

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
для виконання самостійних робіт
із навчальної дисципліни

«ПОВЕРХНЕВІ ЯВИЩА ТА
ДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ»

(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія)

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2023

Методичні рекомендації для виконання самостійних робіт із навчальної дисципліни «Поверхневі явища та дисперсні системи» (для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми навчання зі спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : О. І. Пилипенко, Т. Д. Панайотова, І. С. Зайцева. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. – 40 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. О. І. Пилипенко,
канд. хім. наук, доц. Т. Д. Панайотова,
канд. хім. наук, доц. І. С. Зайцева

Рецензент

Г. К. Воронов, кандидат технічних наук, доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

*Рекомендовано кафедрою хімії та інтегрованих технологій,
протокол № 5 від 21.10.2021.*

ЗМІСТ

Вступ.....	4
Тема 1 Дисперсні системи, їх класифікація і методи одержання.....	5
1.1 Приклади розв'язання задач.....	5
1.2 Задачі для самостійного розв'язання	7
1.3 Запитання для самоконтролю	8
Тема 2 Поверхневі явища та адсорбція.....	9
2.1 Приклади розв'язання задач.....	9
2.2 Задачі для самостійного розв'язання	12
2.3 Запитання для самоконтролю	17
Тема 3 Іоніти	18
3.1 Приклади розв'язання задач.....	18
3.2 Задачі для самостійного розв'язання	19
3.3 Запитання для самоконтролю	21
Тема 4 Методи одержання дисперсних систем.....	22
4.1 Приклади розв'язання задач.....	22
4.2 Задачі для самостійного розв'язання	25
4.3 Запитання для самоконтролю	26
Тема 5 Агрегативна стійкість і коагуляція ліофобних колоїдних систем ...	27
5.1 Приклади розв'язання задач.....	27
5.2 Задачі для самостійного розв'язання	29
5.3 Запитання для самоконтролю	33
Тема 6 Поверхні розділу конденсованих фаз	34
6.1 Приклади розв'язання задач.....	34
6.2 Задачі для самостійного розв'язання	36
6.3 Запитання для самоконтролю	38
Список рекомендованих джерел.....	39

ВСТУП

Методичні рекомендації для виконання самостійних робіт із навчальної дисципліни «Поверхневі явища та дисперсні системи» призначені для здобувачів 2 курсу бакалаврського рівня освіти, які навчаються за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія.

Поверхневі явища та дисперсні системи (також колоїдна хімія або фізична хімія дисперсних систем і поверхневих явищ) відіграє важливу роль у більшості фізичних та хімічних процесів, які відбуваються у навколишньому середовищі. Це, наприклад, очистка забруднених вод, сорбція, життєдіяльність живих істот, приготування їжі, прання, флотація та безліч інших процесів. У всіх них широко використовуються такі процеси як седиментація, адсорбція, мікрофлотація, коагуляція, іонний обмін, капілярний тиск та ін.

Саме тому при написанні методичних вказівок найбільша увага приділялась розгляду таких питань, як поверхневі явища у дисперсних системах, адсорбція на межі розподілу фаз, використання іонітів у процесі очищення природних і стічних вод, коагуляція, змочування.

Матеріал, викладений у рекомендаціях, розбитий на шість тем:

- дисперсні системи, їх класифікація і методи одержання;
- поверхневі явища та адсорбція;
- іоніти;
- методи одержання дисперсних систем;
- агрегативна стійкість і коагуляція ліофобних колоїдних систем;
- поверхні розділу конденсованих фаз.

Кожен розділ містить приклади розв'язання задач, задачі для самостійного виконання, перелік питань для самоконтролю.

Розв'язання конкретних задач з вказаних розділів колоїдної хімії повинне сприяти подальшому досконалому вивченню спеціальних дисциплін за фахом.

Звіт про виконану самостійну роботу за кожною темою студент оформляє у зошиті або на аркушах паперу. Він повинен містити такі відомості:

- назву роботи і дату її виконання;
- викладення умов задач;
- докладне вирішення завдань.

ТЕМА 1 ДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ, ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ І МЕТОДИ ОДЕРЖАННЯ

1.1 Приклади розв'язання задач

Приклад 1. Розрахувати питому поверхню вугільного пилу з діаметром частинок $d = 3 \cdot 10^{-6}$ м. Густина вугілля $\rho = 1,8 \cdot 10^3$ кг/м³.

Розв'язання. У якості питомої поверхні системи розуміють відношення загальної поверхні подрібненої речовини до одиниці маси чи одиниці об'єму.

Поверхня S шароподібної частинки становить:

$$S = 4\pi r^2,$$

де r – її діаметр.

Об'єм V шароподібної частинки:

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

Маса m шароподібної частинки:

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

Звідси питома поверхня $S_{\text{пит.}}$ частинки:

$$S_{\text{пит.}} = \frac{S \cdot n}{m \cdot n} = \frac{4\pi r^2 \cdot n}{\frac{4}{3} \pi r^3 \rho \cdot n} = \frac{3}{r \cdot \rho} = \frac{6}{d \cdot \rho},$$

де n – кількість частинок в одиниці об'єму:

$$S_{\text{пит.}} = \frac{6}{3 \cdot 10^{-6} \cdot 1,8 \cdot 10^3} = 1,11 \cdot 10^3 \text{ м}^2/\text{кг}.$$

Приклад 2. Визначте кількість частинок, які утворилися у процесі подрібнення $2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ ртуті на частинки кубічної форми з ребром довжиною $8 \cdot 10^{-8} \text{ м}$. Густина ртуті дорівнює $13\,546 \text{ кг/м}^3$.

Розв'язання. Маса m_{Hg} об'єму $2 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3$ ртуті дорівнює:

$$m_{\text{Hg}} = V\rho = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 13\,546 = 0,002\,7 \text{ кг.}$$

Об'єм однієї частинки ртуті:

$$V = l^3 = (8 \cdot 10^{-8})^3 = 5,12 \cdot 10^{-22} \text{ м}^3.$$

Маса m однієї частинки ртуті:

$$m = V\rho = 5,12 \cdot 10^{-22} \cdot 13\,546 = 6,91 \cdot 10^{-18} \text{ кг.}$$

Кількість частинок N ртуті:

$$N = \frac{m_{\text{Hg}}}{m} = \frac{0,0027}{6,91 \cdot 10^{-18}} = 3,9 \cdot 10^{14}.$$

Приклад 3. Розрахуйте сумарну поверхню частинок шароподібної форми, які були утворені в процесі подрібнення $m = 0,001 \text{ кг}$ сірки. Діаметр частинок становить $2 \cdot 10^{-8} \text{ м}$. Густина сірки $\rho = 2\,070 \text{ кг/м}^3$.

Розв'язання. Питома поверхня частинок сірки $S_{\text{пит.}}$:

$$S_{\text{пит.}} = \frac{S}{V},$$

де S – сумарна поверхня частинок;

V – об'єм частинок.

$$S_{\text{пит.}} = \frac{S \cdot n}{m \cdot n} = \frac{4\pi r^2 \cdot n}{\frac{4}{3}\pi r^3 \cdot n} = \frac{3}{r} = \frac{6}{d};$$

$$S_{\text{пит.}} = \frac{6}{2 \cdot 10^{-8}} = 3 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}.$$

Об'єм сірки масою 0,001 кг становить:

$$V = \frac{m}{\rho};$$

$$V = \frac{0,001}{2070} = 4,83 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Сумарна поверхня S частинок:

$$S = S_{\text{пит.}} \cdot V;$$

$$S = 3 \cdot 10^8 \cdot 4,83 \cdot 10^{-7} = 144,9 \text{ м}^2$$

1.2 Задачі для самостійного розв'язання

1. Розрахуйте питому поверхню вугільного пилу з діаметром частинок $d = 8 \cdot 10^{-5}$ м. Густина вугілля $\rho = 1,8 \cdot 10^3$ кг/м³.

Відповідь: 41,6 м²/кг.

2. Розрахуйте сумарну поверхню 2 кг платини, подрібненої на правильні кубики з ребром довжиною 10^{-8} м. Густина платини 21,4 кг/дм³.

Відповідь: $5,61 \cdot 10^4$ м².

3. Розрахуйте сумарну поверхню частинок золю золота, який був утворений дробленням 0,5 г золота на частинки шароподібної форми $d = 7 \cdot 10^{-9}$ м. Густина золота $\rho = 19\,320$ кг/м³.

Відповідь: 2,22 м².

4. Золь ртуті складається з частинок шароподібної форми $d = 6 \cdot 10^{-8}$ м. Чому дорівнює поверхня частинок, утворених з 0,5 м³ ртуті?

Відповідь: $5 \cdot 10^7$ м².

5. Розрахуйте сумарну поверхню 1 кг золота, подрібненого на правильні кубики з довжиною ребра $5 \cdot 10^{-9}$ м. Густина золота 19,3 кг/дм³.

Відповідь: $6,22 \cdot 10^4$ м².

6. Припускаючи, що в колоїдному розчині срібла кожна частинка – це куб з ребром довжиною $4 \cdot 10^{-8}$ м і густиною $10,5$ кг/дм³, розрахуйте, скільки колоїдних частинок може утворитися з $0,1$ кг срібла.

Відповідь: $2,23 \cdot 10^{25}$.

7. Золь ртуті складається з кульок діаметром $6 \cdot 10^{-8}$ м. Чому дорівнює сумарна поверхня частинок і їх загальна кількість у розчині, якщо подрібнити $0,1$ кг ртуті? Густина ртуті $13,546$ кг/дм³.

Відповідь: $6,53 \cdot 10^{16}$.

8. У скільки разів зросте сумарна поверхня частинок у результаті подрібнення кубика срібла з довжиною ребра $0,5$ см до частинок кубічної форми з ребром довжиною $5 \cdot 10^{-8}$ м.

Відповідь: $1 \cdot 10^5$.

9. Золь срібла складається з частинок кубічної форми з ребром довжиною $2 \cdot 10^{-8}$ м і густиною $10,5$ кг/дм³. Розрахуйте, чому дорівнює загальна поверхня всіх срібних частинок. Золь було отримано подрібненням 20 г срібла.

