в проходящем и боковом освещении).

2 Получение гидрозоль методом химической конденсации

2.1 Получение золя гидроксида железа гидролизом FeCl₃

2.1.1 В конической колбе емкостью 250 см³ нагреть на водяной бане 95 см³ дистиллированной воды до температуры $\approx 95^{\circ}\text{C}$. Не вынимая колбы из водяной бани, выключить обогрев и небольшой струей, влить пипеткой в нагретую воду 5 см³ раствора хлорида железа FeCl₃ с $\omega(\text{FeCl}_3) = 2\%$.

Оставить охлаждаться коническую колбу с полученным гидрозоль в водяной бане.

2.1.2 После охлаждения до комнатной температуре вынуть колбу с гидрозоль из водяной бани и охарактеризовать свойства полученного гидrozоль (его цвет в проходящем и боковом освещении).

2.1.3 Сравнить цвет образовавшегося гидrozоль с цветом исходного раствора хлорида железа (III). Написать формулу мицеллы образовавшегося гидrozоль гидроксида железа, если стабилизатором является сернистая кислота.

2.2 Получение золя железисто-синеродистой меди гексацианоферрат (II) меди (реакция двойного обмена)

2.2.1 К 10 см³ раствора K₄[Fe(CN)₆] с $\omega(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 0,1\%$ прилить 1 см³ раствора CuSO₄ с $\omega(\text{CuSO}_4) = 0,1\%$.



2.2.2 Наблюдать изменения, происходящие в пробирке. Охарактеризовать свойства полученного гидрозоля (его цвет в проходящем и боковом освещении).

2.2.3 Написать формулы мицелл, если в избытке CuSO_4 и $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

2.3 Получение золя диоксида марганца по реакции восстановления

Перманганат калия восстанавливается тиосульфатом натрия до диоксида марганца:



2.3.1 В коническую колбу пипеткой внести 5 см^3 раствора перманганата калия с $\omega(\text{KMnO}_4) = 1,5\%$. Затем в колбу добавить по каплям $1,5-2,0 \text{ см}^3$ раствора тиосульфата натрия с $\omega(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 1\%$.

2.3.2 Наблюдать изменения, происходящие в пробирке. Охарактеризовать свойства полученного гидрозоля (его цвет в проходящем и боковом освещении).

2.3.3 Написать формулу мицеллы, если стабилизатором является KMnO_4 .

3 Получение гидрозолей методом пептизации.

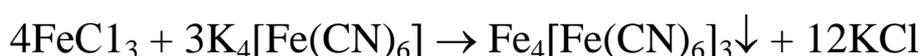
3.1 Получение золя берлинской лазури

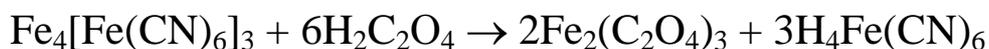
3.1.1 К 5 см^3 раствора хлорида железа с $\omega(\text{FeCl}_3) = 2\%$ прибавить 1 см^3 насыщенного раствора гексацианоферрата (II) калия $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

3.1.2 Полученный осадок берлинской лазури отфильтровать с помощью вакуумного насоса и промыть на фильтре небольшими порциями дистиллированной воды.

3.1.3 Затем осадок на фильтре обработать щавелевой кислотой с $\text{C}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$ до полного растворения осадка на фильтре, собирая фильтрат золя $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$ в колбу Бунзена.

Гидрозоль берлинской лазури образуется по реакциям:





3.1.4 Написать формулу мицеллы берлинской лазури, учитывая преимущественную адсорбцию многозарядного иона $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$.

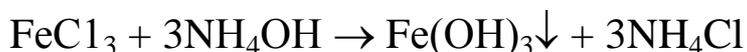
3.2 Получение гидрозоля гидроксида железа(III) из раствора хлорида железа (III) FeCl_3

3.2.1 В колбу налить 20 см^3 раствора хлорида железа с $\omega(\text{FeCl}_3) = 5\%$, 10 см^3 дистиллированной воды и добавить раствор аммиака с $\omega(\text{NH}_4\text{OH}) = 0,1\%$ до полного осаждения гидроксида железа (III). Полученную взвесь гидроксида железа (III) отфильтровать, обращая внимание на прозрачность фильтрата. В случае непрозрачного фильтрата добавить на фильтр несколько капель раствора аммиака.

3.2.2 Осадок гидроксида железа (III) на фильтре промыть несколькими порциями дистиллированной воды до исчезновения запаха аммиака. Затем осадок гидроксида железа (III) снять лопаточкой с фильтра и перенести в стакан или в коническую колбу емкостью 250 см^3 .

3.2.3 Добавить в колбу 80 см^3 дистиллированной воды, взболтать до получения однородной взвеси и разлить по 20 см^3 в три пронумерованные колбы. В первую колбу прилить 10 см^3 раствора хлорида железа с $\omega(\text{FeCl}_3) = 2\%$, во вторую – 10 см^3 раствор соляной кислоты с $\text{C}(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$. Третья служит для сравнения.

3.2.4 Содержимое первой и второй колб греть на водяной бане при 75°C 15-20 минут, периодически взбалтывая. После этого содержимое обеих колб отфильтровать через сухой фильтр в отдельные пробирки, обращая внимание на цвет фильтрата:



3.2.5 Написать формулу мицеллы гидроксида железа (III), если стабилизатором является хлорид железа (III) FeCl_3 .

3.3 Получение гидрозоля гидроксида железа (III) из нитрата железа (III) $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$

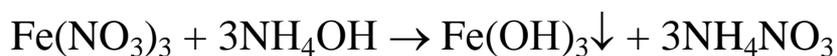
3.3.1 В колбу налить 20 см^3 раствора нитрата железа с $\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 5\%$, 10 см^3 дистиллированной воды и добавить раствор аммиака с $\omega(\text{NH}_4\text{OH}) = 0,1\%$ до полного осаждения гидроксида железа

(III). Полученную взвесь гидроксида железа (III) отфильтровать, обращая внимание на прозрачность фильтрата. В случае непрозрачного фильтрата добавить на фильтр несколько капель раствора аммиака.

3.3.2 Осадок гидроксида железа (III) на фильтре промыть несколькими порциями дистиллированной воды до исчезновения запаха аммиака. Затем осадок гидроксида железа (III) снять лопаточкой с фильтра и перенести в стакан или в коническую колбу емкостью 250 см³.

3.3.3 Добавить в колбу 80 см³ дистиллированной воды, взболтать до получения однородной взвеси и разлить по 20 см³ в три пронумерованные колбы. В первую колбу прилить 10 см³ раствора нитрата железа с $\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 2\%$, во вторую – 10 см³ раствор соляной кислоты с $C(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль/дм}^3$. Третья служит для сравнения.

3.3.4 Содержимое первой и второй колб греть на водяной бане при 60⁰С 15-20 минут, периодически взбалтывая. После этого содержимое обеих колб отфильтровать через сухой фильтр в отдельные пробирки, обращая внимание на цвет фильтрата:



3.3.5 Написать формулу мицеллы гидроксида железа (III), если стабилизатором является нитрат железа (III) $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗМЕРОВ ЧАСТИЦ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ ТУРБИДИМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Цель работы: экспериментальное определение размеров частиц гидрозоля канифоли в воде

Оборудование. Материалы

1. КФО – колориметр фотоэлектрический однолучевой.
2. Насыщенный спиртовой раствор канифоли.
3. Пипетка емкостью 1 см^3 .
4. Колбы мерные емкостью 50 см^3 – 8 шт.
5. Кюветы кварцевые с толщиной поглощающего слоя $l = 30 \text{ мм}$.
6. Фильтровальная бумага.
7. Дистиллированная вода.

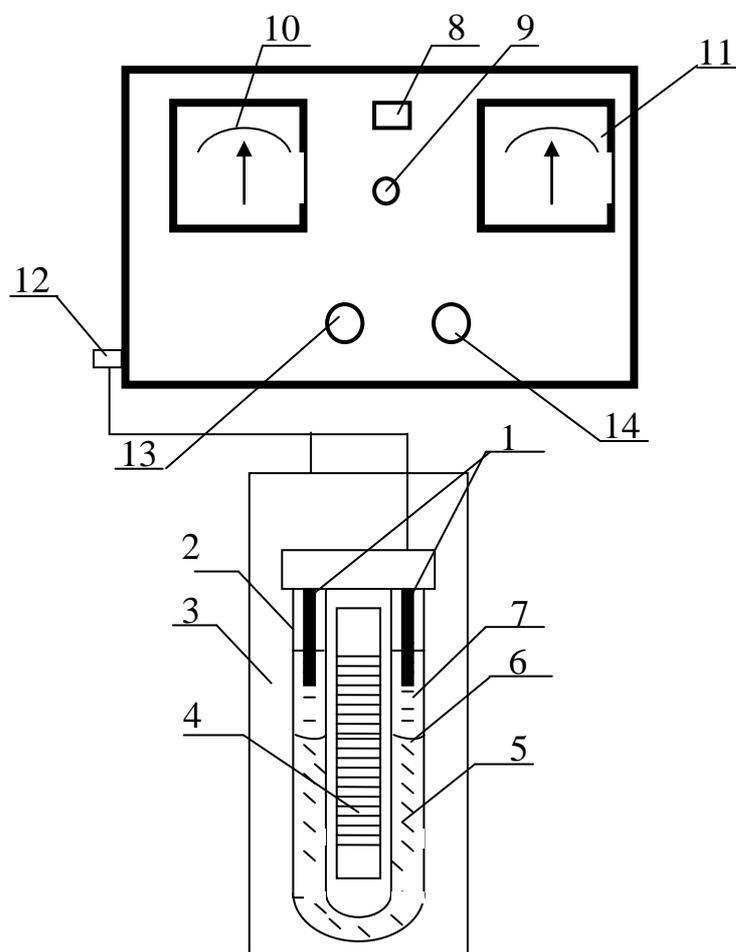
ХОД РАБОТЫ

1 Получить у преподавателя спиртовой раствор канифоли.

2 Измерить показатели преломления H_2O и спиртового раствора канифоли на рефрактометре ИРФ 22 в трех параллельных измерениях. Результаты измерений средних показателей преломления \bar{n} занести в таблицу 2.1.

3 Приготовить 8 дисперсных растворов канифоли различных концентраций в мерных колбах емкостью 50 см^3 . Для чего в каждую мерную колбу пипеткой ввести следующие объемы спиртового раствора канифоли: 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1; 0,12; 0,14; 0,16 см^3 . Объем раствора в каждой колбе довести до метки дистиллированной водой, добавляя воду отдельными порциями и тщательно перемешивая раствор после каждой порции воды.

4 Измерить оптическую плотность каждого из приготовленных дисперсных растворов на фотоэлектроколориметре в кварцевой кювете толщиной 30 мм со светофильтром № 5 ($\lambda = 630 \text{ нм}$). В качестве раствора сравнения используется дистиллированная вода. Оптическую плотность каждого дисперсного раствора D_i определяют в трех параллельных измерениях. Результаты измерений оптической плотности занести в таблицу 2.1.



