

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до виконання самостійної і контрольної роботи  
з дисципліни

***ХІМІЯ З ОСНОВАМИ БІОГЕОХІМІЇ***  
***Модуль 2***

*(для студентів 1-2 курсів денної та заочної форм навчання  
напряму підготовки*

*6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища  
та збалансоване природокористування)*

**Харків – ХНУМГ ім. О. М. Бекетова – 2016**

Методичні вказівки до виконання самостійної і контрольної роботи з дисципліни "Хімія з основами біогеохімії". Модуль 2 (для студентів 1-2 курсів денної та заочної форм навчання напряму підготовки 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: І. С. Зайцева, О. О. Мураєва, Т. Д. Панайотова, Т. П. Нат. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 57 с.

Укладачі: канд. хім. наук І. С. Зайцева,  
канд. хім. наук О. О. Мураєва,  
канд. хім. наук Т. Д. Панайотова,  
Т. П. Нат

Рецензент: Н. В. Мокрицька, канд. техн. наук, доцент Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова.

*Рекомендовано кафедрою хімії, протокол № 3 від 18.10.2013 р.*

## Зміст

Загальні зауваження.....	4
1 Розчини. Кількісний склад розчинів. Приготування і стандартизація розчинів.....	5
2 Гідроліз солей. Водневий показник.....	8
3 Метод нейтралізації.....	13
4 Метод комплексоутворення.....	17
5 Метод осадження. Добуток розчинності. Випадіння осадів.....	25
6 Фотометричний метод аналізу.....	30
7 Рефрактометричний метод аналізу.....	35
8 Кондуктометричний метод аналізу.....	40
9 Потенціометричний метод аналізу.....	45
Додатки.....	51
Використані джерела.....	57

## ЗАГАЛЬНІ ЗАУВАЖЕННЯ

У процесі вивчення дисципліни "Хімія з основами біогеохімії" важлива роль відводиться самостійній роботі студентів, яка є невід'ємною складовою частиною процесу підготовки фахівців, сприяє кращому засвоєнню і практичному застосуванню теоретичного матеріалу, є визнаним і дієвим засобом набуття і розвитку творчого мислення і самовдосконалення студентів. Цілком очевидно, що успішне засвоєння дисципліни ефективно лише при умові систематичної і активної участі у процесі навчання самих студентів.

Одним зі шляхів активізації вивчення дисципліни є збільшення часу, що витрачає студент на самостійну роботу, а ефект самостійної роботи буде тим вищим, чим краще вона організована. Мета цих методичних вказівок – допомогти студентам у правильній і раціональній організації самостійної роботи під керівництвом і контролем викладачів.

Виконання контрольної роботи є однією із складових самостійної роботи студента під час вивчення предмета. Безпосередньому виконанню роботи передуює вивчення теоретичного матеріалу одночасно з детальним розглядом прикладів розв'язання типових для кожного розділу завдань. Такі приклади наведені на початку відповідного розділу цих вказівок. На цьому етапі і під час виконання завдання можна використовувати навчальні посібники з наведеного в кінці вказівок списку літератури. Не слід переходити до вивчення нових розділів курсу, доки детально не вивчений попередній.

Методичні вказівки включають дев'ять розділів, і два додатки, необхідні для розв'язання задач.

Кожен студент виконує індивідуальний варіант самостійної (контрольної, розрахунково-графічної) роботи, номер якого визначає викладач.

Номери й умови завдань *необхідно переписувати* в тій послідовності, в якій вони вказані у варіанті контрольної роботи. Відповіді на теоретичні питання і розв'язання задач слід надаватися з докладними поясненнями.

Контрольна робота повинна бути акуратно оформлена в окремому зошиті, датована, підписана студентом, своєчасно подана на рецензування і зарахована до початку екзаменаційної сесії. Для зауважень і позначень рецензента слід залишати широкі поля (3см). Якщо контрольна робота містить істотні помилки, їх необхідно усунути відповідно до зауважень рецензента. виправлення необхідно виконати в кінці роботи, а не в рецензованому тексті.

Контрольну роботу, яка виконана не за своїм варіантом, викладач не рецензує й не зараховує.