Відповідь: $5,71 \cdot 10^2$ м².

10. Розрахуйте сумарну поверхню частинок золю арсен(III) сульфідру і кількість частинок у $0,5$ л золю, якщо 1 л золю містить $2,25$ г As_2S_3 . Частинка являє куб з ребром $1,2 \cdot 10^{-7}$. Густина As_2S_3 $\rho = 3506$ кг/м³.

Відповідь: $16,0$ м²; $1,85 \cdot 10^{14}$.

11. Аерозоль був утворений розпиленням $0,5$ кг вугілля у 1 м³ повітря. Частинки аерозолу мають шароподібну форму діаметром $8 \cdot 10^{-5}$ м. Розрахуйте питому поверхню і кількість частинок в аерозолі. Густина вугілля $1,8$ кг/м³.

Відповідь: $0,75 \cdot 10^5$ м⁻¹; $1,04 \cdot 10^{12}$.

12. Визначте питому поверхню суспензії каоліну, густина якого дорівнює $2,5 \cdot 10^3$ кг/дм³, припускаючи, що суспензія складається з частинок шароподібної форми діаметром $5 \cdot 10^{-7}$ м.

Відповідь: 29 м².

13. Визначте сумарну поверхню частинок, які утворилися у процесі подрібнення $1 \cdot 10^{-3}$ кг сірки на правильні кубики з довжиною ребра 10^{-7} м.

Відповідь: 29 м².

1.3 Запитання для самоконтролю

1. Назвіть дві основні ознаки колоїдного стану речовини.
2. Що називається дисперсною фазою і дисперсійним середовищем?
3. Що є мірою подрібненості будь-якої дисперсної системи?
4. Чим відрізняються монодисперсні колоїдні системи від полідисперсних?
5. Чому дисперсні системи з точки зору термодинаміки нестійкі?
6. Які способи класифікації дисперсних систем Вам відомі?
7. Які дисперсні системи називають ліофільними, а які ліофобними?
8. Запишіть приклади хімічних реакцій, які відбуваються при добуванні золей методом хімічної конденсації.
9. Які умови сприяють добуванню гідролізів способом хімічної конденсації?

ТЕМА 2 ПОВЕРХНЕВІ ЯВИЩА ТА АДСОРБЦІЯ

2.1 Приклади розв'язання задач

Приклад 1. Розрахуйте адсорбцію гептанолу на основі концентраційної залежності поверхневого натягу його водних розчинів при 293 К:

c , моль/л	0	0,040	0,100	0,200	0,316	0,500	0,794	1,000
σ , мДж/м ²	72,7	71,4	70,9	70,0	69,2	68,2	67,2	66,8

Визначіть константу рівняння Ленгмюра, площу, яку займає одна молекула в насиченому адсорбційному шарі та товщину адсорбційного шару. Густина гептанолу при даній температурі дорівнює 0,824 г/см³.

Розв'язання. Використовуючи рівняння Гіббса $\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc}$, можна знайти

величину адсорбції Γ для будь-якого заданого значення c з тангенсу кута нахилу дотичної до експериментальної ізотерми, побудованої в координатах $\sigma = f(c)$ в точці, яка відповідає заданій c . Для цього необхідно побудувати графік залежності величини σ від концентрації c , провести дотичні до отриманої кривої в точках, що відповідають значенням концентрацій (рис. 2.1), потім з цих же точок опустити перпендикуляри на вісь ординат. На графіку визначити довжину відрізка z_i , що відсікається на осі ординат дотичною і перпендикуляром (для кожної експериментальної точки з концентрацією розчину ПАР c_i). З рисунка видно, що

$z_i = -c_i \cdot \left(\frac{d\sigma}{dc} \right)_i$. Після підстановки величини z_i у рівняння Гіббса можна розрахувати

величини адсорбції зі співвідношення $\Gamma_i = \frac{z_i}{RT}$. Адсорбція Гіббса завжди виражається в молях на одиницю площі. Якщо σ виражена в Дж/м², то необхідно прийняти газову сталу $R = 8,3144$ Дж/(моль·К) щоб привести всі одиниці вимірювань у відповідність.

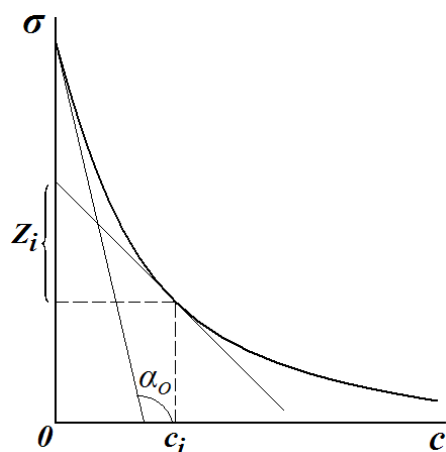


Рисунок 2.1 – Ізотерма поверхневого натягу поверхнево-активної речовини

Для розрахунку a_∞ використовують рівняння Ленгмюра у лінійній формі:

$$\frac{1}{\Gamma} = \frac{1}{\Gamma_\infty} + \frac{1}{\Gamma_\infty Kc} \quad \text{або} \quad \frac{1}{a} = \frac{1}{a_\infty} + \frac{1}{a_\infty Kc},$$

де Γ, a – поверхнева концентрація адсорбованої сполуки, моль/см²;

Γ_∞, a_∞ – поверхнева концентрація адсорбованої сполуки, яка відповідає максимальній адсорбції при утворенні насиченого шару, моль/см²;

c – концентрація речовини у розчині, моль/л;

Потім будують графік залежності $\frac{1}{a} = f\left(\frac{1}{c}\right)$. Відрізок, який відсікається на

осі ординат при екстраполяції величини $\frac{1}{a}$ на нульову концентрацію, буде

дорівнювати величині $\frac{1}{a_\infty}$. У даному прикладі $\frac{1}{a_\infty} = 0,74 \cdot 10^6$, $a_\infty = 1,35 \cdot 10^{-6}$.

Всі розрахунки зводять у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахункові дані, одержані графічною обробкою ізотерми адсорбції

c	$z \cdot 10^3$	$a \cdot 10^7$	$1/a \cdot 10^{-6}$	$1/c$
0,05	0,8	3,28	3,05	20,0
0,10	1,1	4,51	2,22	10,0
0,20	1,5	6,15	1,62	5,0
0,30	2,0	8,21	1,22	3,3
0,40	2,8	10,00	1,00	2,5

Тангенс кута нахилу прямої дорівнюватиме $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{a_{\infty} K}$. Звідси знаходять

величину K :

$$K = \frac{1}{a_{\infty} \operatorname{tg} \alpha};$$

$$K = \frac{1}{1,35 \cdot 10^{-6} \cdot 1,45 \cdot 10^5} = 5,1 \text{ л/моль}.$$

Площу S_0 , яку займає молекула ПАР у насиченому поверхневому шарі, розраховують за формулою:

$$S_0 = \frac{1}{a_{\infty} N_A};$$

$$S_0 = \frac{0,74 \cdot 10^6}{6,02 \cdot 10^{23}} = 1,23 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2.$$

Товщину адсорбційного шару δ розраховують за формулою:

$$\delta = \Gamma_{\infty} \frac{M}{\rho};$$

$$\delta = 1,35 \cdot 10^{-6} \frac{116 \cdot 10^{-3}}{0,824 \cdot 10^3} = 1,9 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Приклад 2. Розрахуйте граничну адсорбцію валеріанової кислоти на поверхні розділу «водний розчин-повітря» при 350 К і концентрації розчину 0,001 моль/л, якщо залежність поверхневого натягу розчину від концентрації виражається рівнянням: $\sigma = \sigma_0 - 17,7 \cdot 10^{-3} \ln(1 + 19,72c)$.

Розв'язання. Залежність поверхневого натягу від концентрації ПАР виражається рівнянням Шишковського:

$$\sigma = \sigma_0 - B \ln(1 + Ac),$$

де B – постійна для всього гомологічного ряду, яка не залежить від природи поверхнево-активної сполуки, Дж/м²;

A – постійна, яка характеризує підвищення поверхневої активності при переході до кожного наступного члена гомологічного ряду, м³/кмоль.

Рівняння Шишковського можна отримати в результаті сумісного розв'язання адсорбційного рівняння Гіббса з рівнянням Ленгмюра. При цьому $B = a_\infty RT$ і $A = K$. Тоді маємо:

$$\begin{aligned} \sigma &= \sigma_0 - a_\infty RT \ln(1 + Kc); \\ a_\infty RT &= 17,7 \cdot 10^{-3}; \\ a_\infty &= \frac{17,7 \cdot 10^{-3}}{8,314 \cdot 350} = 6,08 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2. \end{aligned}$$

2.2 Задачі для самостійного розв'язання

1. Розрахуйте за рівнянням Шишковського ($B = 17,7 \cdot 10^{-3}$; $A = 19,72$) поверхневий натяг водних розчинів валеріанової кислоти за наступних концентрацій (кмоль/м³): 0,005; 0,020; 0,040; 0,100 при 353 К. Поверхневий натяг води при 353 К дорівнює $62,6 \cdot 10^{-3}$ Дж/м². Побудуйте ізотерму поверхневого натягу $\sigma = f(c)$.

2. Розрахуйте адсорбцію октанолу на межі «водний розчин-повітря» при 293 К і $c = 0,25$ моль/м³ за такими даними:

c , моль/м ³	0	0,04	0,10	0,16	0,40	1,00
$\sigma \cdot 10^3$, Н/м	72,75	70,60	69,00	67,80	64,2	60,60

3. Знайдіть площу, яку займає одна молекула аніліну в насиченому адсорбційному шарі на поверхні його водного розчину з повітрям, якщо гранична адсорбція аніліну становить $6 \cdot 10^{-6}$ моль/м³.

Відповідь: $28 \cdot 10^{-20}$ м².