1 – электроды; 2 – U-образный сосуд; 3 – штатив; 4 – шкала; 5 – гидрозоль; 6 – цветная граница раздела гидрозоль – боковая жидкость; 7 – боковая жидкость; 8 – тумблер включения сети; 9 – индикаторная лампа; 10 – вольтметр; 11 – миллиамперметр; 12 – гнездо для подключения и отключения электродов; 13 – регулятор напряжения; 14 – регулятор силы тока

Рисунок 3.1 – Установка для электрофореза

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПО МЕТОДУ РЕБИНДЕРА

Цель работы: Освоение экспериментального способа определения поверхностного натяжения методом максимального давления проскока воздушного пузырька через поверхность раздела «жидкость-газ».

МАТЕРИАЛЫ И РЕАКТИВЫ

- 1 Микроманометр ММН-240(5)-1.0.
- 2 Аспиратор.
- 3 Стакан емкостью 600 см³.
- 4 Колба трехгорлая емкостью 25 см³.
- 5 Секундомер.
- 6 Термометр.
- 7 Спирт изопропиловый C₃H₈O по ГОСТ 3456-89.
- 8 Гексан C₆H₁₄ по ГОСТ 34578-79.
- 9 Толуол C₇H₉ по ГОСТ 48234-90.
- 10 Вода дистиллированная.

1 КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

1.1 Термодинамические особенности поверхностного слоя на границе раздела «жидкость–газ»

Всякая поверхность раздела фаз отличается по своим свойствам от внутренних областей граничащих фаз. Различие заключается в том, что на поверхности раздела фаз имеется избыток свободной энергии, сосредоточенной в поверхностном слое толщиной в несколько молекул. **Количественной оценкой избыточной поверхностной энергии на границе жидкости с данной средой является удельная поверхностная энергия или поверхностное натяжение:**

$$\sigma = \left(\frac{F^S}{S} \right)_{V,T}, \quad (1.1)$$

где σ –поверхностное натяжение, Н/м;

F^S – избыточная свободная энергия поверхностного слоя, Дж;

S – площадь поверхности раздела фаз, м².

Между избыточными термодинамическими функциями поверхностного слоя жидкости существуют соотношения, аналогичные тем, которые связывают соответствующие объемные функции:

$$F^S = U^S - T \cdot S^S, \quad (1.2)$$

где U^S – внутренняя энергия поверхностного слоя, Дж;

T – температура, К;

S^S – энтропия поверхностного слоя, Дж/К.

Энтропия поверхностного слоя S^S связана со свободной энергией соотношением, аналогичным уравнению Гельмгольца для объемных фаз:

$$S^S = - \left(\frac{dF^S}{dT} \right)_{V, N_i^S}. \quad (1.3)$$

После совместного решения уравнений (1.1), (1.2) и (1.3) и отнесения всех термодинамических характеристик поверхностного слоя к единице поверхности раздела фаз получим **основное уравнение поверхностного слоя – уравнение Гиббса-Гельмгольца** для единицы площади поверхностного слоя:

$$\sigma = U + T \cdot \frac{d\sigma}{dT}, \quad (1.4)$$

где $U = \frac{U^S}{S}$ – внутренняя энергия единицы площади поверхностного слоя, Дж/м²;

$\frac{d\sigma}{dT} = \beta$ – температурный коэффициент поверхностного натяжения.

Таким образом, для определения внутренней энергии единицы площади поверхностного слоя необходимо знать зависимость поверхностного натяжения от температуры. Как известно, при повышении температуры поверхностное натяжение жидкостей снижается. Для большинства неполярных жидкостей при температурах, далеких от критической, **зависимость $\sigma = f(T)$ близка к линейной и в 1-м приближении может быть аппроксимирована соотношением:**

$$\sigma_T = \sigma_0 + \beta \cdot \Delta T, \quad (1.5)$$

где: σ_T – поверхностное натяжение при данной температуре, Н/м;

σ_0 – поверхностное натяжение при стандартной температуре, Н/м;

ΔT – разность между данной и стандартной температурами, К.

$\frac{d\sigma}{dT} = \beta$ – температурный коэффициент поверхностного натяжения.

При температурах, далеких от критической, β – величина практически постоянная и отрицательная.

Более точно температурную зависимость поверхностного натяжения $\sigma = f(T)$ описывает уравнение Ван-дер-Ваальса:

$$\sigma = K \cdot (T_{кр} - T)^{1+\alpha}, \quad (1.6)$$

где K – эмпирическая константа;

$\alpha \cong 0,5$ – для всех жидкостей при температуре, близкой к критической.

При $T = T_{кр}$ исчезает граница раздела между жидкостью и паром, поэтому $\sigma(T_{кр}) = 0$, что позволяет определить критическую температуру любой жидкости по экспериментально установленной зависимости $\sigma = f(T)$.

1.2 Методы определения поверхностного натяжения

Для определения поверхностного натяжения жидкости могут использоваться различные экспериментальные методы:

- метод капиллярного поднятия жидкости;
- метод максимального давления проскока воздушных пузырьков,
- сталагмометрический.

Сталагмометрический метод основан на изучении зависимости числа капель, полученных из определенного объема жидкости (при свободном ее истечении в виде капель) и поверхностным натяжением:

$$\sigma(x) = \sigma(H_2O) \cdot \frac{n(H_2O) \cdot \rho(x)}{n(x) \cdot \rho(H_2O)}, \quad (1.7)$$

где $\sigma(x)$ – поверхностное натяжение исследуемой жидкости, Н/м;

$\sigma(H_2O)$ – поверхностное натяжение жидкости сравнения, Н/м;

$n(H_2O), n(x)$ – число капель, образующихся при вытекании воды и исследуемой жидкости из объема сталагмометра;

$\rho(H_2O), \rho(x)$ – плотность воды и исследуемой жидкости, кг/м³.

Метод капиллярного поднятия жидкости основан на изучении зависимости высоты подъема жидкости h в стеклянном капилляре диаметром 0,5–1,0мм от поверхностного натяжения и плотности

жидкости. Согласно уравнению Жорена поверхностное натяжение жидкости определяется как:

$$\sigma = \frac{\rho \cdot g \cdot h \cdot r \cdot \cos \theta}{2}, \quad (1.8)$$

где σ – поверхностное натяжение, Н/м;

h – высота поднятия жидкости в капилляре, м;

r – радиус капилляра, м;

θ – краевой угол смачивания.

Метод измерения максимального давления основан на изучении зависимости максимального давления P проскока воздушного пузырька через границу раздела жидкость – воздух от величины поверхностного натяжения жидкости:

$$P = \frac{2 \cdot \sigma}{r}, \quad (1.9)$$

откуда:

$$\sigma = P \cdot \frac{r}{2}. \quad (1.10)$$

Чаще всего используется относительный метод наибольшего давления проскока воздушных пузырьков или метод Ребиндера, при котором поверхностное натяжение исследуемой жидкости рассчитывается по формуле:

$$\sigma(x) = \sigma(H_2O) \cdot \frac{P(x)}{P(H_2O)}, \quad (1.11)$$

где $P(x), P(H_2O)$ – давление проскока воздушного пузырька через исследуемую жидкость и жидкость сравнения (H_2O), Па;

$\sigma(H_2O)$ – поверхностное натяжение воды при температуре определения, Н/м.

2 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Определение поверхностного натяжения исследуемой жидкости методом максимального давления проскока воздушного пузырька через поверхность раздела «жидкость-газ» (метод Ребиндера) проводится на установке, схема которой представлена на рисунке 2.1.

Ход работы

2.1 Подготовка установки к измерению поверхностного натяжения

Проверить горизонтальность установки микроманометра ММН–240(5)–1.0 по уровням. В случае отклонения – добиться горизонтальности вращением регулировочных ножек.

Проверить измерительную систему на герметичность.

Для чего:

1 В тщательно вымытую и сухую трехгорлую колбу 2 пипеткой налить 8 см^3 дистиллированной воды.

2 Закрывать колбу 2 резиновой пробкой с капилляром 1, осторожно вращая ее и устанавливая таким образом, чтобы конец капилляра только соприкасался с поверхностью H_2O , не погружаясь в жидкость.

3 Отсоединить измерительную систему от атмосферы перекрытием крана 3.

4 Создать некоторое разрежение в системе открытием крана 8 и выпуском небольшого количества воды из аспиратора 6.

5 Закрывать кран 8, наблюдая при этом за уровнем спирта в измерительной трубке микроманометра 5.

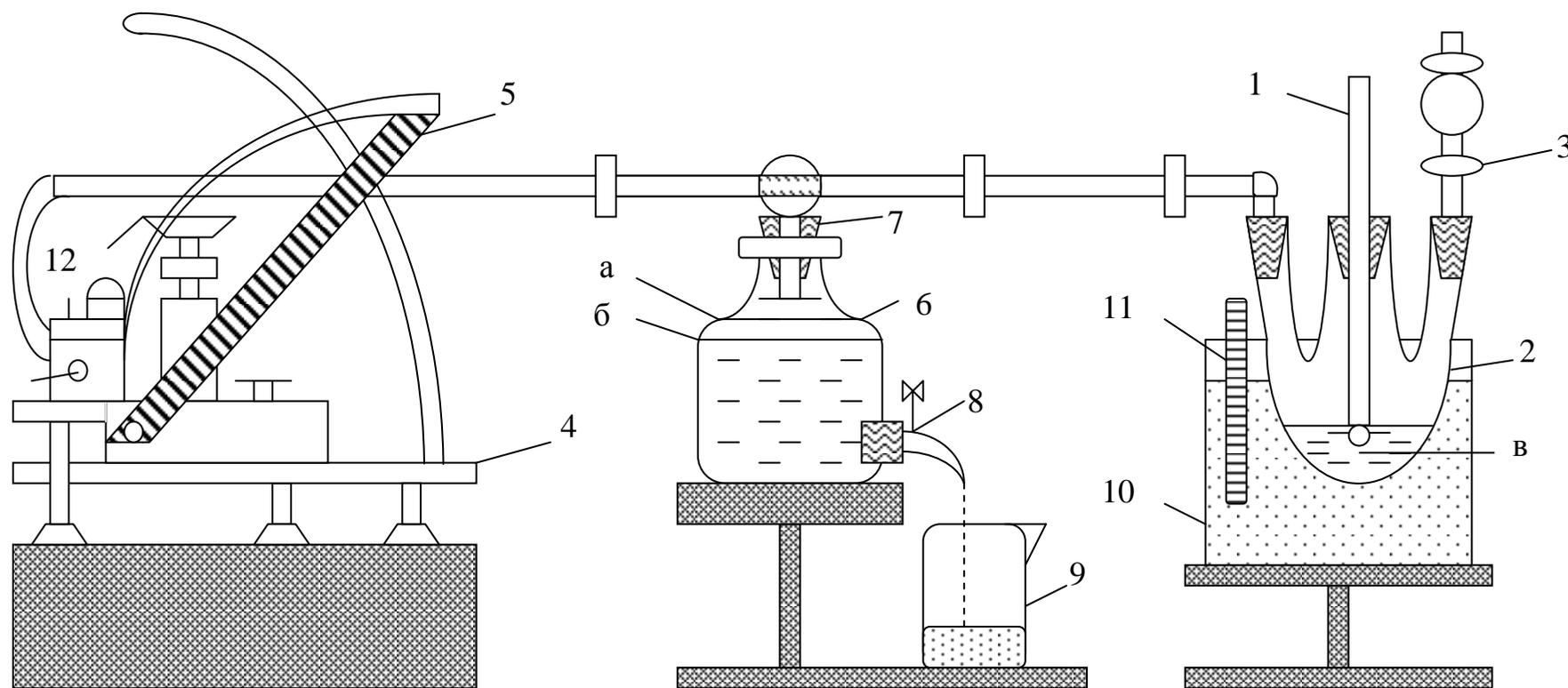
Если уровень спирта в трубке 5 не изменяется в течение 2 минут, то система достаточно герметична и можно приступать к измерению поверхностного натяжения.