## **1 Розчини. Кількісний склад розчинів. Приготування і стандартизація розчинів**

**Приклад 1.** Для нейтралізації 40 мл розчину сульфатної кислоти знадобилося 24 мл 0,2 н розчину лугу. Визначить молярну концентрацію еквівалента сульфатної кислоти у розчині.

**Розв'язання.** Речовини взаємодіють одна з одною в еквівалентних кількостях:  $n_{\text{екв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = n_{\text{екв}}(\text{NaOH})$ .

$$n_{\text{екв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4), \quad n_{\text{екв}}(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}),$$

$$c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}).$$

$$c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{V(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{0,2 \cdot 24}{40} = 0,12 \text{ моль/л}$$

**Приклад 2.** Опишіть приготування 200 мл 0,1 н розчину хлоридної кислоти з 5% розчину, густина якого 1,02 г/см<sup>3</sup>.

**Розв'язання.** Спочатку розрахуємо масу речовини HCl, необхідну для приготування 200 мл 0,1 н розчину HCl:

$$c(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl}) \cdot f_{\text{екв}}(\text{HCl}) \cdot V_{\text{р-ну}}(\text{HCl})};$$

$$m(\text{HCl}) = c(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}) \cdot f_{\text{екв}}(\text{HCl}) \cdot V_{\text{р-ну}}(\text{HCl}) = 0,1 \cdot 36,5 \cdot 1 \cdot 0,2 = 0,73 \text{ г.}$$

Потім розрахуємо, масу 5% розчину, що містить 0,73 г речовини HCl:

$$100 \text{ г розчину} - 5 \text{ г HCl}$$

$$x \text{ г розчину} - 0,73 \text{ г HCl}$$

$$x = m_{\text{р-ну}} = \frac{100 \cdot 0,73}{5} = 14,6 \text{ г.}$$

Таким чином, для приготування 200 мл 0,1 н розчину HCl треба взяти 14,6 г 5% розчину HCl

Нарешті розрахуємо об'єм 5% розчину, який потрібний для приготування 200 мл 0,1 н розчину:

$$V_{\text{р-ну}} = \frac{m_{\text{р-ну}}}{\rho_{\text{р-ну}}} = \frac{14,6}{1,02} = 14,3 \text{ мл.}$$

Для приготування 200 мл 0,1 н розчину HCl з 5%-вого розчину необхідно за допомогою бюретки (або циліндра) набрати 14,3 мл 5%-вого розчину HCl, перенести цей об'єм у мірну колбу на 200 мл і довести загальний об'єм розчину до 200 мл дистильованою водою.

**Приклад 3.** Розрахуйте рН 0,001 М розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  за умов повної дисоціації гідроксиду кальцію.



У відповідності з рівнянням дисоціації  $[\text{OH}^-] = 2[\text{Ca}(\text{OH})_2]$  тому  $[\text{OH}^-] = 2 \cdot 0,001 = 0,002$  моль/л.

$$[\text{H}^+] = \frac{K_w}{[\text{OH}^-]} = \frac{10^{-14}}{0,002} = 0,5 \cdot 10^{-11} \text{ моль/л.}$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg(0,5 \cdot 10^{-11}) = 11,30.$$

### **Контрольні задачі**

1. Опишіть приготування 200 мл 0,01 н розчину  $\text{H}_3\text{PO}_4$  із 2%-вого розчину кислоти ( $\rho = 1,02 \text{ г/см}^3$ ). Визначить рН цього розчину, якщо  $K_{\text{д1}} = 7 \cdot 10^{-3}$ .

2. Опишіть приготування 200 мл 0,01 н розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$  із 5%-вого розчину кислоти ( $\rho = 1,025 \text{ г/см}^3$ ). Визначить рН цього розчину.

3. До 200 мл 10%-вого розчину сульфатної кислоти ( $\rho = 1,045 \text{ г/см}^3$ ) додали 100 мл 5%-вого розчину ( $\rho = 1,025 \text{ г/см}^3$ ). Визначить процентну, молярну, нормальну концентрації одержаного розчину, а також його рН.

4. Опишіть приготування 0,2 л 0,01 н розчину  $\text{KOH}$  з 5%-вого розчину ( $\rho = 1,033 \text{ г/см}^3$ ). Визначить рН цього розчину.