4. Розрахуйте адсорбцію розчину масляної кислоти з концентрацією 0,1 кмоль/м³ на межі «водний розчин-повітря» при 283 К, якщо залежність поверхневого натягу від концентрації виражена рівнянням Шишковського типу $\sigma = \sigma_0 - 16,7 \cdot 10^{-3} \ln(1 + 21,5c)$.

Відповідь: $4,8 \cdot 10^{-6}$ моль/м².

5. Розрахуйте адсорбцію масляної кислоти на межі «водний розчин-повітря» при 293 К і $c = 0,104$ кмоль/м³ за такими даними:

c , кмоль/м ³	0,06	0,021	0,50	0,104	0,246
$\sigma \cdot 10^3$, Дж/м ²	72,53	68,12	63,53	58,60	50,30

6. Розрахуйте адсорбцію пропіонової кислоти на межі «водний розчин-повітря» при 273 К і $c = 0,5$ кмоль/м³, якщо константи рівняння Шишковського дорівнюють: $B = 12,5 \cdot 10^{-3}$ Дж/м²; $A = 7,73$ м³/кмоль.

Відповідь: $3 \cdot 10^{-9}$ кмоль/м².

7. Визначте поверхневу активність валеріанової кислоти на межі «водний розчин-повітря» при 373 К і $c = 0,01$ кмоль/м³, якщо константи рівняння Шишковського: $B = 9,3 \cdot 10^{-3}$ Дж/м²; $A = 18,32$ м³/кмоль.

Відповідь: 17,04 Дж.м/кмоль.

8. Розрахуйте граничну адсорбцію a_∞ , довжину молекули δ і площу S , яку займає одна молекула валеріанової кислоти C_4H_9COOH у насиченому адсорбційному шарі на поверхні його водного розчину з повітрям при $T = 350$ К і концентрації розчину 0,001 кмоль/м³, якщо константи рівняння Шишковського становлять $B = 17,7 \cdot 10^{-3}$ Дж/м², $A = 19,72$ м³/кмоль, а густина валеріанової кислоти $\rho = 0,942 \cdot 10^3$ кг/м³.

Відповідь: $6,08 \cdot 10^{-9}$ кмоль/м²; $6,6 \cdot 10^{-10}$ м; $27 \cdot 10^{-20}$ м²;

9. Розрахуйте за рівнянням Ленгмюра адсорбцію пропіонової кислоти з розчину з концентрацією 0,5 моль/дм³ на поверхні розділу «розчин-повітря» при

298 К, якщо поверхневий натяг цього розчину $55,6 \text{ мДж/м}^2$, поверхневий натяг води $71,96 \text{ мДж/м}^2$ та константа рівняння Ленгмюра $K = 7,73 \text{ дм}^3/\text{моль}$.

Відповідь: $3,31 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$.

10. Розрахуйте адсорбцію валеріанової кислоти на межі «водний розчин-повітря» при 293 К і $c = 0,0206 \text{ кмоль/м}^3$ за такими даними:

$c, \text{ кмоль/м}^3$	0	0,010 3	0,020 6	0,068 3	0,204 9
$\sigma \cdot 10^3, \text{ Н/м}$	72,55	65,45	59,78	49,31	35,20

11. Площа, яку займає одна молекула 1,4-бутандіолу у насиченому адсорбційному моношарі на поверхні його водного розчину, становить $4,69 \cdot 10^{-19} \text{ м}^2$. Розрахуйте величину граничної адсорбції 1,4-бутандіолу на межі розділу «рідина- повітря».

Відповідь: $3,54 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$.

12. Розрахуйте адсорбцію аніліну з водного розчину з концентрацією $0,25 \text{ моль/дм}^3$, якщо при $+15 \text{ }^\circ\text{C}$ гранична адсорбція становить $6 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$, поверхневий натяг розчину й води відповідно дорівнюють $61,5$ і $73,48 \text{ мДж/м}^2$.

Відповідь: $3,39 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$.

13. Розрахуйте константу K рівняння Ленгмюра, що описує адсорбцію аніліну з водного розчину з концентрацією $0,25 \text{ моль/дм}^3$, якщо при 288 К гранична адсорбція становить $6 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$, поверхневий натяг розчину й води відповідно дорівнюють $61,5$ і $73,48 \text{ мДж/м}^2$.

Відповідь: $5,2 \text{ дм}^3/\text{моль}$.

14. Розрахуйте адсорбцію гептанолу на основі концентраційної залежності поверхневого натягу його водних розчинів при 293 К:

$c, \text{ моль/дм}^3$	0	0,040	0,100	0,200	0,316	0,500	0,794	1,000
$\sigma \cdot 10^3, \text{ Дж/м}^2$	72,7	71,4	70,9	70,0	69,2	68,2	67,2	66,8

Визначте константу рівняння Ленгмюра.

Відповідь: $K = 16,4 \text{ дм}^3/\text{моль}$.

15. Використовуючи дані попередньої задачі, визначте площу, яку займає одна молекула гептанолу у насиченому адсорбційному шарі.

Відповідь: $S_0 = 1,2 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2$.

16. За даними про адсорбцію пари води на макропористому силікагелі при кімнатній температурі визначте граничну ємність силікагелю, користуючись рівнянням Ленгмюра:

$p \cdot 10^{-2}, \text{ Па}$	3,04	4,68	7,72	11,69	14,03	17,77
-------------------------------	------	------	------	-------	-------	-------

a , моль/кг 3,44 6,28 9,22 11,67 13,22 14,89

Відповідь: 31 моль/кг.

17. При дослідженні адсорбції газоподібного азоту на активованому вугіллі при 194,4К було отримані наступні дані:

$p \cdot 10^{-3}$, Па 1,86 6,12 17,96 33,65 68,89
 $a \cdot 10^3$, м³/кг 5,06 14,27 23,61 32,56 40,83

Розрахуйте константи рівняння Ленгмюра та питому поверхню активованого вугілля, приймаючи, що густина газоподібного азоту дорівнює 1,25 кг/м³, а площа, яку займає одна молекула нітрогену на поверхні адсорбенту дорівнює 0,16 нм².

Відповідь: $S_{\text{пит.}} = 2,14 \cdot 10^5$ м²/кг; $a_{\infty} = 0,05$ м³/кг; $K = 6 \cdot 10^5$ Па⁻¹.

18. Розрахуйте за рівнянням Ленгмюра адсорбцію ізоамілового спирту з розчину з концентрацією 0,1 кмоль/м³ на поверхні розділу «розчин-повітря» при 292 К, якщо гранична адсорбція становить $8,7 \cdot 10^{-9}$ кмоль/м², а коефіцієнт рівняння Шишковського $A = 42$ м³/кмоль.

Відповідь: $7 \cdot 10^{-9}$ кмоль/м².

19. Залежність поверхневого натягу від концентрації водних розчинів валеріанової кислоти при 353 К описується рівнянням Шишковського типу $\sigma = 62,6 \cdot 10^{-3} - 17,7 \cdot 10^{-3} \ln(1 + 19,72c)$. Розрахуйте величину адсорбції валеріанової кислоти з водного розчину, концентрація якого дорівнює 0,03 кмоль/м³.

Відповідь: $2,24 \cdot 10^{-6}$ моль/м².

20. Розрахуйте поверхневий натяг розчинів масляної кислоти при 273 К для таких концентрацій (кмоль/м³): 0,007; 0,021; 0,050; 0,104. Побудуйте ізотерму поверхневого натягу $\sigma = f(c)$. Поверхневий натяг води при 273 К становить $75,49 \cdot 10^{-3}$ н/м, константи рівняння Шишковського: $B = 12,6 \cdot 10^{-3}$ Дж/м², $A = 21,5$ м³/кмоль.

21. Розрахуйте адсорбцію гептанової кислоти на межі «водний розчин-повітря» при 293 К і $c = 0,20$ моль/м³ за такими даними:

c , моль/м³ 0 0,01 0,1 0,251 0,398 0,631
 $\sigma \cdot 10^3$, Н/м 72,75 72,40 71,20 67,00 63,60 60,10

22. Питома поверхня непористої сажі дорівнює $73,7 \cdot 10^3$ м²/кг. Розрахуйте площу, яку займає молекула бензолу в щільному моношарі, виходячи з даних про адсорбцію бензолу на цьому адсорбенті при 293 К:

p , Па	1,03	1,29	1,74	2,50	6,67
a , моль/кг	1,57	1,94	2,55	3,51	7,58

Припускається, що ізотерма адсорбції описується рівнянням Ленгмюра.

Відповідь: $0,49 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

23. Розрахуйте адсорбцію гексанолу на межі «водний розчин-повітря» при 293 К і $c = 2,5$ моль/м³ за такими даними:

c , моль/м ³	0	0,20	0,63	1,26	3,98	6,31
$\sigma \cdot 10^3$, Н/м	72,75	70,80	69,40	66,90	60,50	55,40

24. Розрахуйте поверхневий натяг розчину валеріанової кислоти з концентрацією 0,005 кмоль/м³ при 353 К. Коефіцієнти в рівнянні Шишковського: $B = 17,7 \cdot 10^{-3}$ Дж/м²; $A = 19,72$ м³/кмоль. Поверхневий натяг води при 353 К дорівнює $62,6 \cdot 10^{-3}$ Дж/м².

Відповідь: $60,9 \cdot 10^{-3}$ Дж/м².

25. Активна поверхня активованого деревного вугілля досягає 1000 м² на 1 г вугілля. Розрахуйте, яку кількість фосгену (СОСl₂) в мг може поглинути поверхня 10 м² вугілля, якщо 1 г вугілля адсорбує 440 см³ газу (за нормальних умов).

Відповідь: 19,44 мг.

26. У процесі адсорбції стеаринової кислоти з розчину в бензолі на колоїдному нікелі одержані наступні дані:

$\Gamma \cdot 10^5$, моль/г	2,0	3,6	4,0	4,3	4,4	4,7
$c \cdot 10^3$, моль/л	0,2	2,0	3,8	5,0	5,2	8,1

Розрахуйте константи рівняння Ленгмюра a_∞ і K , використовуючи графічний метод. Визначте питому поверхню адсорбенту, якщо площа, яку займає одна молекула стеаринової кислоти у насиченому адсорбційному шарі складає $S_0 = 25 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$.