Если уровень спирта в трубке 5 в течение 2 минут уменьшается – необходимо проверить герметичность всех соединений в системе.

6 Открыть кран 3 соединения системы с атмосферой.

7 Проверить нулевой уровень жидкости в измерительной трубке 5 микроманометра. В случае необходимости подрегулировать нулевой уровень спирта с помощью ручки подсоса 12.

8 Дополнить уровень жидкости в аспираторе 6 до начальной отметки «а».



1 – капилляр для выпуска пузырьков воздуха; 2 – трехгорлая колба с исследуемой жидкостью; 3 – кран для соединения трехгорлой колбы с атмосферой; 4 – микроманометр ММН-240(5)-1,0; 5 – измерительная трубка микроманометра; 6 – аспиратор для создания вакуума над исследуемой жидкостью в трехгорлой колбе; 7 – пробка с трехходовым краном; 8 – выпускной кран аспиратора; 9, 10 – стакан емкостью 600 см³; 11 – термометр; а – начальный уровень воды в аспираторе; б – конечный уровень воды в аспираторе; в – пузырек воздуха.

Рисунок 2.1 – Установка для определения поверхностного натяжения по методу П.А. Ребиндера

9 Закрыть кран 3 соединения с атмосферой.

10 Зафиксировать температуру, при которой проводится измерение поверхностного натяжения и занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Экспериментальные данные для расчёта поверхностного натяжения

№	Исслед. жидкость	Показания манометра $H_{\max, i}$, кгс/м ²	Макс. давление проскока P_i , Па	Среднее макс. давление проскока \bar{P} , Па	Тем-ра измерения T , К	Поверх. натяжение исслед. жидкости $\sigma(x)$, Н/м
1	Вода H ₂ O					
2	Спирт изопропил. C ₃ H ₈ O					
3	Гексан C ₆ H ₁₄					
4	Толуол C ₇ H ₈					

2.2 Измерение поверхностного натяжения жидкости сравнения (H₂O)

Измерение поверхностного натяжения проводится по следующему алгоритму:

1 Проверить правильность установки капилляра 1 на границе раздела «жидкость – газ».

2 При закрытом кране 3 поворотом крана 8 аспиратора отрегулировать скорость проскока воздушных пузырьков – 6 пузырьков в минуту (по секундомеру).

3 Через 30 секунд после регулировки при установившейся скорости проскока пузырьков снять показания максимального давления H_{\max} (H₂O) с измерительной трубки 5 микроманометра.

Результат измерения занести в таблицу 2.1.

Внимание: Измерение максимального давления проскока $H_{\max, i}$ проводить для пяти воздушных пузырьков.

2.3 Измерение поверхностного натяжения исследуемой жидкости

1 Открыть кран 3, соединяющий систему с атмосферой.

2 В чистую и сухую трехгорлую колбу 2 пипеткой налить 8 см³ исследуемой жидкости.

3 Закрывать колбу 2 резиновой пробкой с капилляром 1; медленно вращая капилляр, установить его на поверхности раздела «жидкость – газ».

4 Закрывать кран 3.

5 Поворотом аспираторного крана 8 отрегулировать скорость проскока воздушных пузырьков через границу раздела «исследуемая жидкость – газ» – 6 пузырьков в минуту по секундомеру.

6 Через 30 секунд после регулировки при установившейся скорости проскока пузырьков снять показания максимального давления $H_{\max, i}$ с измерительной трубки 5 микроманометра (три параллельных измерения на каждую исследуемую жидкость).

Результат измерения занести в таблицу 2.1.

2.4 Обработка экспериментальных данных

1 По экспериментально полученным значениям высоты столба жидкости в измерительной трубке $H_{\max, i}$ рассчитать максимальное давление проскока воздушного пузырька по формуле:

$$P = 10 \cdot K \cdot H_{\max, i}, \quad (2.1)$$

где $H_{\max, i}$ – экспериментальная высота столба жидкости в измерительной трубке, кгс/м²;

$K = 0.2$ – коэффициент, характеризующий угол наклона измерительной линейки микроманометра;

P – максимальное значение проскока воздушного пузырька, Па.

2 Рассчитать величину поверхностного натяжения исследуемой жидкости по формуле:

$$\sigma(x) = \sigma(H_2O) \cdot \frac{\overline{P}(x)}{\overline{P}(H_2O)}, \quad (2.2)$$

где $\sigma(x)$ – поверхностное натяжение исследуемой жидкости, Н/м;

$\sigma(H_2O)$ – поверхностное натяжение жидкости сравнения H₂O, Н/м (берется из таблицы 2.2);

$\overline{P}(x)$ – максимальное давление проскока воздушного пузырька на границе раздела исследуемая «жидкость-воздух», Па;

$\overline{P}(H_2O)$ – максимальное давление проскока воздушного пузырька на границе раздела «H₂O – воздух», Па.

Таблица 2.2 – Зависимость величины поверхностного натяжения H_2O от температуры

№	Температура К	$\sigma \cdot 10^3$ Н/м	№	Температура К	$\sigma \cdot 10^3$ Н/м
1	283	74,22	11	293	72,75
2	284	75,07	12	294	72,59
3	285	73,93	13	295	72,44
4	286	73,78	14	296	72,28
5	287	73,64	15	297	72,13
6	288	73,49	16	298	71,97
7	289	73,34	17	299	71,82
8	290	73,19	18	300	71,66
9	291	73,05	19	301	71,50
10	292	72,95			

3 Рассчитанные значения поверхностного натяжения исследуемой жидкости $\sigma(x)$ занести в таблицу 2.1.

4 Сделать выводы по проделанной работе.

3 техника безопасности

1 Перед началом работы убедиться в целостности всех соединительных трубок в измерительной системе, исправности микроманометра ММН-240(5)-1.0, заполнении спиртом измерительной части микроманометра.

2 Убедиться в целостности трехгорлой колбы, аспираторной склянки и капилляра, т.е. отсутствии трещин, сколов и т.п.

3 Проверить герметичность шлифованных и резиновых соединений, трехходовых кранов и резиновой пробки при введении капилляра в трехгорлую колбу.

4 Осторожно, медленно открывать кран аспиратора при установке заданной скорости проскока воздушных пузырьков через поверхность раздела «жидкость-газ».

5 **ВНИМАНИЕ:** Вынимать капилляр из трехгорлой колбы следует с большой осторожностью во избежание растрескивания колбы.

6 По окончании эксперимента тщательно отмыть от остатков ПАВ трехгорлую колбу и измерительный капилляр, поместить их в сушильный шкаф.

7 **ВНИМАНИЕ:** По окончании эксперимента органические жидкости выливать только в органический слив в вытяжном шкафу.

4 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Термодинамические особенности поверхности раздела «жидкость – газ».
- 2 Поверхностное натяжение: сущность явления, определение, единицы измерения.
- 3 Внутреннее давление в жидкостях.
- 4 Определение поверхностного натяжения: два варианта.
- 5 Основное уравнение термодинамики поверхностного слоя Гиббса-Гельмгольца.
- 6 Факторы, влияющие на поверхностное натяжение.
- 7 Влияние кривизны поверхности раздела фаз на поверхностное натяжение.
- 8 Влияние температуры на поверхностное натяжение.
- 9 Влияние растворенных веществ на поверхностное натяжение.
- 10 Методы определения поверхностного натяжения.
- 11 Сталагмометрический метод определения поверхностного натяжения.
- 12 Метод капиллярного поднятия жидкости.
- 13 Метод определения максимального давления проскока воздушного пузырька через границу раздела «жидкость-газ» (метод П.А.Ребиндера).
- 14 Лабораторная установка для измерения максимального давления проскока воздушного пузырька через границу раздела «жидкость-газ» (метод П.А.Ребиндера).

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАКА ЗАРЯДА КОЛЛОИДНЫХ ЧАСТИЦ ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Цель работы: определение знака заряда коллоидных частиц электрофоретическим методом

Электрокинетические явления

Для дисперсных ультрамикрорегетерогенных систем характерными являются свойства, к которым относятся:

- 1 Электрофорез – движение частиц дисперсной фазы относительно дисперсионной среды под действием постоянного электрического тока.
- 2 Электроосмос – движение дисперсионной среды относительно неподвижной дисперсной фазы под действием постоянного электрического тока.
- 3 Потенциал седиментации – возникновение разности потенциалов при оседании частиц дисперсной фазы.
- 4 Потенциал протекания – возникновение разности потенциалов при протекании (продавливании) коллоидного раствора через пористую перегородку.

Электрокинетические явления в дисперсных системах связаны с наличием на поверхности коллоидных частиц двойного электрического слоя (ДЭС), состоящего из заряженной поверхности коллоидной частицы с потенциалом φ_0 и противоположно заряженной части слоя, в которой находятся противоионы.

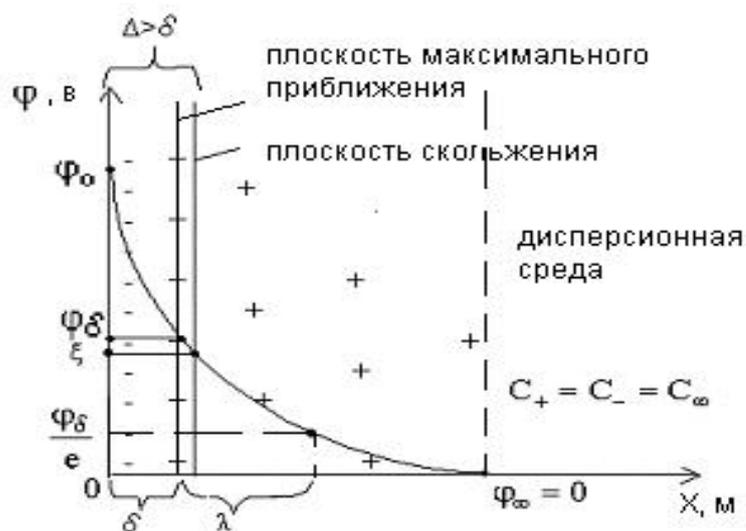


Рисунок 1.1 – Двойной электрический слой и изменение в нем потенциала с расстоянием X от поверхности частицы

Заряд поверхности коллоидной частицы φ_0 определяется зарядом ионов, избирательно адсорбирующихся на ней из дисперсионной среды и непосредственно примыкающих к поверхности коллоидной частицы. Эти ионы составляют первый слой плотного адсорбционного слоя (слоя Гельмгольца) ДЭС. Противоионы ДЭС пространственно распределяются между двумя слоями ДЭС. Одна часть противоионов входит в состав плотного адсорбционного слоя и удерживается в нем за счет электростатического взаимодействия с ионами, определяющими заряд поверхности частицы на расстоянии нескольких ионных радиусов от поверхности частицы. Другая часть противоионов под действием теплового движения распространяется в глубь жидкой фазы, образуя так называемый диффузионный слой (слой Гуи) (рисунок 1.1):

Толщина плотного слоя Гельмгольца принимается равной нескольким ионным радиусам противоионов. Эту часть ДЭС можно рассматривать как плоский конденсатор, потенциал которого с увеличением расстояния от поверхности частицы снижается линейно от φ_0 до φ_δ , представляющего собой потенциал так называемой плоскости максимального приближения, т.е. воображаемой поверхности, проведенной через центры первого слоя противоионов. Потенциал плоскости максимального приближения представляет собой потенциал на границе плотного слоя и диффузионного размытого слоя φ_δ .