5. До 300 мл 2%-вого розчину нітратної кислоти ( $\rho = 1,01 \text{ г/см}^3$ ) додали 250 мл 5%-вого розчину ( $\rho = 1,03 \text{ г/см}^3$ ). Розрахуйте процентну, молярну, нормальну концентрації одержаного розчину, а також його рН.

6. Визначить молярну та нормальну концентрації  $\text{H}_3\text{PO}_4$  в 5%-вому розчині ( $\rho = 1,09 \text{ г/см}^3$ ). Розрахуйте рН цього розчину, якщо  $K_{\text{д1}} = 7,1 \cdot 10^{-3}$ .

7. Опишіть приготування 0,1 н розчину  $\text{NaOH}$  з 5%-вого розчину ( $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$ ). Визначить рН цього розчину. За допомогою яких розчинів стандартизують розчин  $\text{NaOH}$ .

8. Опишіть приготування 200 мл 0,01 н розчину хлоридної кислоти з 0,1 н. Розрахуйте рН цього розчину. За допомогою яких речовин стандартизують розчин  $\text{HCl}$ ?

9. Опишіть приготування 500 мл 0,01 н розчину  $\text{NaOH}$  з 0,1 н. Розрахуйте рН цього розчину. За допомогою яких речовин стандартизують розчин  $\text{NaOH}$ ?

10. Визначить молярну та нормальну концентрації  $\text{HNO}_3$  в 2%-вому розчині ( $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$ ). Розрахуйте рН цього розчину. Якого кольору буде метилоранж у цьому розчині?

11. Який об'єм 10%-вого розчину натрій карбонату (густина  $1,105 \text{ г/см}^3$ ) потрібний для приготування 5 л 2%-вого розчину (густина  $1,02 \text{ г/см}^3$ )?

12. До 1 л 2%-вого розчину калій гідроксиду ( $\rho = 1,01 \text{ г/см}^3$ ) додали 2 л води. Розрахуйте процентну, молярну, нормальну концентрації калій гідроксиду в одержаному розчині, а також його рН.

13. У 2 л водного розчину міститься 0,8765 г сульфатної кислоти. Густина розчину  $1,04 \text{ г/см}^3$ . Розрахуйте процентну, молярну, нормальну концентрації сульфатної кислоти в цьому розчині, а також його рН.

14. Опишіть приготування 0,5%-вого розчину кальцій гідроксиду ( $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$ ). Розрахуйте молярну і нормальну концентрації кальцій гідроксиду в одержаному розчині, а також його рН.

15. Опишіть приготування 100 мл розчину хлоридної кислоти з 0,1 М НСІ розбавленням останнього у співвідношенні 1:4. Яка молярна концентрація хлоридної кислоти в розчині, що утворився?

16. Опишіть приготування 300 мл 0,1 н розчину оцтової (етанової) кислоти з 5%-вого розчину ( $\rho = 1,01 \text{ г/см}^3$ ) Розрахуйте рН розчину, якщо константа дисоціації оцтової кислоти дорівнює  $1,8 \cdot 10^{-5}$ .

17. Титр сульфатної кислоти в розчині  $0,0063 \text{ г/см}^3$ . Розрахуйте для цього розчину рН, молярну і нормальну концентрації кислоти.

18. Яку наважку бури ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) потрібно взяти для приготування  $0,5 \text{ дм}^3$  0,1 н розчину. Для чого використовують розчин бури?

19. Скільки 2 М розчину НСІ потрібно додати до  $1 \text{ дм}^3$  0,15 М розчину НСІ, щоб отримати 0,2 М розчин? Розрахуйте рН отриманого розчину.

20. Розчин оцтової (етанової) кислоти ( $25 \text{ см}^3$ ) нейтралізували  $20,00 \text{ см}^3$  0,15 н розчином КОН. Розрахуйте молярну концентрацію оцтової кислоти у вихідному розчині, а також його рН.

21. Опишіть приготування  $2 \text{ дм}^3$  0,01 н розчину хлоридної кислоти з 36%-вого розчину кислоти ( $\rho = 1,179 \text{ г/см}^3$ ). Розрахуйте рН цього розчину.

22. Із 5,3 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  приготували  $1 \text{ дм}^3$  розчину ( $\rho = 1,11 \text{ г/см}^3$ ). Розрахуйте молярну і нормальну концентрації натрій карбонату в розчині.