27. Активна поверхня 1 г силікагелю становить 465 м². Розрахуйте, яка кількість молекул бромуглецю поглинається 1 см² поверхні адсорбенту у процесі адсорбції на 10 г силікагелю 5 мг бромуглецю.

Відповідь: $4 \cdot 10^{11}$ молекул.

28. На поверхню води було нанесено 0,0061 г розчину олеїнової кислоти С₁₇Н₃₃СООН у бензолі. Після випаровування бензолу олеїнова кислота рівномірно розподілилася по поверхні води. Площина мономолекулярного шару кислоти становить 361 см². Визначте поперечний перетин молекули олеїнової кислоти.

Відповідь: $2,97 \cdot 10^{-9}$ см.

29. За якої концентрації поверхневий натяг водного розчину валеріанової кислоти буде дорівнювати $52,2 \cdot 10^{-3}$ н/м, якщо поверхневий натяг води при 273 К дорівнює $75,49 \cdot 10^{-3}$ н/м? Константи рівняння Шишковського для водного розчину валеріанової кислоти при 273 К: $B = 14,72 \cdot 10^{-3}$ Дж/м²; $A = 10,4$ м³/кмоль.

Відповідь: 0,37 кмоль/м³.

2.3 Запитання для самоконтролю

1. Яка причина виникнення поверхневих явищ?
2. Поверхневий натяг. Поверхнева енергія.
3. Класифікація поверхневих явищ.
4. Поверхнева активність. Як вона кількісно визначається?
5. Які речовини відносять до поверхнево-активних? Яку будову мають їх молекули? Наведіть приклади.
6. Правило Дюкло-Траубе.
7. Напишіть рівняння Шишковського.
8. Що таке адсорбція, як можна охарактеризувати це явище кількісно?
9. Що називають адсорбентом і адсорбатом?
10. Чому адсорбція є самочинним процесом?
11. Напишіть фундаментальне адсорбційне рівняння Гіббса і поясніть фізичний зміст параметрів, що входять до нього.
12. За яких умов адсорбція описується рівнянням Генрі?
13. Напишіть рівняння ізотерми адсорбції Фрейндліха. За яких умов адсорбцію описують цим рівнянням?
14. У чому полягають основні положення теорії Ленгмюра?
15. Напишіть рівняння Ленгмюра. Як визначають константи рівняння Ленгмюра? Які характеристики можна розрахувати, якщо Вам відомі ці константи? За яких умов це рівняння застосовують? Що називають граничною адсорбцією?
16. Покажіть взаємозв'язок між константами рівняння Ленгмюра і Шишковського.
17. Що таке ізотерма адсорбції? Проаналізуйте цей графік.

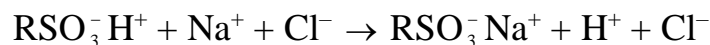
18. Які уявлення покладено в основу теорії полімолекулярної адсорбції Брунауера, Еммета і Теллера?
19. Адсорбенти. Їх основні показники.
20. Як визначають коефіцієнти в рівняннях Фрейндліха, Ленгмюра?
21. Як визначають питому поверхню адсорбента?
22. Наведіть ізотерму полімолекулярної адсорбції.
23. Чим відрізняється адсорбція з розчинів на твердій поверхні від адсорбції газів?
24. Як орієнтуються дифільні молекули ПАР на межі фаз різної природи?

ТЕМА 3 ІОНІТИ

3.1 Приклади розв'язання задач

Приклад 1. Розрахуйте обмінну ємність катіоніту марки КУ-2, якщо через адсорбційну колонку, яка містить 100 г цього іоніту, пропустили 25 л води із загальною жорсткістю 13,6 ммоль/л.

Розв'язання. Іонний обмін є зворотнім заміщенням рухливого іону, зв'язаного з іоногенною групою іоніту, на інший іон, який має такий же знак заряду і знаходиться у розчині. Кількісною характеристикою іоніту є повна обмінна ємність (ПОЄ). Визначення ПОЄ засноване на реакціях, які відбуваються у водних розчинах. Так, якщо через колонку з сульфокатіонітом в H^+ -формі пропустити розчин хлориду натрію, то повну обмінну ємність сульфокатіоніту визначають за кількістю кислоти в елюаті, що утворюється в результаті витіснення із іоніту іонів H^+ іонами Na^+ :



ПОЄ, ммоль/г іоніту складе:

$$ПОЄ = \frac{cV}{m},$$

де c – концентрація кислоти, моль/л;

V – об'єм розчину, мл;

m – маса іоніту, г.

$$\text{ПОЄ} = \frac{13,6 \cdot 25}{100} = 3,4 \text{ ммоль/г.}$$

Приклад 2. Повна обмінна ємність аніоніту АВ-17-8 у Cl^- -формі дорівнює 4,2 моль/кг. Визначити гранично можливу масу (у г) іонів золота (III), яка може бути сорбована 1 кг іоніту з розчинів хлоридної кислоти, якщо у розчині вказаний елемент знаходиться у вигляді комплексного аніону $[\text{AuCl}_4]^-$.

Розв'язання. Один кілограм іоніту може сорбувати 4,2 моль Au^{3+} . Звідси:

$$m(\text{Au}^{3+}) = \text{ПОЄ} \cdot A_r(\text{Au}) = 4,2 \cdot 196,96 = 827,23 \text{ г.}$$

3.2 Задачі для самостійного розв'язання

1. До 200 см^3 0,12 М розчину NaOH додали 5 г повітряно-сухого сильнокислотного катіону в H^+ -формі. Після встановлення рівноваги відфільтрували 100 см^3 розчину, для нейтралізації якого було витрачено 20 см^3 0,12 М розчину HCl . Визначте повну обмінну ємність катіоніту.

Відповідь: 3,84 моль/кг.

2. До 150 см^3 розчину H_2SO_4 з концентрацією 0,11 моль/ дм^3 ввели 3 г сильноосновного аніоніту в OH^- -формі. Після встановлення рівноваги іонного обміну відібрали 50 мл розчину, для нейтралізації якого було витрачено 22 см^3 розчину KOH з концентрацією 0,05 моль/ дм^3 . Розрахуйте повну обмінну ємність аніоніту.

Відповідь: 9,9 моль/кг.

3. Повна обмінна ємність сухого сульфокатіоніту КУ-2-8 у Na^+ -формі дорівнює 4,8 моль/кг. Визначте максимальну масу (в г) іонів кобальту (II) і барію, яка може бути сорбована з відповідних розчинів 1 кг іоніту.

Відповідь: $m(\text{Co}^{2+}) = 141,4 \text{ г}$; $m(\text{Ba}^{2+}) = 329,6 \text{ г}$.

4. Повна обмінна ємність сухого сульфокатіоніту в Na^+ -формі дорівнює 5,2 моль/кг. Визначте максимальну масу (в г) іонів барію, яка може бути сорбована з відповідного розчину одним кілограмом іоніту.

Відповідь: $m(\text{Ba}^{2+}) = 357 \text{ г}$.

5. Повна обмінна ємність аніоніту АВ-17-8 у Cl^- -формі дорівнює 4,2 моль/кг. Визначте гранично можливу масу (в г) іонів кобальту (II), яка може бути сорбована 1 кг іоніту з розчинів хлоридної кислоти, якщо у розчині вказаний елемент знаходиться у вигляді комплексного аніону $[\text{CoCl}_4]^{2-}$.

Відповідь: $m(\text{Co}^{2+}) = 123,76$ г.

6. Розрахуйте кількість сульфокатіоніту у H^+ -формі і аніоніту в OH^- -формі, що необхідні для очищення 1000 м³ природної води (без регенерації), яка містить 0,025 г/дм³ NaCl, 0,04 г/дм³ MgSO₄ та 0,12 г/дм³ Ca(HCO₃)₂. Повна обмінна ємність катіоніту – 4,2 моль/кг, аніоніту – 3,5 моль/кг.

Відповідь: 613 кг катіоніту; 735 кг аніоніту.

7. Повна обмінна ємність сухого сульфокатіоніту в Na^+ -формі дорівнює 5 моль/кг. Визначте гранично можливу масу (в г) заліза (III), яка може бути сорбована 1 кг іоніту з відповідного розчину.

Відповідь: $m(\text{Fe}^{3+}) = 93,07$ г.

8. Розрахуйте кількість катіоніту КУ-2, необхідну для пом'якшення 2 м³ води, яка містить $5,6 \cdot 10^{-3}$ моль/м³ солей жорсткості. Повна обмінна ємність катіоніту дорівнює 3,8 моль/кг.

Відповідь: 0,0029 кг.

9. Розрахуйте повну обмінну ємність іоніту, якщо після збовтування 0,5 г іоніту з насиченим розчином NaCl на титрування цього розчину було витрачено 20 см³ розчину NaOH з концентрацією 0,1 моль/дм³.

Відповідь: 4 моль/кг.

10. Розрахуйте повну обмінну ємність катіоніту, який використовують для пом'якшення 10 дм³ води, жорсткість якої становить 3,8 ммоль/дм³. Об'єм катіоніту в набухлому стані дорівнює 76 см³.

Відповідь: 0,5 моль/дм³.

11. Розрахуйте жорсткість води, яка обумовлена присутністю солей магнію, якщо на пом'якшення 3 дм³ води використано 3 г катіоніту, повна обмінна ємність якого становить 3,2 ммоль/г.

Відповідь: 3,2 ммоль/дм³.

12. Жорсткість води обумовлена наявністю солей кальцію. Розрахуйте кількість кальцію (мг) в 1 дм³ води, якщо для пом'якшення 10 дм³ води потрібно 50 г сухого катіоніту, обмінна ємність якого становить 4 ммоль/г.

Відповідь: 400 мг.

13. Розрахуйте обмінну ємність іоніту, якщо крізь адсорбційну колонку, яка містить 50 г іоніту, пропущено 11,35 дм³ води, загальна жорсткість якої дорівнює 8,5 ммоль/дм³.

Відповідь: 1,93 моль/кг.