Согласно теории Гуи-Чепмена для слабозаряженной поверхности изменение потенциала в диффузионной части ДЭС является функцией распределения заряженных ионов, т.е. $\varphi_\delta = f(C_+, C_-)$.

Число противоионов в двойном электрическом слое уменьшается по мере удаления от границы диффузионного слоя по экспоненциальному закону Больцмана, т.е.:

$$C_+ = C_\infty \cdot e^{-\frac{F \cdot z \cdot \varphi_x}{RT}}; \quad C_- = C_\infty \cdot e^{\frac{F \cdot z \cdot \varphi_x}{RT}}, \quad (1.1)$$

где: C_∞ – концентрация электролита в растворе при $\varphi_\infty = 0$, моль/дм³; F – константа Фарадея; z – заряд катиона и аниона; φ – потенциал на расстоянии x от границы диффузионного слоя, β.

Соответственно потенциал в диффузионной части слоя снижается с расстоянием также по экспоненциальной зависимости:

$$\varphi_x = \varphi_\delta \cdot e^{-\beta \cdot x}, \quad (1.2)$$

где: φ_δ – потенциал на границе диффузионного слоя, В; φ_x – потенциал на расстоянии x от границы диффузионного слоя, В; β ; $\beta = 1/\lambda$ – величина, обратная толщине диффузионного слоя λ , м⁻¹.

Из уравнения (1.2) следует, что за толщину диффузионного слоя принимается расстояние λ , на котором потенциал диффузионной части слоя φ_δ уменьшается в e раз (рисунок 1.1):

$$\lambda = \frac{1}{\beta} = \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot RT}{2 \cdot F^2 \cdot I}} = K \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon \cdot T}{\sum_i C_{oi} \cdot z_i^2}}, \quad (1.3)$$

где: ε_0 – диэлектрическая постоянная, Ф/м; ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды; $I = \frac{1}{2} \sum C_{oi} \cdot z_i^2$ – ионная сила раствора; C_{oi} – концентрация иона в растворе, моль/дм³; K – постоянная Больцмана.

Плотность поверхностного заряда σ [Кл/м²] на границе диффузионного слоя рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \frac{\varepsilon \cdot \beta}{4 \cdot \pi} \cdot \varphi \quad (1.4)$$

Емкость диффузионного слоя C_δ [Кл/В = Ф] представляет собой отношение заряда на границе диффузионного слоя к потенциалу, который заряжает диффузионный слой:

$$C_\delta = \frac{\varepsilon \cdot \beta}{4 \cdot \pi} = \frac{\varepsilon}{4 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot F^2 \cdot I}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot RT}} \quad (1.5)$$

1.2 Мицеллярная теория строения коллоидных частиц

В соответствии с теорией ДЭС мицеллярная теория строения коллоидных частиц различает в составе мицеллы две основные части: внутреннюю – нейтральную и внешнюю – ионогенную, в свою очередь, состоящую из двух слоев: плотного адсорбционного и размытого, диффузионного, составляющих двойной электрический слой на поверхности каждой частицы гидрозоля.

Основу мицеллы составляет труднорастворимый агрегат нейтральных атомов или молекул дисперсной фазы, имеющий кристаллическую структуру (рисунок 1.2):

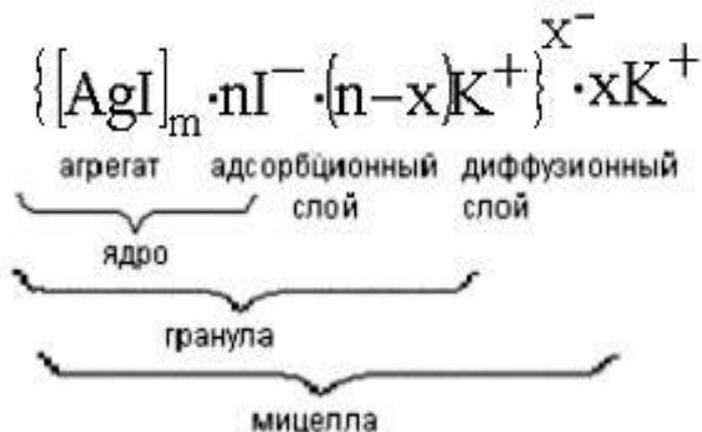


Рисунок 1.2 – Схема строения коллоидной мицеллы на примере мицеллы иодистого серебра

На поверхности нейтрального агрегата, согласно правилу Панета-Фаянса, предпочтительно адсорбируются ионы, способные достраивать его кристаллическую решетку или образующие с ионами, входящими в состав кристаллической решетки, труднорастворимые соединения. Ионы, адсорбирующиеся на поверхности агрегата, сообщают заряд ϕ_0 поверхности агрегата коллоидной частицы, поэтому они носят название потенциалообразующих или потенциалоопределяющих ионов.

Агрегат вместе с адсорбированными на его поверхности потенциалоопределяющими ионами составляют ядро мицеллы.

В непосредственной близости от ядра, на расстоянии нескольких ионных радиусов, в адсорбционном слое находится часть противоионов, заряд которых не компенсирует заряда потенциалоопределяющих ионов. Эта часть противоионов настолько прочно связана с ядром адсорбционными и электростатическими силами взаимодействия, что в электрическом поле движется вместе с адсорбционным слоем противоионов и составляет заряженную часть мицеллы с ядром. Ядро вместе с частью прочно удерживаемых противоионов носит название частицы или гранулы.

Другая часть противоионов, необходимая для полной компенсации заряда потенциалоопределяющих ионов, находится под непосредственным влиянием теплового движения молекул дисперсионной среды; рас-

полагается на периферической части мицеллы, граничащей с дисперсионной средой, и составляет размытый, диффузионный слой мицеллы.

Смещение фаз в дисперсионной системе относительно друг друга, вызванное внешними силами (например, электрическим полем) происходит по поверхности скольжения, которая не всегда совпадает с плоскостью максимального приближения и проходит несколько правее нее на расстоянии Δ от поверхности агрегата мицеллы (рисунок 1.1). Потенциал на поверхности скольжения называется электрокинетическим потенциалом ξ . Он играет важную роль в агрегативной устойчивости дисперсных систем. Его можно рассчитать, измеряя скорость относительного смещения фаз при электрокинетических явлениях.

Для расчета электрокинетического потенциала по данным изучения электрокинетических явлений применяются формулы Гельмгольца-Смолуховского:

$$\text{а) при электрофорезе} \quad \xi = \frac{\eta}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot H} \cdot v; \quad (1.6)$$

$$\text{б) при электроосмосе} \quad \xi = \frac{\eta}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot H} \cdot W = \frac{\eta \cdot \varkappa}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot I} \cdot W \quad (1.7)$$

С учетом поправки на поверхностную проводимость \varkappa_s , представляющей собой увеличение проводимости раствора в капилляре вследствие повышенной концентрации ионов в двойном электрическом слое:

$$\xi = \frac{\eta \cdot W(\varkappa_v + \varkappa_s)}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot I}; \quad (1.8)$$

в) при измерении потенциала протекания

$$\xi = \frac{\varkappa \cdot \eta}{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \Delta P} \cdot E, \quad (1.9)$$

Где ξ – электрокинетический потенциал, в; $v = \frac{h}{\tau}$ – скорость движения дисперсной фазы, м/с; $w = v/\tau$ – объемная скорость движения дисперсной фазы, м³/с; η – вязкость среды, па·с; ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды; ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость вакуума, ф/м; $n = e/l$ – напряженность электрического поля, в/м; e – напряжение, приложенное к электродам; l – расстояние между электродами, м; \varkappa – удельная электропроводность, ом⁻¹·м⁻¹; i – сила тока, а; δp – приложенная к системе разность гидростатических давлений, па.

Оборудование. Материалы

1. Установка для электрофореза.
2. Выпрямитель с регулируемой силой тока (0-150 мА) и напряжением (0-300 В).
3. Химический стакан емкостью 100 см³ – 2 штуки.
4. Цилиндр мерный на 100 см³.
5. Пипетка медицинская.
6. Хлорид аммония безводный NH₄Cl по ГОСТ 15687 – 75.
7. Натрия гидроксид, водный раствор C(NaOH) = 2моль/дм³.
8. Гидрозоль берлинской лазури.
9. Гидрозоль гидроксида железа.
10. Вода дистиллированная.

ХОД РАБОТЫ

1 Определение знака заряда коллоидных частиц в гидрозоле гидроксида железа (III)

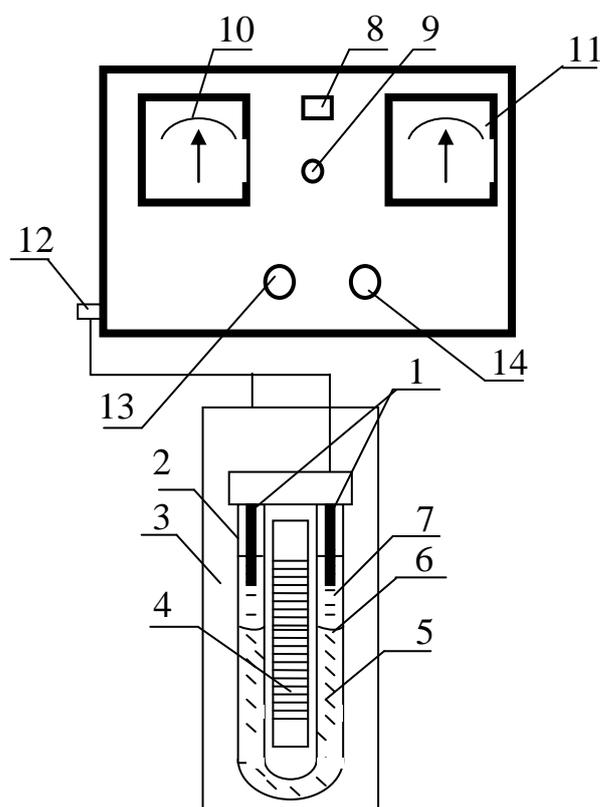
1.1 Подготовка электрофоретической установки к работе

Включить выпрямитель в сеть (рисунок 2.1).