23. До 500 мл 10%-вого розчину хлоридної кислоти ( $\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$ ) прилили 1 л води. Визначить процентну, молярну, нормальну концентрації хлоридної кислоти в одержаному розчині, а також його рН.

24. Титр натрій гідроксиду в розчині  $0,0045 \text{ г/см}^3$ . Розрахуйте для цього розчину рН, молярну і нормальну концентрації натрій гідроксиду.

25. Опишіть приготування 250 мл 0,1 н розчину мурашиної (метанової) кислоти з 5%-вого розчину ( $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$ ) Розрахуйте рН одержаного розчину, якщо константа дисоціації мурашиної кислоти дорівнює  $1,8 \cdot 10^{-4}$ .

26. Який об'єм розчину сульфатної кислоти з масовою часткою 0,98 і густиною  $1,84 \text{ г/см}^3$  потрібен для приготування 2 л 0,1 н розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ?

27. Який об'єм 10%-вого розчину натрій карбонату ( $\rho = 1,105 \text{ г/см}^3$ ) потрібно взяти для приготування 1 л розчину з нормальною концентрацією 0,05 н?

28. У природних водах залізо знаходиться переважно у вигляді  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_3$ . Для видалення заліза використовують вапнування (обробка води кальцій гідроксидом). Скільки грамів заліза міститься в 1л води, якщо на його осадження у вигляді  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  із 200 мл води знадобилось 4 мл 0,01 н розчину  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

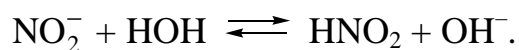
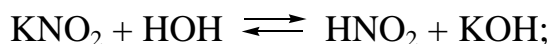
29. Розрахуйте молярну, нормальну концентрації амоній гідроксиду в 3%-вому розчині ( $\rho = 1,109 \text{ г/см}^3$ ), а також його рН, якщо константа дисоціації амоній гідроксиду дорівнює  $1,75 \cdot 10^{-5}$ .

30. До 500 мл 10%-вого розчину нітратної кислоти ( $\rho = 1,105 \text{ г/см}^3$ ) прилили 1,5 л води. Визначити процентну, молярну, нормальну концентрації та рН отриманого розчину

## 2 Гідроліз солей. Водневий показник

**Приклад 1.** До  $30 \text{ см}^3$  води долили  $5 \text{ см}^3$  3 М розчину калій нітриту. Обчисліть ступінь гідролізу солі за  $25^\circ\text{C}$  і рН розчину.

**Розв'язання.** Запишемо рівняння гідролізу солі  $\text{KNO}_2$ . Сіль утворена сильним лугом і слабкою кислотою, отже, гідроліз буде відбуватися за аніоном, реакція середовища буде лужною ( $\text{pH} > 7$ ):



Розрахуємо концентрацію солі  $c_2(\text{KNO}_2)$  після розбавлення розчину. Об'єм розчину калій нітриту до змішування з водою був  $V_1 = 5 \text{ см}^3$ , а після змішування став  $V_2 = 5 + 30 = 35 \text{ см}^3$ . Тоді

$$c_1(\text{KNO}_2) \cdot V_1 = c_2(\text{KNO}_2) \cdot V_2$$
$$c_2(\text{KNO}_2) = \frac{c_1(\text{KNO}_2) \cdot V_1}{V_2} = \frac{3 \cdot 5}{35} = 0,429 \text{ моль/л.}$$



Визначимо значення константи гідролізу за рівнянням

$$K_{\Gamma} = \frac{K_{\text{W}}}{K_{\text{Д}}(\text{HNO}_2)} = \frac{10^{-14}}{6,9 \cdot 10^{-4}} = 1,45 \cdot 10^{-11},$$

де  $K_{\Gamma}$  – константа гідролізу солі  $\text{KNO}_2$ ,

$K_{\text{W}}$  – іонний добуток води ( $K_{\text{W}} = 1 \cdot 10^{-14}$ ),

$K_{\text{Д}}(\text{KNO}_2)$  – константа дисоціації нітритної кислоти

( $K_{\text{Д}}(\text{KNO}_2) = 6,9,1 \cdot 10^{-4}$  – додаток 1, табл. 1.2).