14. Визначте, яку кількість морської води (в кг) можна знесолити без регенерації за допомогою хроматографічних колонок, які містять 1 кг катіоніту і 1 кг аніоніту, якщо динамічна обмінна ємність кожного іоніту дорівнює 3,5 моль/кг. Концентрація солей, що знаходяться у переважаючій кількості у воді, становить (мас.%): NaCl – 2,74; MgCl₂ – 0,33; MgSO₄ – 0,23.

Відповідь: 6,08 кг.

15. Обмінна ємність каолінової глини становить 13,5 ммоль/г. Який об'єм води із загальною жорсткістю 3,5 ммоль/дм³ можна профільтрувати крізь 150 г глини для повного вилучення катіонів Ca²⁺ і Mg²⁺?

Відповідь: 578,6 дм³.

16. Обмінна ємність катіоніту-пермутиту з формулою Na₂O·Al₂O₃·nH₂O дорівнює 7,2 ммоль/г. Яке значення має усунена жорсткість води, якщо через 200 г цього катіоніту пропущено 50 дм³ води?

Відповідь: 28,8 ммоль/дм³.

3.3 Запитання для самоконтролю

1. Іоно-обмінна адсорбція, її особливості.
2. Що являють собою іонообмінники (іоніти)?
3. За якими ознаками класифікують іоніти?
4. Що таке катіоніти й аніоніти? Наведіть схему їх дії.
5. Як одержують іонообмінні смоли?
6. Як визначають обмінну ємність іонітів?
7. Наведіть способи пом'якшення і демінералізації (опріснення) води.

ТЕМА 4 МЕТОДИ ОДЕРЖАННЯ ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМ

4.1 Приклади розв'язання задач

Ліофобні дисперсні системи (суспензії, аерозолі, золі, емульсії) одержують методами диспергування і конденсації.

Диспергування – це подрібнення твердих матеріалів або рідини і розподіл їх частинок у рідкому або газовому середовищі, внаслідок чого утворюються дисперсні системи: порошки, суспензії, емульсії, аерозолі.

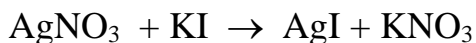
Конденсація – утворення гетерогенної дисперсної системи з гомогенної в результаті асоціації молекул, атомів, іонів в агрегати.

У випадку **хімічної конденсації** нова фаза виникає під час протікання хімічних реакцій, які приводять до утворення нерозчинних у даному середовищі речовин. Практично всі типи хімічних реакцій можуть бути використані для одержання колоїдних систем.

Відповідно до загальноприйнятої міцелярної теорії будови колоїдних розчинів золь складається з двох частин: міцел (дисперсної фази) та інтерміцелярної рідини (дисперсійного середовища).

Міцела – це структурна колоїдна одиниця, тобто частинка дисперсної фази, обгорнута подвійним електричним шаром (ПЕШ). **Інтерміцелярна рідина** – це дисперсійне середовище, яке розподіляє міцели, в якому розчинені електроліти, неелектроліти, ПАР, що стабілізують колоїдну систему.

Розглянемо будову міцели йодиду срібла, якщо золь утворюється за реакцією:



Основою колоїдної частинки є електронейтральний **агрегат**, що складається з декількох сотень або тисяч атомів, являє собою мікрочастинки важкорозчинної сполуки (в нашому випадку m пар іонів Ag^+ і I^-). Схематично на рис. 4.1 зображена міцела AgI .

Така система може існувати тільки в присутності стабілізатора, здатного підтримувати початковий ступінь дисперсності. Стабілізатором може бути потенціалоутворюючий електроліт, в якому міститься іон, здатний до вибіркової

адсорбції на поверхні даної твердої фази. Вибіркова адсорбція відбувається відповідно до **правила Панета-Фаянса**: це іони, які входять до складу кристалічної ґратки або ізоморфні їм. Отже для утворення золю йодиду срібла стабілізатором може бути як AgNO_3 , так і KI або ізоморфні з ним KCl , KBr .

Якщо реакція відбуватиметься в надлишку KI , то на поверхні агрегата будуть адсорбуватися іони I^- у кількості n . Іони йодиду є потенціалвизначальними (ПВІ), визначають потенціал і заряд поверхні. Агрегат разом з ПВІ називається **ядром** колоїдної частинки. Під дією електростатичних сил до ядра притягується n іонів протилежного знаку (протиіони), які компенсують заряд ядра. У даному випадку цю роль виконують іони K^+ . Частина протиіонів ($n - x$), які найближче розташовані до ядра, перебувають у шарі рідини і створюють адсорбційний шар або шар Штерна. На ці іони діють не тільки електростатичні, а й сили Ван-дер-Ваальса. Ядро разом з адсорбційним шаром протиіонів називається **гранулою** (або колоїдною частинкою). Решта x протиіонів, які нейтралізують заряд поверхні та які слабкіше зв'язані з ядром (тільки електростатичними силами), розташовуються під впливом теплового руху в рідкій фазі дифузно. Тому цей шар називається **дифузним**. Гранула разом з дифузною частиною ПЕШ називається **міцелою**. Числа m , n та x можуть змінюватися в широких межах і залежно від умов одержання та очистки золів. Звичайно $m \gg n$. Міцели золів завжди електронейтральні.

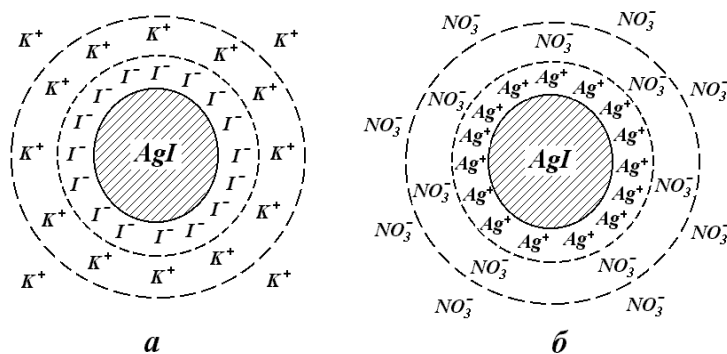
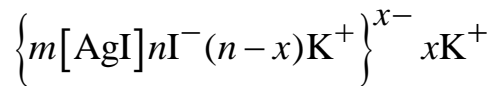
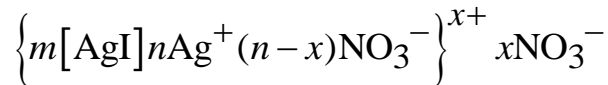


Рисунок 4.1 – Схема будови колоїдної міцели золю йодиду срібла:
 а – при надлишку KI ; б – при надлишку AgNO_3

Структуру міцели можна зобразити схематично (рис. 4.1) або записати формулою:



Якщо золь AgI одержаний в умовах надлишку AgNO₃, то формула міцели запишеться інакше:



←-----→ агрегат

←-----→ ядро

←-----→ частинка (гранула)

←-----→ міцела

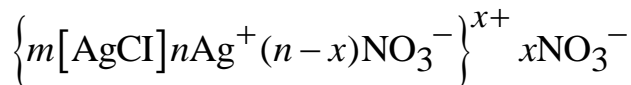
Приклад 1. Золь хлориду срібла був одержаний додаванням 15 мл водного розчину хлориду калію з концентрацією 0,025 моль/л до 85 мл водного розчину нітрату срібла з концентрацією 0,005 моль/л. Напишіть формулу міцели.

Розв'язання. Проводимо розрахунок для визначення, який реагент буде в надлишку. Знаходимо число моль:

для хлориду калію: $15 \cdot 10^{-3} \cdot 0,025 = 0,375 \cdot 10^{-3}$ моль;

для нітрату срібла: $85 \cdot 10^{-3} \cdot 0,005 = 0,425 \cdot 10^{-3}$ моль.

У розчині є надлишок нітрату срібла, тоді формула міцели золю буде наступна:



←-----→ агрегат

←-----→ ядро

←-----→ частинка (гранула)

←-----→ міцела

Частинка або гранула заряджена позитивно.

4.2 Задачі для самостійного розв'язання

1. Золь кальцій сульфату був отриманий при змішуванні $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ розчину CaCl_2 з молярною концентрацією еквівалента $0,05 \text{ кмоль/м}^3$ з 2 % розчином H_2SO_4 об'ємом $1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ і густиною $1\,012 \text{ кг/м}^3$. Напишіть формулу міцели. Як будуть переміщуватися заряджені частинки в електричному полі?

2. Який об'єм 2 % розчину натрій гідроксиду ($\rho = 1\,021 \text{ кг/м}^3$) необхідно додати до $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ розчину FeCl_3 , молярна концентрація еквівалента якого дорівнює $0,1 \text{ кмоль/м}^3$, щоб отримати негативно заряджені частинки? Напишіть формулу міцели.

3. Золь отримали при змішуванні розчинів BaCl_2 ($V = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $c = 1 \cdot 10^{-4} \text{ кмоль/м}^3$) і H_2SO_4 ($V = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $c = 1 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль/м}^3$). Напишіть формулу міцели.

4. Який об'єм $5 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль/м}^3$ розчину AgNO_3 необхідно додати до $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ розчину KJ , концентрація якого становить $0,015 \text{ кмоль/м}^3$, щоб отримати золь з позитивно зарядженими частинками? Напишіть формулу міцели.

5. Який об'єм розчину FeCl_3 з концентрацією $0,001 \text{ моль/л}$ необхідно додати до $3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ розчину AgNO_3 з концентрацією $2 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль/м}^3$, щоб частинки золю в електричному полі рухались до аноду? Напишіть формулу міцели.

6. Напишіть формулу міцели золю, який отримали при змішуванні $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ розчину KJ з молярною концентрацією $0,002\,5 \text{ кмоль/м}^3$ і $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ розчину $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ з молярною концентрацією $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ кмоль/м}^3$.

7. Золь берлінської лазурі був отриманий при додаванні до 100 см^3 $0,005 \text{ моль/дм}^3$ розчину $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ $0,5 \text{ см}^3$ $0,1 \text{ моль/дм}^3$ розчину ферум(III) хлориду. Напишіть формулу міцели. Який заряд мають частинки золю? Яким методом можна визначити цей заряд?