Внимание! Предварительно отключить электроды от прибора, вытащив вилку 5 из гнезда. Переключить тумблер 4 в нижнее положение, загорится индикаторная лампа 2. Проследить за тем, чтобы показания вольтметра 1 и миллиамперметра 3 были нулевыми. В таком положении прогревать прибор в течение 20-30 минут.

1.2 Приготовление рабочего раствора боковой жидкости электролита NH₄Cl с массовой долей $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,4\%$

В стакан емкостью 500 см³ налить 250 см³ воды. На аналитических весах взвесить 1,0000 грамм NH₄Cl. Навеску растворить в колбе с водой. Полученный раствор будет иметь массовую долю $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,4\%$.



1 – электроды; 2 – U-образный сосуд; 3 – штатив; 4 – шкала; 5 – гидрозоль; 6 – цветная граница раздела гидрозоль – боковая жидкость; 7 – боковая жидкость; 8 – тумблер включения сети; 9 – индикаторная лампа; 10 – вольтметр; 11 – миллиамперметр; 12 – гнездо для подключения и отключения электродов; 13 – регулятор напряжения; 14 – регулятор силы тока

Рисунок 2.1 – Установка для электрофореза

1.3 Создание четкой границы раздела гидрозоль – боковая жидкость в U-образной трубке

1.3.1 Тщательно промыть водой U-образную трубку 2. При сильном загрязнении промывать раствором NaOH с концентрацией $C(\text{NaOH}) = 2 \text{ моль/дм}^3$.

1.3.2 Закрепить U-образную трубку в штативе (рисунок 2.1).

1.3.3 С помощью воронки залить гидрозоль гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в U-образную трубку до отметки «20» ниже нуля по шкале прибора по нижнему мениску $V(\text{золя}) \sim 8 \text{ см}^3$.

1.3.4 Медицинской пипеткой, осторожно, по стенке U-образной трубки, залить боковую жидкость (раствор NH_4Cl $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,4\%$) до отметки на шкале «40» (рисунок 2.1).

Внимание! Боковую жидкость вводить очень осторожно, избегая перемешивания с гидрозолем гидроксида железа (III), до получения четкой видимой границы раздела гидрозоль – боковая жидкость.

1.3.5 Если не удалось получить четкую границу раздела гидрозоль – боковая жидкость, U-образную трубку промыть водой и повторить пункты (2.3.1) – (2.3.4).

1.4 Определение направления смещения «цветной границы»

1.4.1 Опустить электроды в колена U-образной трубки примерно на 2-3 см выше границы раздела фаз гидрозоль – боковая жидкость.

Внимание! Погружать электроды в боковую жидкость следует очень осторожно, во избежание нарушения четкой границы раздела гидрозоль – боковая жидкость.

1.4.2 Подключить вилку к выпрямителю в гнездо с надписью «электроды» (рисунок 2.1).

1.4.3 Поворотом рукоятки 13 установить напряжение $U = 80\text{В}$ на вольтметре 1, а поворотом рукоятки 14 установить силу тока $I = 20\text{ мА}$ на миллиамперметре 11.

1.4.4 Зафиксировать смещение цветной границы к одному из электродов. Результат занести в таблицу 2.1.

1.4.5 Выключить электрофоретическую установку из сети. Извлечь электроды из U-образной трубки 2, протереть.

1.4.6 Тщательно промыть водой U-образную трубку 2. При сильном загрязнении промывать раствором NaOH с концентрацией $C(\text{NaOH}) = 2\text{ моль/дм}^3$.

1.4.7 Закрепить U-образную трубку в штативе (рисунок 2.1).

2 Определение знака заряда коллоидных частиц гидрозоля берлинской лазури

2.1 Приготовление боковой жидкости электролита NaOH молярной концентрацией $C(\text{NaOH}) = 0,02\text{ моль/дм}^3$

В коническую колбу емкостью 50 см^3 налить 40 см^3 воды и $0,4\text{ см}^3$ раствора NaOH с концентрацией $C(\text{NaOH}) = 2\text{ моль/дм}^3$. Полученный раствор перемешать.

2.2 Создание четкой границы раздела гидрозоль – боковая жидкость в U-образной трубке

2.2.1 С помощью воронки залить гидрозоль берлинской лазури в U-образную трубку до отметки «20» ниже нуля по шкале прибора по нижнему мениску $V(\text{золя}) \sim 8 \text{ см}^3$.

2.2.2 Медицинской пипеткой, осторожно, по стенке U-образной трубки залить боковую жидкость (раствор NaOH с $C(\text{NaOH}) = 2 \text{ моль/дм}^3$) до отметки на шкале «40» (рисунок 2.1).

Внимание! Боковую жидкость вводить очень осторожно, избегая перемешивания с гидрозолем берлинской лазури, до получения четкой видимой границы раздела гидрозоль – боковая жидкость.

2.2.3 Если не удалось получить четкую границу раздела гидрозоль – боковая жидкость, U-образную трубку промыть водой и повторить пункты (3.2.1) – (3.2.2).

2.3 Определение направления смещения «цветной границы»

2.3.1 Опустить электроды в колена U-образной трубки примерно на 2-3 см выше границы раздела фаз гидрозоль – боковая жидкость.

Внимание! Погружать электроды в боковую жидкость следует очень осторожно, во избежание нарушения четкой границы раздела гидрозоль – боковая жидкость.

2.3.2 Включить электрофоретическую установку в сеть тумблером 8 (рисунок 2.1).

2.3.3 Поворотом рукоятки 13 установить напряжение $U = 100 \text{ В}$ на вольтметре 1, а поворотом рукоятки 14 установить силу тока $I = 30 \text{ мА}$ на миллиамперметре 11.

2.3.4 Наблюдать смещение цветной границы к одному из электродов. Результаты занести в таблицу 2.1.

3 Вывод

3.1 По результатам электрофоретических наблюдений определить знак заряда коллоидных частиц в случае:

- а) гидрозоля гидроксида железа;
- б) гидрозоля берлинской лазури.

3.2 Объяснить различный заряд коллоидных частиц исследуемых гидрозолей на основе строения их мицелл.

Таблица 2.1 – Экспериментальные данные

Гидрозоль	Направление смещения цветной границы	Мицелла	Заряд коллоидной частицы

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ГИДРОЗОЛЯ ГИДРОКСИДА ЖЕЛЕЗА (III)

Цель работы: определение электрокинетического потенциала гидрозоль методом смещения подвижной цветной границы

Оборудование. Материалы

1. Установка для электрофореза.
2. Выпрямитель с регулируемой силой тока (0-150 мА) и напряжением (0-300 В).
3. Ареометр (700-1000 кг/м³).
4. Конические колбы емкостью 250 см³ (3 шт.).
5. Стакан химический емкостью 500 см³.
6. Цилиндр мерный емкостью 100 см³.
7. Пипетка медицинская.
8. Гидроксид аммония концентрацией $C(\text{NH}_4\text{OH}) = 1$ моль/дм³
9. Хлорид аммония безводный NH_4Cl по ГОСТ 14657 – 75.
10. Хлорид железа $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ по ГОСТ 35642 – 69.
11. Вода дистиллированная.

ХОД РАБОТЫ

1 Подготовка электрофоретической установки к работе

Включить выпрямитель в сеть (рисунок 2.1).

Внимание! Предварительно отключить электроды от прибора, вытащив вилку 12 из гнезда. Переключить тумблер 8 в нижнее положение, загорится индикаторная лампа 9. Проследить за тем, чтобы показания вольтметра 10 и миллиамперметра 11 были нулевыми. В таком положении прогреть прибор в течение 20-30 минут.

2 Приготовление рабочих растворов

2.1 Приготовление раствора хлорида железа (III) с массовой долей $\omega(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 2,0\%$

На технических весах взвесить навеску кристаллогидрата хлорида железа (III) $m(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 3,30$ г. Навеску перенести в химический стакан с 100 см^3 воды (мерный цилиндр) и перемешивать до полного растворения. Полученный раствор хлорида железа (III) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ имеет массовую долю $\omega(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 2,0\%$.

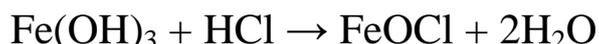
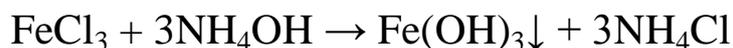
2.2 Приготовление раствора хлорида железа (III) массовой доли $\omega(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 5,0\%$

На технических весах взвесить навеску кристаллогидрата хлорида железа (III) $m(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 9,30$ г. Навеску перенести в химический стакан с 100 см^3 воды (мерный цилиндр) и перемешивать до полного растворения. Полученный раствор хлорида железа (III) $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ имеет массовую долю $\omega(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 5,0\%$.

2.3 Приготовление боковой жидкости электролита NH_4Cl с массовой долей $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,4\%$

В стакан емкостью 500 см^3 налить 250 см^3 воды. На аналитических весах взвесить $1,0000$ г NH_4Cl . Навеску растворить в колбе с водой. Полученный раствор будет иметь массовую долю $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,4\%$.

3 Приготовление золя гидроксида железа по химической реакции



3.1 Отобрать пипеткой 20 см^3 раствора хлорида железа (III) с $\omega(\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 5\%$ в коническую колбу. В эту же колбу прилить избыток гидроксида аммония концентрацией $C(\text{NH}_4\text{OH}) = 1 \text{ моль/дм}^3$ до образования объемного осадка гидроксида железа коричневого цвета.

3.2 Приготовить воронку с фильтром и установить ее в чистую коническую колбу емкостью 250 см^3 . Осадок гидроксида железа отфильтровать через сухой фильтр. Осадок на фильтре промыть водой до исчезновения запаха аммиака.

3.3 Промытый осадок $\text{Fe}(\text{OH})_3$ аккуратно собрать с фильтровальной бумаги лопаточкой и поместить его в пустую коническую колбу емкостью 250 см^3 .

3.4 Осадок разбавить 80 см^3 дистиллированной воды. Прилить к разбавленному осадку 40 см^3 раствора хлорида железа с $\omega = 2,0\%$.

3.5 Полученную смесь поставить нагреваться на водяной бане при постоянном перемешивании.

Внимание! Следить за температурой водяной бани. Смесь нагревать до температуры 70°C после чего отключить подогрев воды и оставить остывать смесь в водяной бане до температуры 40°C .

3.6 Полученный гидрозоль гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ должен быть прозрачным и иметь коричнево-красный цвет.

4 Измерение плотности гидрозоля гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$

Гидрозоль гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ перелить в мерный цилиндр на 100 см^3 и установить его на горизонтальной поверхности. Поместить в цилиндр ареометр с интервалом измерений плотности ($700\text{-}1000\text{ кг/м}^3$) таким образом, чтобы он не касался стенок цилиндра. Снять показания со шкалы ареометра и занести в таблицу 3.1. Гидрозоль гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ должен иметь плотность в пределах $\rho_{\text{золя}} = 975\text{-}995\text{ кг/м}^3$.