Розрахуємо ступінь гідролізу солі  $h$ :

$$h = \sqrt{\frac{K_{\Gamma}}{c_2(\text{KNO}_2)}} = \sqrt{\frac{1,45 \cdot 10^{-11}}{0,429}} = 5,8 \cdot 10^{-6}.$$

Розрахуємо рН водного розчину калій нітриту. У відповідності з рівнянням гідролізу, якщо вихідна концентрація аніонів  $\text{NO}_2^-$  дорівнює  $c_2$  моль/л, а гідролізується тільки частина  $h$  цих аніонів, то концентрація аніонів  $\text{OH}^-$  становитиме:

	$\text{NO}_2^-$	+	$\text{HOH}$	$\rightleftharpoons$	$\text{HNO}_2$	+	$\text{OH}^-$
<i>початк.</i>	$c_2(\text{KNO}_2)$				0		0
<i>конц.</i>							
<i>зміна конц.</i>	$-hc_2(\text{KNO}_2)$				$hc_2(\text{KNO}_2)$		$hc_2(\text{KNO}_2)$
<i>рівн. конц.</i>	$c_2(\text{KNO}_2) - hc_2(\text{KNO}_2)$				$hc_2(\text{KNO}_2)$		$hc_2(\text{KNO}_2)$

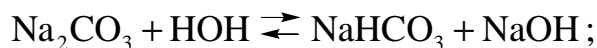
$$[\text{OH}^-] = hc_2(\text{KNO}_2) = 5,8 \cdot 10^{-6} \cdot 0,429 = 2,49 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л,}$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-14} / 2,49 \cdot 10^{-6} = 4,0 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л,}$$

$$\text{pH} = -\lg 4,0 \cdot 10^{-9} = -(\lg 4,0 + \lg 10^{-9}) = 9 - \lg 4,0 = 8,4.$$

**Приклад 2.** Розрахуйте значення рН 0,1 М розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

**Розв'язання.** Сіль утворена сильною основою і слабкою кислотою – гідроліз буде відбуватися за аніоном, реакція середовища буде лужною (рН>7):



Визначимо значення константи гідролізу за рівнянням

$$K_{\Gamma} = \frac{K_{\text{W}}}{K_{\text{ДII}}(\text{H}_2\text{CO}_3)} = \frac{10^{-14}}{4,69 \cdot 10^{-11}} = 2,13 \cdot 10^{-4}.$$

Визначимо ступінь гідролізу:

$$h = \sqrt{\frac{K_{\Gamma}}{c(\text{Na}_2\text{CO}_3)}} = \sqrt{\frac{2,13 \cdot 10^{-4}}{0,1}} = \sqrt{2,13 \cdot 10^{-3}} = 4,6 \cdot 10^{-2}.$$

$$[\text{OH}^-] = h \cdot c = 4,6 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}, [\text{H}^+] = 10^{-14} / 4,6 \cdot 10^{-3} = 2,17 \cdot 10^{-12}; \text{pH} = 11,7.$$

**Буферний розчин** — водний розчин, що містить сполуки, які протистоять значній зміні рН при додаванні невеликої кількості кислоти або основи, або при розведенні.

Буферні розчини використовують для підтримання сталого рН середовища. Вони також входять до складу великої кількості промислових товарів, таких як деякі медичні препарати, засоби для догляду за шкірою і волоссям тощо. Буферні розчини необхідні для забезпечення гомеостазу живих організмів, наприклад, рН крові людини підтримується на сталому рівні, оптимальному для транспорту кисню (близько 7,4), завдяки кільком буферним системам

Зазвичай буферні розчини містять слабку кислоту та сіль, яка містить аніон цієї кислоти (наприклад,  $\text{CH}_3\text{COOH} / \text{CH}_3\text{COONa}$ ), або слабку основу та сіль, яка містить катіон цієї основи (наприклад,  $\text{NH}_4\text{OH} / \text{NH}_4\text{Cl}$ ).

Буферні розчини одержують при частковій нейтралізації слабкої кислоти сильною основою, або слабкої основи сильною кислотою.