8. Золь аргентум хлориду був отриманий змішуванням рівних об'ємів розчинів калій хлориду з концентрацією $0,009\,5 \text{ моль/дм}^3$ і аргентум нітрату з концентрацією $0,012 \text{ моль/дм}^3$. Напишіть формулу міцели. Який заряд мають частинки золю?

9. Запишіть формулу міцели золю, який був отриманий при додаванні $1,5 \text{ см}^3$ $0,05 \text{ моль/дм}^3$ розчину кобальт(II) нітрату до 25 см^3 $0,003 \text{ моль/дм}^3$ розчину $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

10. Який об'єм розчину аргентум нітрату з концентрацією $0,005 \text{ моль/дм}^3$ потрібно додати до 25 см^3 розчину натрій броміду з концентрацією $0,016 \text{ моль/дм}^3$, щоб одержати золь з негативно зарядженими частинками? Напишіть формулу міцели золю.

11. Золь арсен(III) сульфідну добувають як результат взаємодії As_2O_3 і H_2S . Який метод одержання колоїдних розчинів демонструє цей досвід? Запишіть можливі формули міцели золю.

12. Золь барій сульфату отриманий змішуванням рівних об'ємів розчинів барій нітрату і сульфатної кислоти. Напишіть формулу міцели. Чи однакові вихідні концентрації електролітів, якщо в електричному полі гранула рухається до аноду?

13. Однією з причин помутніння сірководневої води при стоянні на повітрі є утворення гідрозолу сірки. Запишіть рівняння хімічної реакції, що відбувається в цих умовах, а також найбільш ймовірну формулу міцели. До якого методу відноситься утворення цього золю?

14. Золь AgI отриманий при додаванні 8 см^3 водного розчину KI концентрації $0,05 \text{ моль/дм}^3$ до 10 см^3 водного розчину AgNO_3 концентрації $0,02 \text{ моль/дм}^3$. Напишіть формулу міцели золю, що утворився. Який заряд мають частинки золю?

15. Золь ферум(III) гідроксиду отримано при додаванні до 85 см^3 кип'ячої дистильованої води 15 см^3 2 % розчину ферум(III) хлориду. Напишіть формулу міцели золю $\text{Fe}(\text{OH})_3$, враховуючи, що при утворенні частинок ферум(III) гідроксиду в розчині присутні такі йони: Fe^{+3} , Cl^- . Як заряджені частинки золю?

16. Напишіть формулу міцели золю, що утворився при взаємодії барій хлориду з деяким надлишком натрій сульфату. До якого електроду повинні рухатися частинки барій сульфату?

4.3 Запитання для самоконтролю

1. Диспергаційні способи одержання дисперсних систем.
2. Запишіть приклади рівнянь хімічних реакцій, які відбуваються при добуванні золів методом хімічної конденсації.
3. Які умови сприяють добуванню гідрозолів способом хімічної конденсації?

4. Зобразіть будову міцели будь-якого гідрозолу. Вкажіть агрегат, ядро, гранулу, шар Штерна, дифузний шар протиіонів.

5. Як порядок зливання розчинів реагентів при одержанні золю шляхом хімічної конденсації може вплинути на знак заряду гранули?

6. Як за допомогою капілярного аналізу визначити знак заряду колоїдної частинки?

ТЕМА 5 АГРЕГАТИВНА СТІЙКІСТЬ І КОАГУЛЯЦІЯ ЛІОФОБНИХ КОЛОЇДНИХ СИСТЕМ

5.1 Приклади розв'язання задач

Коагуляція – це злипання частинок між собою з утворенням більш крупних агрегатів. Для ліофобних золів характерна дуже висока чутливість до додавання електролітів, тому що їх стабілізація здійснюється головним чином електричними силами відштовхування іонних атмосфер колоїдних міцел.

Експериментально встановлені закономірності при коагуляції електролітами відомі під назвою **правил коагуляції**:

1) коагуляцію викликають будь-які електроліти, але з помітною швидкістю вона починається лише під час досягання певної концентрації; мінімальна концентрація електроліту, при перевищенні якої спостерігається коагуляція, називається **порогом коагуляції** (γ). Його виражають в ммоль/л або в моль/л;

2) коагулююча дія властива тому іону електроліту, заряд якого протилежний заряду колоїдної частинки (гранули), причому його коагулююча дія тим сильніша, чим вищий його заряд; ця закономірність називається **правилом Шульце-Гарді** (правило значності);

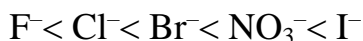
3) у ряді органічних іонів коагулююча дія (γ^{-1}) зростає з підвищенням адсорбційної здатності;

4) у ряді неорганічних іонів з однаковим зарядом коагулююча дія зростає зі зменшенням радіуса гідратованого іона. Коагулююча дія іона тим сильніша чим слабкіше він гідратований. Наприклад, для золів з негативно зарядженою гранулою:



←———— зростання гідратації

Для золів з позитивно зарядженими гранулами:



Подібні ряди називають *ліотропними рядами* або *рядами Гофмейстера*;

5) в осадах, що отримують при електролітній коагуляції, завжди присутні іони, які її зумовлюють.

Співвідношення порогів концентраційної коагуляції для іонів різних зарядів теоретично було знайдено Б. В. Дерягіним і Л. Д. Ландау і названо *законом шостого ступеня* або *правилом Дерягіна – Ландау*:

$$\gamma = \frac{\text{const}}{z^6}.$$

Це означає, що для іонів із зарядами $z = 1, 2, 3$ теорія передбачує співвідношення значень $\gamma^{-1} = 1:64:729$.

Приклад 1. Пороги коагуляції золю $Fe(OH)_3$ для електролітів калій йодиду та калій біхромату відповідно дорівнюють 10,0 і 0,195 ммоль/дм³ золю. У скільки разів коагулююча здатність калій біхромату більша, ніж для калій йодиду?

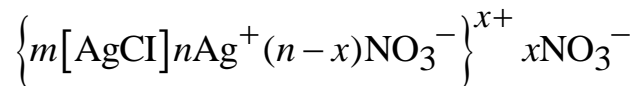
Розв'язання. Коагулююча здатність електролітів – це величина, обернена їх порогам коагуляції. Розрахуємо ці величини:

$$\begin{aligned}\gamma_{KI}^{-1} &= \frac{1}{10} = 0,1; \\ \gamma_{K_2Cr_2O_7}^{-1} &= \frac{1}{0,195} = 5,1; \\ \frac{\gamma_{KI}^{-1}}{\gamma_{K_2Cr_2O_7}^{-1}} &= \frac{0,1}{5,1} = \frac{1}{51}.\end{aligned}$$

Для золю $Fe(OH)_3$ коагулююча здатність калій біхромату більша, ніж для калій йодиду в 51 раз.

Приклад 2. Золь аргентум хлориду одержаний змішуванням однакових об'ємів 0,0095 М розчину калій хлориду та 0,012 М розчину аргентум нітрату. Який з електролітів ($K_3[Fe(CN)_6]$, $K_4[Fe(CN)_6]$, $MgSO_4$) матиме найбільший поріг коагуляції для даного золю?

Розв'язання. За умовою задачі в надлишку аргентум нітрат і тоді формула міцели золю матиме вигляд:



Згідно правил коагуляції для даного золю іонами коагуляторами будуть аніони і найбільший поріг коагуляції матиме магній сульфат, бо заряд сульфат-іону найменший.

Приклад 3. Золь аргентум йодиду одержаний змішуванням рівних об'ємів розчинів калій йодиду і аргентум нітрату. Пороги коагуляції для різних електролітів для даного золю мають наступні значення: $\gamma_{Na_3PO_4} = 0,6$; $\gamma_{Na_2SO_4} = 20$; $\gamma_{AlCl_3} = 330$. Який з електролітів (KI або $AgNO_3$) взято в більшій концентрації для приготування золю?

Розв'язання. Згідно з правилами коагуляції для даного золю іонами коагуляторами будуть аніони, бо пороги коагуляції зменшуються з ростом заряду аніону. Тому гранула буде заряджена позитивно, що можливе в тому випадку, якщо $AgNO_3$ взятий у більшій концентрації.

5.2 Задачі для самостійного розв'язання

1. Для гідрозолю $Fe(OH)_3$ коагулюючими йонами є аніони. Пороги коагуляції солей з однозарядними аніонами близькі між собою і складають у середньому $10,69$ ммоль/дм³. Солі двозарядних аніонів мають також близькі між собою пороги коагуляції $0,200$ ммоль/дм³ золю. У скільки разів коагулююча здатність двозарядних аніонів більша, ніж однозарядних?

Відповідь: у 53,7 разів.

2. Значення порогів коагуляції деякого гідрозолю різними електролітами становлять (ммоль/дм³): $LiCl$ – 58, K_2SO_4 – 33, $Al_2(SO_4)_3$ – 0,0425. Який знак заряду гранули? Відповідь підтвердити розрахунками.

3. Золь аргентум йодиду був отриманий змішуванням рівних об'ємів розчинів калій йодиду та аргентум нітрату. Значення порогів коагуляції для даного гідрозолу різними електролітами становлять в (ммоль/л): NaCl – 300, Ca(NO₃)₂ – 315, MgCl₂ – 320, Na₃PO₄ – 0,6, Na₂SO₄ – 20, AlCl₃ – 330. Який з електролітів KI чи AgNO₃ взято з більшою концентрацією для приготування золю? Відповідь підтвердити розрахунками.

Відповідь: AgNO₃.

4. Коагуляція золю As₂S₃ викликається катіонами. Пороги коагуляції для електролітів KNO₃, MgCl₂ і AlCl₃ відповідно дорівнюють: 50,0; 0,72; 0,093 ммоль/дм³ золю. Як відноситься між собою коагулююча здатність катіонів різного заряду?

Відповідь: 1;69,5;537,5.

5. При дослідженні коагуляції колоїдного розчину аргентум йодиду одержані такі величини порогів коагуляції:

електроліт	KNO ₃	Ba(NO ₃) ₂	Al(NO ₃) ₃
поріг коагуляції, моль/м ³	260,0	6,0	0,07

Визначте знак заряду часток золю.