5 Измерение вязкости гидрозоля гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$

5.1 Закрепить вискозиметр в штативе.

5.2 Залить полученный гидрозоль в расширенный резервуар вискозиметра ($3/4$ по объему).

5.3 Перевести золь в колено вискозиметра с двумя расширениями выше верхней кольцевой отметки при помощи груши.

5.4 Дать возможность золю опуститься до верхней кольцевой отметки.

5.5 Включить секундомер и зафиксировать время истечения золя от верхней до нижней кольцевой отметки. Измерение времени истечения золя между кольцевыми отметками провести 3 раза.

5.6 Рассчитать коэффициент динамической вязкости η по формуле:

$$\eta = \nu \cdot \rho, [\text{Па}\cdot\text{с}] \quad (3.1)$$

где $\nu = \tau \cdot c$ – кинематический коэффициент вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$; τ – продолжительность истечения контрольного объема жидкости через капилляр, с; c – постоянная вискозиметра в сантистоксах (сст) в соответствии с паспортом вискозиметра ($1\text{ сст} = 1 \cdot 10^{-2}\text{ ст} = 1 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}^2$); ρ – плотность золя по ареометру, (кг/м^3).

6 Создание четкой границы раздела гидрозоль – боковая жидкость в U-образной трубке

6.1 Тщательно промыть водой U-образную трубку 2. При сильном загрязнении трубки – промывать раствором NaOH с концентрацией $C(\text{NaOH}) = 2 \text{ моль/дм}^3$.

6.2 Закрепить U-образную трубку в штативе (рисунок 2.1).

6.3 С помощью воронки залить гидрозоль гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ в U-образную трубку до отметки «20» ниже нуля по шкале прибора по нижнему мениску $V(\text{золя}) \sim 8 \text{ см}^3$.

6.4 Медицинской пипеткой, осторожно, по стенке U-образной трубки, залить боковую жидкость (раствор NH_4Cl $\omega(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,4\%$) до отметки на шкале «40».

Внимание! Боковую жидкость вводить очень осторожно, избегая перемешивания с гидрозолем берлинской лазури, до получения четкой видимой границы раздела гидрозоль – боковая жидкость.

6.5 Если не удалось получить четкую границу раздела гидрозоль – боковая жидкость, U-образную трубку промыть водой и повторить пункты (6.1) – (6.4).

6.6 Опустить электроды в колена U-образной трубки примерно на 2-3 см выше границы раздела фаз гидрозоль – боковая жидкость.

Внимание! Погружать электроды в боковую жидкость следует очень осторожно, во избежание нарушения четкой границы раздела гидрозоль – боковая жидкость.

6.7 Подключить вилку к выпрямителю в гнездо с надписью «электроды» (рисунок 2.1).

6.8 Поворотом рукоятки 13 установить напряжение на вольтметре 1 – 80 В, а поворотом рукоятки 14 установить силу тока на миллиамперметре 3 – 20 мА.

6.9 Зафиксировать время подачи тока в систему (по часам); начальное положение границы гидрозоля и занести в таблицу 3.1.

6.10 Следить за смещением границы гидрозоль – боковая жидкость в течение 40 минут, фиксируя уровень цветной границы в правом анодном колене по шкале электрофоретической установки через каждые 10 минут.

6.11 Результаты измерения уровня цветной границы через каждые 10 минут занести в таблицу 3.1.

7 Обработка результатов измерений

7.1 По данным смещения цветной границы h , рассчитать скорость смещения цветной границы гидрозоль – боковая жидкость по формуле:

$$V = \frac{h}{\tau}, [\text{м/с}] \quad (3.2)$$

где h – смещение границы, м; τ – время смешения, с.

7.2 Рассчитать градиент потенциала внешнего поля H по формуле:

$$H = \frac{E}{L}, [\text{В/м}] \quad (3.3)$$

где E – напряжение на электродах, В; L – расстояние между электродами, м.

7.3 Рассчитать электрофоретическую подвижность по формуле:

$$U = \frac{I}{V}, [\text{А} \cdot \text{м/с}] \quad (3.4)$$

где I – сила тока, А; V – скорость смещения цветной границы, м/с.

7.4 Рассчитать величину ζ – потенциала по формуле:

$$\zeta = \frac{4 \cdot \pi \cdot \eta \cdot U}{\varepsilon \cdot H}, [\text{В}] \quad (3.5)$$

где ζ – электрокинетический потенциал гидрозоля берлинской лазури, В; η – динамическая вязкость гидрозоля берлинской лазури, Па·с; U – электрофоретическая подвижность; ε – диэлектрическая проницаемость воды; H – градиент потенциала внешнего поля.

7.5 Результаты расчета занести в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Данные для расчета электрокинетического потенциала

№ отсчета	Время, τ , с	Уровень границы по шкале h , м	Напряжение на электродах, U , В	Сила тока, I , мА	Диэлектрическая проницаемость среды, ε	Вязкость золя, η , Па·с	Скорость смещения U_t , м/с	Электрокинетический потенциал, ζ , мВ

8 Сделать вывод о проделанной работе

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие явления в дисперсных системах относятся к электрокинетическим?
2. Причины электрокинетических явлений в дисперсных системах.
3. Двойной электрический слой (ДЭС).
4. Теории строения двойного электрического слоя: Гемгольца-Перрена; Гуи-Чепмена; Штерна.
5. Потенциалопределяющие ионы.
6. Противоионы.
7. Адсорбционный и диффузионный слой в ДЭС.
8. Изменение потенциала в диффузионной части ДЭС.
9. Толщина диффузионного слоя.
10. Мицеллярная теория строения коллоидных частиц.
11. Избирательная адсорбция ионов на поверхности агрегата коллоидной частицы.
12. Плоскость максимального приближения; плоскость скольжения.
13. Электрокинетический потенциал.
14. Роль электрокинетического потенциала в устойчивости дисперсных систем.
15. Факторы, влияющие на величину электрокинетического потенциала.
16. Методы измерения электрокинетического потенциала.
17. Измерение электрокинетического потенциала методом смещения «цветной границы».
18. Принципиальная схема установки для измерения электрокинетического потенциала методом смещения «цветной границы».
Расчет величины электрокинетического потенциала по смещению цветной границы исследуемый гидрозоль – боковая жидкость

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА КОАГУЛЯЦИИ ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Цель работы: Определение порога коагуляции гидрозолей оптическим методом.

Оборудование. Материалы

1. Колориметр фотоэлектрический КФО.
2. Кюветы кварцевые с длиной поглощающего слоя $l = 20$ мм.
3. Колбы конические емкостью 50 см^3 – 11 шт.
4. Бюретки емкостью 25 см^3 – 3 шт.
5. Раствор K_2SO_4 с концентрацией $C(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0,005$ моль/дм³.
6. Гидрозоль гидроксида железа (III).
7. Вода дистиллированная.

ХОД РАБОТЫ

1 Получить гидрозоль гидроксида железа (III) у преподавателя.

2 Приготовление серии растворов гидрозоля с различным количеством электролита-коагулятора

2.1 В 11 конических колб емкостью 50 см^3 пипеткой налить по 10 см^3 гидрозоля гидроксида железа (III).

2.2 В каждую колбу с гидрозолем добавить воды и электролита-коагулятора в количестве, указанном в таблице. Полученные растворы тщательно перемешать.

2.3 Через 1 минуту после приготовления каждого раствора измерить оптическую плотность раствора на фотоэлектрическом колориметре КФО.

3 Измерение оптической плотности растворов на фотоэлектрическом колориметре КФО

3.1 Включить прибор в сеть за 30 минут до начала работы тумблером «сеть», предварительно открыв крышку кюветного отделения.

3.2 Установить светофильтр при помощи ручки «Поглотители».

3.3 При открытом кюветном отделении установить стрелку микроамперметра на ноль (левое крайнее значение верхней шкалы) при помощи ручки «Установка 0».

3.4 Заполнить кварцевую кювету длиной 20 мм раствором сравнения (дистиллированной водой), тщательно протереть рабочие грани кюветы сухим фильтром и поместить кювету в первое отделение (дальнее от работающего) кюветодержателя.

3.5 Заполнить вторую кварцевую кювету длиной 20 мм исследуемым раствором и поместить кювету во второе отделение кюветодержателя.

3.6 Закрыть крышку кюветного отделения и ввести кювету с дистиллированной водой в световой поток поворотом ручки «Кюветы» вправо. Стрелка микроамперметра при этом должна отклониться в правое крайнее положение.

3.7 Установить стрелку микроамперметра на «0» по шкале оптических плотностей D (нижняя шкала) поворотом ручки «Установка 100».

3.8 Ввести кювету с исследуемым раствором в световой поток поворотом ручки «Кюветы» влево. Стрелка микроамперметра при этом отклоняется влево от нулевого положения.

3.9 Считать значение оптической плотности D с нижней шкалы с точностью до третьей значащей цифры. Результаты измерения занести в таблицу 3.1.

3.10. Вернуть кюветы в исходное положение поворотом ручки «Кюветы» вправо.

3.11. Вынуть кювету с исследуемым раствором из кюветодержателя, вылить раствор, заполнить кювету следующим исследуемым раствором и провести измерение оптической плотности D согласно п.п. 2.3.1 – 2.3.10.

4 Обработка результатов измерений

4.1 По результатам измерения построить интегральную кривую зависимости оптической плотности D от объема добавленного к гидрозоль электролита-коагулятора, т.е. $D = f(V_{эл})$.

4.2 Для более точного установления эквивалентного объема электролита-коагулятора $V_{эл}$ определить тангенсы углов наклона касательных к интегральной кривой $D = f(V_{эл})$, полученных в точках, соответствующих изменению объема электролита-коагулятора $V_{эл}$ через каждые $0,5 \text{ см}^3$ (рисунок 3.1).

4.3. По установленным значениям $\text{tg}\alpha_i$ построить дифференциальную кривую зависимости $\frac{\Delta D}{\Delta V} = f(V_{эл})$ (рисунок 3.2), с которой

считать эквивалентный объем электролита-коагулятора с точки максимума на дифференциальной кривой.

4.4 Рассчитать порог коагуляции для каждого электролита-коагулятора по формуле:

$$C_{\text{пор}} = \frac{C \cdot V_{\text{эл}}}{V}, \quad (3.1)$$

где $C_{\text{пор}}$ – порог коагуляции данным электролитом-коагулятором, моль/дм³; $V_{\text{эл}}$ – минимальный объем раствора электролита-коагулятора, вызывающий помутнение гидрозоль гидроксид железа (III) Fe(OH)₃, см³; $V = V_{\text{золя}} + V_{\text{воды}} + V_{\text{эл}}$ – общий объем коагулируемого золя, см³.

5 Сделать вывод по выполненной работе.