Водневий показник рН буферного розчину, який містить слабку кислоту НА та сіль, яка містить аніон цієї кислоти  $\text{A}^-$ , можна розрахувати за рівнянням Гендерсона-Хасельбальха:

$$[\text{H}^+] = K_{\text{д}}(\text{НА}) \cdot \frac{[\text{НА}]}{[\text{A}^-]} \approx K_{\text{д}}(\text{НА}) \cdot \frac{c(\text{кислоти})}{c(\text{солі})},$$

де  $K_{\text{д}}(\text{НА})$  – константа дисоціації слабкої кислоти НА;

$[\text{НА}]$ ,  $[\text{A}^-]$  – рівноважні концентрації слабкої кислоти та аніона цієї кислоти;  
 $c(\text{кислоти})$ ,  $c(\text{солі})$  – вихідні концентрації кислоти і солі.

$$\text{pH} = \text{p}K_{\text{д}}(\text{НА}) + \lg \frac{[\text{A}^-]}{[\text{НА}]} \approx \text{p}K_{\text{д}}(\text{НА}) + \lg \frac{c(\text{солі})}{c(\text{кислоти})},$$

де  $\text{p}K_{\text{д}}(\text{НА}) = -\lg K_{\text{д}}(\text{НА})$ .

pH буферного розчину, який містить слабку основу ВОН та сіль, яка містить катіон цієї основи  $V^+$ , можна розрахувати:

$$[OH^-] = K_d(ВОН) \cdot \frac{[ВОН]}{[V^+]} \approx K_d(ВОН) \cdot \frac{c(\text{основи})}{c(\text{солі})},$$

де  $K_d(ВОН)$  – константа дисоціації слабкої основи ВОН;

$[ВОН]$ ,  $[V^+]$  – рівноважні концентрації слабкої основи та катіона цієї основи;

$c(\text{основи})$ ,  $c(\text{солі})$  – вихідні концентрації основи і солі.

$$pOH \approx pK_d(ВОН) + \lg \frac{c(\text{солі})}{c(\text{основи})}, \quad pH = 14 - pOH,$$

де  $pK_d(ВОН) = -\lg K_d(ВОН)$ .

**Приклад 3.** Розрахуйте pH буферного розчину, який містить 0,100 моль/л оцтової (етанової) кислоти й 0,100 моль/л ацетату натрію.  $K_d(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,74 \cdot 10^{-5}$ .

**Розв'язання.** Розрахуємо pH кислотного буферного розчину за формулою

$$pH = pK_d(\text{CH}_3\text{COOH}) + \lg \frac{c(\text{CH}_3\text{COONa})}{c(\text{CH}_3\text{COOH})}$$

$c(\text{CH}_3\text{COOH}) = c(\text{CH}_3\text{COONa}) = 0,100$  моль/л, тоді:

$$pH = pK(\text{CH}_3\text{COOH}) = -\lg 1,74 \cdot 10^{-5} = 4,76.$$

**Приклад 4.** Розрахуйте pH буферного розчину, який містить 0,100 моль/л аміаку ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) й 0,200 моль/л хлориду амонію.  $K_d(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,76 \cdot 10^{-5}$ .

**Розв'язання.** Розрахуємо pOH за формулою

$$pOH = pK_d(\text{NH}_4\text{OH}) + \lg \frac{c(\text{NH}_4\text{Cl})}{c(\text{NH}_4\text{OH})}$$

$$pK_d(\text{NH}_4\text{OH}) = -\lg 1,76 \cdot 10^{-5} = 4,75.$$

$$pOH = 4,75 + \lg \frac{0,200}{0,100} = 5,05; \quad pH = 14 - 5,05 = 8,95.$$

### Контрольні задачі

Значення констант дисоціації  $K_d$  слабких електролітів наведені в таблиці 1.2 додатку 1.

1. У 500 мл розчину міститься 2,52 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ . Визначить pH розчину і ступінь гідролізу солі (розглядати гідроліз за першим ступенем).

2. Розрахуйте pH і ступінь гідролізу в 0,05 М розчині  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ . Чому буде дорівнювати pH, якщо розчин розбавити водою в 5 разів?

3. До 100 мл 0,2 М оцтової (етанової) кислоти додали 100 мл 0,2 М калій гідроксиду. Розрахуйте pH і ступінь гідролізу солі.