6. На коагуляцію 1,5·10⁻⁵ м³ золю витратили 3·10⁻⁶ м³ розчину Na₂SO₄ з молярною концентрацією еквівалента 0,1 кмоль/м³. Розрахуйте поріг коагуляції золю по Na₂SO₄.

Відповідь: 1,67·10⁻² кмоль/ м³.

7. Який об'єм 2·10⁻⁴ М розчину Fe(NO₃)₃ потрібний для коагуляції 2,5·10⁻⁵ м³ золю, якщо поріг коагуляції $c_{\text{Fe(NO}_3)_3} = 0,067$ моль/м³.

Відповідь: 3·10⁻⁶ м³.

8. На коагуляцію 1·10⁻⁴ м³ золю Fe(OH)₃ витрачено:

електроліт	NH ₄ Cl	Na ₂ SO ₄	Na ₃ PO ₄
об'єм, м ³	1·10 ⁻⁵	6,3·10 ⁻⁵	3,7·10 ⁻⁵
молярна концентрація еквівалента, кмоль/м ³	1	0,01	0,003 7

Розрахуйте поріг коагуляції для кожного електроліту і визначте знак заряду частинок золю.

Відповідь: 90,9; 3,86; 0,999 моль/м³.

9. Золь купрум гідроксиду отримали при взаємодії 1·10⁻⁴ м³ розчину NaOH з молярною концентрацією 0,05 кмоль/м³ з 2,5·10⁻⁴ м³ розчину Cu(NO₃)₂ з молярною

концентрацією еквівалента $1 \cdot 10^{-6}$ кмоль/м³. Для якого з електролітів – KBr, Ba(NO₃)₂, K₂CrO₄, MgSO₄, AlCl₃ поріг коагуляції буде найменшим?

10. Золь кадмій (II) сульфід був отриманий змішуванням однакових об'ємів розчинів Na₂S і Cd(NO₃)₂. Пороги коагуляції для різних електролітів мають значення (кмоль/м³): $c_{Ca(NO_3)_2} = 265$; $c_{NaCl} = 250$; $c_{MgCl_2} = 290$; $c_{Na_3PO_4} = 0,4$; $c_{Na_2SO_4} = 15$; $c_{AlCl_3} = 300$. Який з електролітів (Na₂S чи Cd(NO₃)₂), було взято у надлишку?

11. Поріг коагуляції розчину AlCl₃ для золю арсен оксиду дорівнює 0,093 моль/м³. Яка концентрація AlCl₃ має бути у розчині, щоб $8 \cdot 10^{-7}$ м³ його було достатньо для коагуляції $1,25 \cdot 10^{-4}$ м³ золю?

Відповідь: 0,014 кмоль/м³.

12. Яким з наведених електролітів NH₄Cl чи (NH₄)₂SO₄ більш економно коагулювати золь алюміній гідроксиду: $\{m[Al(OH)_3]_n Al^{3+} 3(n-x)Cl^{-}\}^{3x+} 3xCl^{-}$? Розрахуйте поріг коагуляції за NH₄Cl, якщо на коагуляцію часток з 30 м³ цього золю витрачають 0,33 м³ 20 % розчину NH₄Cl (густина $\rho = 1060$ кг/м³).

Відповідь: 43,6 моль/м³.

13. На 100 м³ стічної води для коагуляції золю As₂S₃ витрачають 1 м³ 25 % розчину NaCl ($\rho = 1190$ кг/м³). Розрахуйте поріг коагуляції цього золю по NaCl.

Відповідь: 50,4 моль/м³.

14. Відпрацьовані розчини виробництва фотоматеріалів містять колоїдне срібло у вигляді галогенідів. Розрахуйте витрати Al₂(SO₄)₃ на 100 м³ стічної води, припускаючи, що знак електричних зарядів колоїдних частинок позитивний. Поріг коагуляції (моль/м³) для одновалентних йонів дорівнює 142; для двовалентних – 2,43; для тривалентних – 0,068.

Відповідь: 27,7 кг.

15. Поріг коагуляції розчину KNO₃ для золю Fe(OH)₃ з позитивно зарядженими частинками дорівнює 60,0 моль/м³. За допомогою правил Шульце – Гарді і Дерюгіна – Ландау розрахуйте поріг коагуляції K₃[Fe(CN)₄] для цього золю.

Відповідь: 0,082 моль/м³.

16. Золь ферум(III) гідроксиду, що одержаний неповним гідролізом хлорного заліза, коагулюють розчинами натрій сульфід, натрій хлориду і барій хлориду. Який з електролітів окаже найбільш значну коагулюючу дію?

17. Поріг коагуляції гідрозолю As₂S₃ з негативно зарядженими частинками за KCl дорівнює $4,9 \cdot 10^{-2}$ моль/дм³. За допомогою правил Шульце – Гарді і

Дерягина – Ландау розрахуйте для цього золю пороги коагуляції, що спричинена такими електролітами: K_2SO_4 , $MgCl_2$, $MgSO_4$, $AlCl_3$ и $Al_2(SO_4)_3$.

18. Поріг коагуляції гідрозолу $Fe(OH)_3$ з позитивно зарядженими частинками за $NaCl$ дорівнює $9,25$ ммоль/дм³. За допомогою правил Шульце – Гарді і Дерягина – Ландау для цього золю розрахуйте пороги коагуляції, що спричинена наступними електролітами: KNO_3 , $BaCl_2$, K_2SO_4 , $MgSO_4$, $K_2Cr_2O_7$.

19. Поріг коагуляції гідрозолу металевого золота, яку викликав $NaCl$, дорівнює 24 ммоль/дм³, а K_2SO_4 – $11,5$ ммоль/дм³. Використовуючи правила Шульце – Гарді і Дерягина – Ландау, визначте знак заряду частинок і розрахуйте поріг коагуляції для, наступних електролітів: $CaCl_2$, $MgSO_4$, $Al_2(SO_4)_3$, $AlCl_3$, $Th(NO_3)_4$.

20. При досить повільному введенні речовини В у розбавлений розчин речовини А можливе утворення гідрозолу речовини С (табл. 5.1). Напишіть формулу міцели і вкажіть знак електричного заряду колоїдних частинок золю. Яка із запропонованих речовин є найбільш економічним коагулянтom цього золю?

Таблиця 5.1 – Варіанти даних для виконання завдання 20

№ з/п	А	В	С	Коагулянт
1	2	3	4	5
1	$MgCl_2$	$NaOH$	$Mg(OH)_2$	KCl , $Ba(CH_3COO)_2$, $AlCl_3$
2	NH_4CNS	$AgNO_3$	$AgCNS$	KNO_3 , CH_3OONa , Na_2SO_4
3	$CaCl_2$	H_2SO_4	$CaSO_4$	$ZnCl_2$, $AlCl_3$, CH_3COONa
4	$BeCl_2$	NH_4OH	$Be(OH)_2$	Na_2SO_4 , $ZnCl_2$, KNO_3
5	$(NH_4)_2S$	$AgNO_3$	Ag_2S	$Ba(NO_3)_2$, CH_3COOK , Na_2SO_4
6	$AlCl_3$	$NaOH$	$Al(OH)_3$	Na_2SO_4 , KNO_3 , $CaCl_2$
7	$ZnCl_2$	$(NH_4)_2S$	ZnS	$(NH_4)_2SO_4$, $NaCl$, $Ca(NO_3)_2$
8	K_2SO_4	$Ba(CH_3COO)_2$	$BaSO_4$	NH_4Cl , $AlCl_3$, $Zn(CH_3COO)_2$
9	$CoCl_2$	$(NH_4)_2S$	CoS	$NaCl$, K_2SO_4 , $CaCl_2$
10	$FeCl_3$	$K_4[Fe(CN)_6]$	$Fe_4[Fe(CN)_6]_3$	K_2SO_4 , NH_4NO_3 , $AlCl_3$
11	$SnCl_2$	$(NH_4)_2S$	SnS	Na_2SO_4 , $Ca(CH_3COO)_2$, KCl

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5
12	$\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$	H_2SO_4	Hg_2SO_4	$\text{KNO}_3, \text{NH}_4\text{NO}_3, \text{Na}_2\text{SO}_4$
13	K_2CrO_4	AgNO_3	Ag_2CrO_4	$\text{Zn}(\text{NO}_3)_2, \text{NH}_4\text{NO}_3,$ CH_3COONa
14	AgNO_3	$(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	$\text{Ag}_2\text{C}_2\text{O}_4$	$\text{NH}_4\text{NO}_3, \text{NaCl}, \text{K}_2\text{SO}_4$
17	$(\text{NH}_4)_2\text{S}$	$\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	PbS	$\text{NaNO}_3, \text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2,$ $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$
18	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	AgNO_3	$\text{Ag}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{NH}_4\text{NO}_3, \text{H}_2\text{SO}_4, \text{CaCl}_2$
19	FeSO_4	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{Fe}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]_2$	$\text{KNO}_3, \text{NH}_4\text{NO}_3, \text{NaCl}$
20	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	AgNO_3	$\text{Ag}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	$\text{KNO}_3, (\text{NH}_4)_2\text{S},$ CH_3COONa
21	Na_2SiO_3	AgNO_3	Ag_2SiO_3	$\text{CH}_3\text{COOH}, \text{NH}_4\text{Cl}, \text{KNO}_3$
22	$\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$	KJ	HgJ_2	$\text{KNO}_2, \text{NH}_4\text{NO}_3,$ CH_3COONa
23	Na_2S	NiSO_4	NiS	$\text{NH}_4\text{Cl}, \text{Na}_2\text{SO}_4, \text{SrCl}_2$
24	$\text{Be}(\text{NO}_3)_2$	NaOH	$\text{Bi}(\text{OH})_3$	$\text{NaNO}_3, \text{NH}_4\text{NO}_3,$ CH_3COONa
25	Na_3AsO_4	AgNO_3	Ag_3AsO_4	$\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{NH}_4\text{NO}_3, \text{CuCl}_2$
26	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	KJ	PbJ_2	$\text{Ca}(\text{OH})_2, \text{NH}_4\text{NO}_3, \text{AlBr}_3$
27	CrCl_3	NH_4OH	$\text{Cr}(\text{OH})_3$	$\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{KCl}, \text{BaCl}_2$
28	MnCl_2	$(\text{NH}_4)_2\text{S}$	MnS	$\text{BaBr}_2, \text{K}_2\text{SO}_4, \text{NaCl}$
29	Na_2SiO_3	HCl	H_2SiO_3	$\text{Na}_2\text{SO}_4, \text{Al}(\text{NO}_3)_3, \text{NH}_4\text{Cl}$
30	$(\text{NH}_4)_2\text{S}$	$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$	PbS	$\text{CaCl}_2, \text{NaNO}_3, (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

5.3 Запитання для самоконтролю

1. Перелічіть основні види стійкості дисперсних систем і дайте їх характеристику.