Таблица 3.1 – Экспериментальные данные для определения порога коагуляции оптическим методом

	Номер колбы										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Объем золя Fe(OH) ₃ , см ³	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Объем воды, см ³	5,0	4,5	4,0	3,5	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	-
Объем электролита-коагулятора V _{эл} , см ³	-	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
Оптическая плотность D											

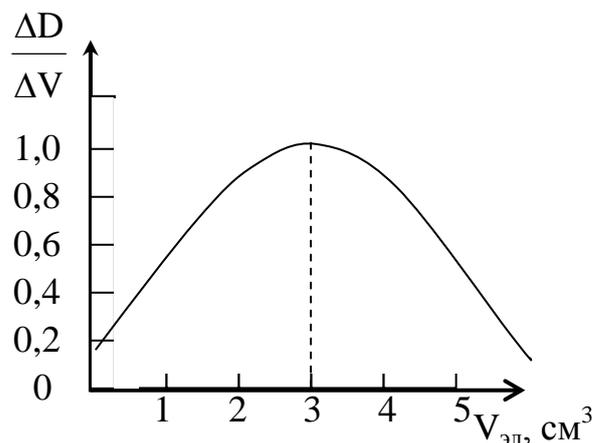
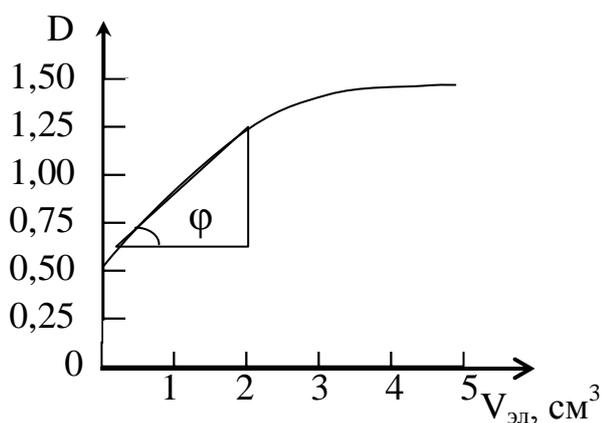


Рисунок 3.1 – Интегральная кривая зависимости оптической плотности золь от объема прибавляемого электролита

Рисунок 3.2 – Дифференциальная кривая зависимости оптической плотности золь от объема прибавляемого электролита

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА КОАГУЛЯЦИИ ГИДРОЗОЛЯ ГИДРОКСИДА ЖЕЛЕЗА (III)

- Цель работы:**
1. Определение порога коагуляции гидрозоля гидроксида железа (III).
 2. Проверка влияния заряда коагулирующего иона на порог коагуляции (правило Шульце-Гарди).

Оборудование. Материалы

1. Пробирки цилиндрические – 24 шт.
2. Бюретки емкостью 25 см³ – 3 шт.
3. Раствор KCl с концентрацией $C(\text{KCl}) = 2$ моль/дм³.
4. Раствор K₂SO₄ с концентрацией $C(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0,05$ моль/дм³.
5. Раствор K₄[Fe(CN)₆] с концентрацией $C(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 0,005$ моль/дм³.
6. Раствор FeCl₃ с концентрацией $\omega(\text{FeCl}_3) = 2\%$.
7. Раствор FeCl₃ с концентрацией $\omega(\text{FeCl}_3) = 5\%$.
8. Раствор NH₄OH с $\omega(\text{NH}_4\text{OH}) = 0,1\%$.

ХОД РАБОТЫ

1 Получение золя гидроксида железа(III) методом пептизации

1.1 В колбу налить 20 см³ раствора хлорида железа с $\omega(\text{FeCl}_3) = 5\%$, 10 см³ дистиллированной воды и добавить раствор аммиака с $\omega(\text{NH}_4\text{OH}) = 0,1\%$ до полного осаждения гидроксида железа (III). Полученную взвесь гидроксида железа (III) отфильтровать, обращая внимание на прозрачность фильтрата. В случае непрозрачного фильтрата добавить на фильтр несколько капель раствора аммиака.

1.2 Осадок гидроксида железа (III) на фильтре промыть несколькими порциями дистиллированной воды до исчезновения запаха аммиака. Затем осадок гидроксида железа (III) снять лопаточкой с фильтра и перенести в стакан или в коническую колбу емкостью 250 см³.

1.3 Добавить в колбу 80 см³ дистиллированной воды, взболтать до получения однородной взвеси. В колбу прилить 40 см³ раствора хлорида железа с $\omega(\text{FeCl}_3) = 2\%$ и нагревать на водяной бане при 75⁰С 15-20 минут, периодически взбалтывая до образования гидрозоля гидроксида железа (III) коричнево-красного цвета.

1.4 Записать уравнение реакции получения золя гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Написать формулу мицеллы гидрозоль гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$, учитывая преимущественную адсорбцию катиона FeO^+ .

2 Приготовление серии растворов электролитов-коагуляторов

2.1 Подготовить три серии пробирок по 8 в каждой для трех коагуляторов: KCl , K_2SO_4 , $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

2.2 Расположить серию пробирок для каждого из коагуляторов в своём ряду штатива.

2.3 В четыре пробирки каждой серии из бюретки добавить по 5 см^3 гидрозоль гидроксида железа (III) $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

2.4 В оставшихся четырех пробирках каждой серии приготовить растворы электролитов-коагуляторов (KCl , K_2SO_4 , $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) различной концентрации. Для этого смешать в них растворы соответствующих электролитов с водой в соотношении, указанном в таблице 3.2.

3 Определение порога коагуляции

3.1 В каждой серии вылить приготовленные по п. 2.4 растворы коагуляторов в пробирки с 5 см^3 гидрозоль гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$, тщательно перемешать их и оставить на 30 минут.

3.2 Через 30 минут отметить наличие помутнения или осадка гидроксида железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Результаты занести в таблицу 3.2 (строки 1-4).

3.3 Для более точного определения порога коагуляции необходимо для каждого электролита-коагулятора приготовить по п. 2.4 вторую серию из четырех растворов. Разбавление коагуляторов второй серии выбирается в интервале между концентрацией в пробирке, где произошла коагуляция, и в ближайшей к ней, где коагуляции не наблюдалось.

3.4 Растворы второй уточненной серии коагуляторов вливаются в пробирки с 5 см^3 гидрозоль гидроксида железа (III) $\text{Fe}(\text{OH})_3$, перемешиваются и оставляются на 30 минут.

3.5 Через 30 минут отметить наличие помутнения или осадка гидроксида железа (III) $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Результаты занести в таблицу 3.2 (строки 5-8).

4 Обработка результатов измерений

4.1 За концентрацию электролита-коагулятора, используемую в расчете порога коагуляции, принимается минимальная концентрация электролита-коагулятора во второй серии, вызывающая помутнение гидрозоль гидроксида железа (III) $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

4.2 Рассчитать порог коагуляции для каждого электролита-коагулятора по формуле:

$$C_{\text{пор}} = \frac{C \cdot V_{\text{эл}}}{V}, \quad (3.2)$$

где $C_{\text{пор}}$ – порог коагуляции данным электролитом-коагулятором, моль/дм³; $V_{\text{эл}}$ – минимальный объём раствора электролита-коагулятора, вызывающий помутнение гидрозоля гидроксида железа (III) $\text{Fe}(\text{OH})_3$, см³; $V = V_{\text{золя}} + V_{\text{воды}} + V_{\text{эл}}$ – общий объём коагулируемого золя.

4.3 По экспериментальным данным сделать вывод о выполнении правила Шульце-Гарди по влиянию заряда коагулирующего иона на порог коагуляции.

Таблица 3.2 – Экспериментальные данные для определения порога коагуляции

Электролит	№ пробы	Объем золя $\text{Fe}(\text{OH})_3$ $V_{\text{золя}}, \text{см}^3$	Объем воды, см^3	Объем электролита $V_{\text{эл}}, \text{см}^3$	Помутнение через 30 мин	Порог коагуляции $C_{\text{пор}}$
KCl	1	5	4.5	0.5		
	2	5	4	1		
	3	5	3	2		
	4	5	1	4		
	5					
	6					
	7					
	8					
K_2SO_4	1	5	4.5	0.5		
	2	5	4	1		
	3	5	3	2		
	4	5	1	4		
	5					
	6					
	7					
	8					
$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	1	5	4.5	0.5		
	2	5	4	1		
	3	5	3	2		
	4	5	1	4		
	5					
	6					
	7					
	8					

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРОГА КОАГУЛЯЦИИ ГИДРОЗОЛЯ БЕРЛИНСКОЙ ЛАЗУРИ

Цель работы: 1. Определение порога коагуляции гидрозоля берлинской лазури.
2. Проверка влияния заряда коагулирующего иона на порог коагуляции (правило Шульце-Гарди).

Оборудование. Материалы

1. Пробирки цилиндрические – 24 шт.
2. Бюретки емкостью 25 см³ – 3 шт.
3. Раствор KCl с концентрацией $C(\text{KCl}) = 2$ моль/дм³.
4. Раствор MgCl₂ с концентрацией $C(\text{MgCl}_2) = 0,005$ моль/дм³.
5. Раствор AlCl₃ с концентрацией $C(\text{AlCl}_3) = 0,002$ моль/дм³.
6. Раствор K₄[Fe(CN)₆] с концентрацией $\omega(\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]) = 0,01\%$.
7. Раствор FeCl₃ с концентрацией $\omega(\text{FeCl}_3) = 2\%$.
8. Раствор H₂C₂O₄ с концентрацией $C(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,1$ моль/дм³.

ХОД РАБОТЫ

1 Получение гидрозоля берлинской лазури методом пептизации

1.1 К 5 см³ раствора хлорида железа с $\omega(\text{FeCl}_3) = 2\%$ прибавить 1 см³ насыщенного раствора гексацианоферрата (II) калия K₄[Fe(CN)₆].

1.2 Полученный осадок берлинской лазури отфильтровать с помощью вакуумного насоса и промыть на фильтре небольшими порциями дистиллированной воды.

1.3 Затем осадок на фильтре обработать раствором щавелевой кислоты с $C(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,1$ моль/дм³ до полного растворения осадка на фильтре, собирая фильтрат гидрозоля Fe₄[Fe(CN)₆]₃ в колбу Бунзена.

1.4 Написать формулу мицеллы берлинской лазури, учитывая преимущественную адсорбцию многозарядного иона [Fe(CN)₆]⁴⁻.

2 Приготовление серии растворов электролитов-коагуляторов

2.1 Подготовить три серии пробирок по 8 в каждой для трех коагуляторов: KCl, MgCl₂, AlCl₃.

2.2 Расположить серию пробирок для каждого из коагуляторов в своём ряду штатива.

2.3 В четыре пробирки каждой серии из бюретки добавить по 5 см³ гидрозоль берлинской лазури.

2.4 В оставшихся четырех пробирках каждой серии приготовить растворы электролитов-коагуляторов (KCl, MgCl₂, AlCl₃) различной концентрации. Для этого смешать в них растворы соответствующих электролитов с водой в соотношении, указанном в таблице 3.3.

3 Определение порога коагуляции

3.1 В каждой серии вылить приготовленные по п. 2.4 растворы коагуляторов в пробирки с 5 см³ гидрозоль берлинской лазури, тщательно перемешать их и оставить на 30 минут.

3.2 Через 30 минут отметить наличие помутнения или осадка берлинской лазури. Результаты занести в таблицу 3.3 (строки 1-4).

3.3 Для более точного определения порога коагуляции необходимо для каждого электролита-коагулятора приготовить по п. 2.4 вторую серию из четырех растворов. Разбавление коагуляторов второй серии выбирается в интервале между концентрацией в пробирке, где произошла коагуляция, и в ближайшей к ней, где коагуляции не наблюдалось.

3.4 Растворы второй уточненной серии коагуляторов вливаются в пробирки с 5 см³ гидрозоль берлинской лазури, перемешиваются и оставляются на 30 минут.

3.5 Через 30 минут отметить наличие помутнения или осадка берлинской лазури. Результаты занести в таблицу 3.3 (строки 5-8).

4 Обработка результатов измерений

4.1 За концентрацию электролита-коагулятора, используемую в расчете порога коагуляции, принимается минимальная концентрация электролита-коагулятора во второй серии, вызывающая помутнение гидрозоль берлинской лазури.

4.2 Рассчитать порог коагуляции для каждого электролита-коагулятора по формуле:

$$C_{\text{пор}} = \frac{C \cdot V_{\text{эл}}}{V_{\text{золя}}}, \quad (3.3)$$

где $C_{\text{пор}}$ – порог коагуляции данным электролитом-коагулятором, моль/дм³; $V_{\text{эл}}$ – минимальный объём раствора электролита-коагулятора, вызывающий помутнение гидрозоль берлинской лазури, см³; $V_{\text{золя}}$ – объём гидрозоль берлинской лазури, см³.

4.3 По экспериментальным данным сделать вывод о выполнимости правила Шульце-Гарди по влиянию заряда коагулирующего иона на порог коагуляции.

4.4 Таблица 3.3 – Экспериментальные данные для определения порога коагуляции

Электролит	№ пробы	Объём золя берлинской лазури $V_{\text{золя}}$, см ³	Объём воды, см ³	Объём электролита $V_{\text{эл}}$, см ³	Помутнение через 30 мин	Порог коагуляции $C_{\text{пор}}$
КС1	1	5	4.5	0,5		
	2	5	4	1		
	3	5	3	2		
	4	5	1	4		
	5					
	6					
	7					
	8					
MgCl ₂	1	5	4.5	0,5		
	2	5	4	1		
	3	5	3	2		
	4	5	1	4		
	5					
	6					
	7					
	8					
AlCl ₃	1	5	4.5	0,5		
	2	5	4	1		
	3	5	3	2		
	4	5	1	4		
	5					
	6					
	7					
	8					

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ВЗАИМНАЯ КОАГУЛЯЦИЯ

Цель работы: изучить процесс взаимной коагуляции гидрозолей гидроксида железа (III) и берлинской лазури.

Оборудование. Материалы

1. Пробирки.
2. Штатив для пробирок.
3. Пипетка емкостью 10 см³.
4. Золь гидроксида железа Fe(OH)₃.
5. Золь берлинской лазури.
6. Дистиллированная вода.

ХОД РАБОТЫ

1 Получить гидрозоли берлинской лазури и гидроксида железа (III) у преподавателя.

2 Расположить в штативе 11 пронумерованных пробирок.

3 Налить в каждую из пробирок определенный объем гидрозоля (пипеткой) гидроксида железа (III) в соответствии с таблицей 4.1.

4 Разбавить 50 см³ золь берлинской лазури дистиллированной водой в два раза. Добавить определенный объем разбавленного раствора (пипеткой) в каждую из пробирок с гидрозолем гидроксида железа (III) в соответствии с таблицей 4.1.

Если в большинстве (или во всех) пробирок раствор окрашен в цвет одного из золь, следует разбавить в 2 (или более) раза гидрозоль, придающий окраску смеси. Провести повторную взаимную коагуляцию гидрозолей по п.п. 2-4 с разбавленным гидрозолем.

5 Оставить смеси гидрозолей для взаимной коагуляции на 30 минут.

6 Через 30 минут после сливания гидрозолей отметить коагуляцию (полную, неполную) и цвет раствора над осадком в каждой из пробирок.

7 Сделать выводы по проделанной работе

7.1 Написать формулы мицелл с указанием знака заряда исследуемых гидрозолей.

7.2 Объяснить наблюдаемые явления в процессе взаимной коагуляции гидрозолей гидроксида железа (III) и берлинской лазури.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ПОЛУЧЕНИЕ И ОБРАЩЕНИЕ ЭМУЛЬСИЙ

Цель работы: 1. Изучение методов получения и определения типа разбавленных эмульсий.
2. Обращение фаз в эмульсии бензол-вода.

Оборудование. Материалы

1. Пробирки.
2. Штатив для пробирок.
3. Конические колбы емкостью 50 см^3 – 2 шт.
4. Пипетка емкостью 10 см^3 .
5. Олеат натрия с концентрацией $\omega = 3\%$.
6. Бензол C_6H_6 по ГОСТ 5955 – 75.
7. Насыщенный раствор CaCl_2 в воде.
8. Масло подсолнечное.
9. Водный раствор мыла $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}$ с концентрацией $\omega = 2\%$.
10. Дистиллированная вода.
11. Метиленовый синий.

ХОД РАБОТЫ

1 Получение эмульсии подсолнечного масла в воде

1.1 В коническую колбу емкостью 50 см^3 налить 8 см^3 подсолнечного масла и добавить 15 см^3 дистиллированной воды. Закрыть колбу пробкой и энергично перемешать до получения однородной эмульсии.

1.2 Налить по 5 см^3 полученной эмульсии в две пробирки. В первую пробирку добавить 5 см^3 дистиллированной воды, во вторую – 3 см^3 дистиллированной воды и 2 см^3 водного раствора мыла $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COONa}$ с концентрацией $\omega = 2\%$. Закрыть пробирки пробками и энергично перемешать до получения однородной эмульсии.

1.3 Отметить наличие расслоения и скорость расслоения фаз в каждой из пробирок.

2 Получение эмульсии бензола в воде

2.1 В коническую колбу емкостью 50 см^3 налить 8 см^3 бензола и добавить 15 см^3 дистиллированной воды. Закрыть колбу пробкой и энергично перемешать до получения однородной эмульсии.

2.2 Налить по 5 см^3 полученной эмульсии в две пробирки. В первую пробирку добавить 5 см^3 дистиллированной воды, во вторую – 3 см^3 дистиллированной воды и 2 см^3 водного раствора олеата натрия с концентрацией $\omega = 3\%$. Закрыть пробирки пробками и энергично перемешать до получения однородной эмульсии.

2.3 Отметить наличие расслоения и скорость расслоения фаз в каждой из пробирок. В случае нечеткой границы раздела жидких фаз добавить в пробирки с бензолом (п. 2.1.) по 1 кристаллику красителя метиленового синего.

3 Определение типа эмульсии

3.1 Определение типа эмульсии методом разбавления

3.1.1 Налить в пробирку 5 см^3 дистиллированной воды. Внести пипеткой в пробирку с водой 1 каплю эмульсии подсолнечного масла. Контролировать равномерность распределения эмульсии в воде.

Если капля эмульсии равномерно распределяется по объему воды – тип эмульсии м/в; если капля эмульсии в воде не диспергируется – тип эмульсии в/м.

3.1.2 Определить тип второй эмульсии – бензола в воде согласно п. 3.1.1.

3.2 Определение типа эмульсии методом окрашивания непрерывной фазы

3.2.1 Налить в пробирку 5 см^3 эмульсии подсолнечного масла, добавить несколько кристаллов метиленового синего и сильно взболтать.

3.2.2 Контролировать равномерность окрашивания эмульсии. Если эмульсия равномерно окрашивается по всему объему – тип эмульсии м/в; если в эмульсии окрашиваются дисперсные частицы масла – тип эмульсии в/м.

3.3 Определить тип второй эмульсии – бензола в воде согласно п. 3.2.1.

4 Обращение эмульсий

4.1 Налить в пробирку 5 см^3 эмульсии подсолнечного масла, добавить несколько капель CaCl_2 , закрыть пробирку пробкой и энергично перемешать. Определить тип образовавшейся эмульсии согласно п.п. 3.1 либо 3.2.

4.2 Провести обращение эмульсии бензола в соответствии с п. 4.1. Определить тип образовавшейся эмульсии бензола согласно п.п. 3.1 либо 3.2.

5 Сделать вывод о проделанной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Характеристика коллоидного состояния вещества.
2. Методы получения дисперсных систем: диспергационные, конденсационные.
3. Оптические свойства дисперсных систем.
4. Рассеяние света в коллоидных системах.
5. Поглощение света дисперсными системами.
6. Использование оптических методов для определения размера коллоидных частиц.
7. Строение двойного электрического слоя на поверхности коллоидных частиц.
8. Устойчивость коллоидных частиц.
9. Электролитная коагуляция. Правило Шульце-Гарди. Порог коагуляции.
10. Кинетика процесса коагуляции.
11. Взаимная коагуляция гидрозолей.
12. Лиофильные дисперсные системы.
13. Определение средней молекулярной массы полимеров вискозиметрическим методом.
14. Микрогетерогенные системы: суспензии, эмульсии, пены, аэрозоли.
15. Методы получения и обращения эмульсий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основная литература:

1. Ершов Ю.А. Коллоидная химия: учебник / Ю.А. Ершов М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 352с. ISBN 978-5-9704-2860-3
2. Коллоидная химия [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Н.Н. Францева [и др.].- Электрон. текстовые данные.— Ставрополь: Ставропольский государственный аграрный университет, Параграф, 2013.- 52 с.- Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47308>.- ЭБС «IPRbooks»

2. Перечень дополнительной литературы:

1. Зимон, А. Д. Коллоидная химия : учебник для вузов / А. Д. Зимон ; Мин-во образования Рос. Федерации, Моск. гос. технол. акад. - 4-е изд., испр. и доп. - М. : АГАР, 2003. - 320 с. : ил. - Библиогр.: с. 312. - ISBN 5-89218-151-0
2. Белик, В. В. Физическая и коллоидная химия: учебник/ В. В. Белик, К. И. Киенская. - М.:Академия,2005. - 288 с. (Высшее профессиональное образование)
3. Гельфман, М. И. Коллоидная химия / М. И. Гельфман, О. В. Ковалевич, В. П. Юстратов. - Изд. 2-е, стер. - СПб. : Лань, 2004. - 336 с. - ([Учебники для вузов. Специальная литература]). - ISBN 5-8114-0478-6
4. Евстратова, К.И. Физическая и коллоидная химия: Учебник.Рек.Глав.управ.учеб.завед.Мин.здравоохран.СССР./ Н.А.Купина, Е.Е.Малахова; Под.ред.К.И.Евстратовой. - М:Вышш.шк.,1990. - 487с.:ил.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины:

1. <http://window.edu.ru/> – Единое окно доступа к образовательным ресурсам.
2. www.biblioclub.ru – Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн».
3. catalog.ncstu.ru – Электронный каталог фолиант СКФУ
4. www.library.stavsu.ru – Электронная библиотека и электронный каталог научной библиотеки СКФУ