2. Який процес називають коагуляцією? Чим завершується процес коагуляції? Якими способами можна викликати коагуляцію ліофобної дисперсної системи?

3. Що таке поріг коагуляції? Як його реєструють?

4. Як залежить поріг коагуляції від заряду іона коагулятора?

5. У чому особливість коагуляції сумішшю електролітів? Що таке адитивність і антагонізм?
6. Сформулюйте правила коагуляції електролітами, правило Шульце-Гарді.
7. Що таке ліотропні ряди? Наведіть приклади.
8. Які механізми коагуляції Ви знаєте?
9. Сформулюйте сутність теорії ДЛФО.
10. Як може бути представлена крива сумарної взаємодії двох частинок згідно з теорією ДЛФО?
11. Що в теорії ДЛФО називається потенційним бар'єром, ближнім і далеким мінімумами?
12. Назвіть відомі Вам особливі явища при коагуляції золів електролітами.
13. Назвіть відомі Вам фактори стійкості колоїдів.
14. Дією яких факторів забезпечується агрегативна стійкість дисперсних систем?
15. Що таке колоїдний захист? Що таке золоте число?

ТЕМА 6 ПОВЕРХНІ РОЗДІЛУ КОНДЕНСОВАНИХ ФАЗ

6.1 Приклади розв'язання задач

Змочування – поверхневе явище, яке полягає у взаємодії рідини з твердим тілом або іншою рідиною при наявності одночасного контакту трьох незмішуваних фаз, одна з яких є газом (повітрям). **Ступінь змочування** кількісно характеризується крайовим кутом (кутом змочування), який змінюється від 0 до 180°. Чим менший кут змочування θ , тим краще змочування. Якщо $\theta < 90^\circ$, то вважають, що поверхня змочується, якщо $\theta > 90^\circ$ – не змочується.

Умовою розтікання рідини (р) по поверхні (т) є співвідношення:

$$W_a > W_c,$$

де W_a – робота адгезії, Дж/м²;

W_c – робота когезії, Дж/м².

Робота адгезії визнається з рівняння:

$$W_a = \sigma_{p-g}(1 + \cos\theta).$$

Робота когезії визнається з рівняння:

$$W_c = 2\sigma_{p-g}.$$

Таким чином, розтікання відбувається у тому випадку, якщо робота адгезії (робота, яка витрачається на відрив молекул одної фази від молекул іншої фази) перевищує роботу когезії рідини (характеризує інтенсивність зв'язку молекул всередині фази).

Кількісною характеристикою розтікання є *коефіцієнт розтікання f за Гаркінсом*:

$$f = W_a - W_c \text{ або } f = \sigma_{p-g} - \sigma_{p-g} - \sigma_{t-g}.$$

Якщо $f > 0$ – рідина розтікається по поверхні; при значеннях $f < 0$ рідина не розтікається.

Приклад 1. Чи буде вода розтікатися по поверхні фторопласту, якщо $\theta = 108^\circ$, $\sigma_{H_2O} = 72 \text{ мДж/м}^2$ (при 298 К).

Розв'язання.

$$W_a = \sigma_{p-g}(1 + \cos\theta);$$

$$W_a = 72(1 + \cos 108^\circ) = 72(1 - 0,12) = 63,36 \text{ мДж/м}^2;$$

$$W_c = 2\sigma_{p-g};$$

$$W_c = 2 \cdot 72 = 144 \text{ мДж/м}^2;$$

$$f = W_a - W_c;$$

$$f = 63,36 - 144 = -80,64 \text{ мДж/м}^2.$$

Висновок: вода не буде розтікатися по поверхні фторопласту.

6.2 Задачі для самостійного розв'язання

1. Розгляньте можливість розтікання рідини (А) по твердій поверхні (В), виходячи із значень поверхневого натягу (на межі з повітрям) для рідини (σ) і крайового кута змочування (θ). Дані наведені у таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Варіанти даних для виконання завданні 1

№ з/п	А	В	$\sigma \cdot 10^3$ Дж/м ²	θ , град
1	вода	фторопласт	71,96	108
2	гліцерин	–	63,20	100
3	трикрезилфосфат	–	40,90	75
4	бензол	–	28,90	46
5	вода	граніт	71,96	90
6	ртуть	скло	475,00	130
7	вода	парафін	71,96	111
8	розчин ПАР	скло	56,20	82
9	розчин ПАР	–	71,50	105
10	розчин ПАР	–	70,10	96
11	розчин ПАР	–	63,20	72
12	розчин ПАР	–	56,20	60
13	розчин ПАР	–	50,90	0
14	розчин ПАР	–	41,00	0
15	розчин ПАР	парафін	56,30	92

2. Розгляньте можливість розтікання рідини А по поверхні води, виходячи із значень поверхневих (σ_A) та міжфазних (σ_{A-H_2O}) натягів. $\sigma_{H_2O} = 0,0728$ Н/м². Дані наведені у таблиці 6.1.

Таблиця 6.2 – Варіанти даних для виконання завдання 2

№	Рідина А	σ_A , Дж/м ²	σ_{A-H_2O} , Дж/м ²
1	2	3	4
1	октан	0,0218	0,0486

Продовження таблиці 6.2

1	2	3	4
2	хлороформ	0,027 3	0,027 7
3	олеїнова кислота	0,032 3	0,016 0
4	йодбензол	0,040 3	0,045 7
5	бензол	0,028 9	0,035 0
6	анілін	0,043 3	0,005 7
7	гексан	0,018 4	0,051 3
8	бромбензол	0,035 1	0,041 0
9	вуглець чотирихлористий	0,025 7	0,043 4
10	толуол	0,027 9	0,035 7
11	циклогексан	0,024 9	0,051 0
12	керосин (гас)	0,038 1	0,048 3
13	октан	0,021 8	0,050 2
14	етиловий ефір	0,023 9	0,009 7
15	нітробензол	0,043 9	0,022 9

3. Розгляньте можливість розтікання рідини А по воді, виходячи із значень роботи когезії (W_c) для рідини А і роботи адгезії рідини А до води (W_a). Дані наведені у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Варіанти даних для виконання завдання 3

№	А	W_c , Дж/м ²	W_a , Дж/м ²
1	сірковуглець	0,062 8	0,055 8
2	бензол	0,057 7	0,066 6
3	анілін	0,083 2	0,109 6
4	н-гептан	0,040 2	0,041 9
5	йодистий метил	0,049 8	0,062 7
6	гептилова кислота	0,055 6	0,094 8

4. Визначить коефіцієнт фільності. Що можна сказати про змочуваність речовини водою і неполярною рідиною при наявності питомих теплот змочування (Q)? Дані наведені у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Варіанти даних для виконання завданні 4

№	Тверда речовина	Рідина	Q , кДж · кг ⁻¹
1	вугілля	вода/гексан	24,72/67,80
2	вугілля	вода/бензол	24,72/66,94
3	SiO ₂	вода/гексан	38,11/18,42
4	SiO ₂	вода/бензол	38,11/18,41
5	графіт	вода/бензол	6,28/6,70
6	тверда речовина	вода/бензол	85,41/30,98

6.3 Запитання для самоконтролю

1. Чим характеризують здатність рідини змочувати поверхню твердого тіла?
2. Яке поверхнєве явище називають змочуванням? Що називають кутом змочування θ ?
3. Які значення має θ при повному змочуванні і при повному незмочуванні?
4. Практичне значення змочування у процесах флотації.
5. Напишіть рівняння Юнга, Дюпре – Юнга.
6. Що називають адгезією і когезією?
7. Що називають коефіцієнтом розтікання за Гаркінсом?
8. Які умови розтікання рідини на поверхні твердого тіла?

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Колоїдна хімія : підручник / М. О. Мchedлов-Петросян, В. І. Лебідь, О. М. Глазкова, О. В. Лебідь ; за ред. проф. М. О. Мchedлова-Петросяна. – 2-ге вид., випр. і доп. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2012. – 500 с.
2. Яцков М. В. Фізична та колоїдна хімія : навч. посіб. / М. В. Яцков, Н. М. Буденкова., О. І. Мисіна. – Рівне : НУВГП, 2016. – 164 с.
3. Короткова І. В. Фізична і колоїдна хімія: Лабораторний практикум / І. В. Короткова, М. М. Маренич. – Полтава, 2018. – 224 с.

Електронне навчальне видання

Методичні рекомендації
для виконання самостійних робіт
із навчальної дисципліни

**«ПОВЕРХНЕВІ ЯВИЩА ТА
ДИСПЕРСНІ СИСТЕМИ»**

*(для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної форми
навчання зі спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія)*

Укладачі: **ПИЛИПЕНКО** Олексій Іванович,
ПАНАЙОТОВА Тетяна Дмитрівна,
ЗАЙЦЕВА Інна Сергіївна

Відповідальний за випуск *Т. Д. Панайотова*
За авторською редакцією
Комп'ютерне верстання *О. І. Пилипенко*

План 2022, поз. 61М

Підп. до друку 06.04.2023. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 2,3

Видавець і виготовлювач:
Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.
Електронна адреса: office@kname.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 5328 від 11.04.2017.