4. Чому розчин  $\text{NaHCO}_3$  має слабо-лужну, а розчин  $\text{NaHSO}_3$  – слабо-кислу реакцію? Відповідь ілюструйте рівняннями реакції гідролізу й дисоціації солей. Наведіть розрахунки рН в 0,01М розчинах відповідних солей.

5. Розрахуйте об'єм розчину з молярною концентрацією натрій гідроксиду 0,200 моль/л, який необхідно додати до 100,0 см<sup>3</sup> розчину з молярною концентрацією оцтової (етанової) кислоти 0,150 моль/л, щоб одержати буферний розчин рН якого дорівнює 5,00.

6. Як зміниться ступінь гідролізу і рН розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  при його розбавленні від 0,1 М до 0,001 М? Наведіть рівняння гідролізу солі. Розрахунки представити для гідролізу за першим ступенем.

7. Скільки грамів KCN знаходиться в 10 мл розчину, якщо його рН дорівнює 11,0?

8. Змішали 40 мл 0,3 М оцтової (етанової) кислоти і 20 мл 0,15 М калій гідроксиду. Розрахуйте рН розчину.

9. Розрахуйте рН розчину, якщо ступінь гідролізу в 0,05 М розчині  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  дорівнює 5 %.

10. Розрахуйте рН розчину, якщо ступінь гідролізу в 0,1 М розчині  $\text{KNO}_2$  дорівнює 3 %.

11. Розрахуйте рН розчину і ступінь гідролізу солі  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , якщо концентрація її дорівнює 0,2 моль/л.

12. За якої молярної концентрації  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  розчин має рН 5?

13. Скільки грамів  $\text{NH}_4\text{Cl}$  міститься в 1 л розчині, якщо його рН 6?

14. Розрахуйте рН буферного розчину, 1,00 л якого містить 0,100 моль натрій гідрогенкарбонату і 0,0100 моль натрій карбонату.

15. Розрахуйте другу константу дисоціації карбонатної кислоти, якщо 0,1 М розчин  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  має рН 12.

16. Який колір матиме 0,1 М розчин натрій карбонату, якщо до нього долити фенолфталеїн? Відповідь підтвердить розрахунком.

17. В 1 л розчину міститься 0,1 моль  $\text{NH}_4\text{Cl}$  і  $1 \cdot 10^{-4}$  моль  $\text{HCl}$ . Визначить ступінь гідролізу солі в цьому розчині й у розчині, що не містить  $\text{HCl}$ .

18. Який колір матиме 0,2 М розчин  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ , якщо до нього долити метиловий жовтогарячий? Відповідь підтвердить розрахунками.

19. Скільки твердого натрій цианіду (г) необхідно розчинити в 50 мл 0,02М розчину цианідної кислоти, щоб рН розчину дорівнював 8,2?

20. Який розчин матиме більш лужне середовище: 0,01М розчин  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  чи 0,1М розчин  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ? Відповідь підтвердить розрахунками.

21. На скільки зміниться рН формиатного буферного розчину, який містить мурашину (метанову) кислоту і натрій формиат концентрацією розчиненої речовини 0,100 моль/л, якщо до 20,0 мл такого розчину додати 5,00 мл розчину з концентрацією хлоридної кислоти 0,0100 моль/л?

22. Який розчин матиме більш низьке значення рН: 0,1 М розчин  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  чи 0,1 М розчин  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ? Відповідь підтвердить розрахунками.

23. Скільки міліграмів натрій ацетату необхідно додати до 3,00 мл розчину оцтової (етанової) кислоти концентрацією 0,100 моль/л, щоб одержати розчин з молярною концентрацією  $[\text{H}^+] = 4,50 \cdot 10^{-5}$  моль/л?

24. Скільки грамів  $\text{CH}_3\text{COONa}$  потрібно додати до 500 мл води, щоб одержати розчин з рН 9?

25. Розрахуйте рН карбонатного буферного розчину, для приготування 500 мл якого зважили 21,1980 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  й 25,2030 г  $\text{NaHCO}_3$ .

26. У 250 мл розчину міститься 0,535 г  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . Розрахуйте рН і ступінь гідролізу солі.

27. Яку наважку амоній нітрату потрібно розчинити в  $150 \text{ см}^3$  розчину, щоб рН дорівнювало 5?

28. Розчин  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  має слабо-кислу, а розчин  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  – сильно-лужну реакцію. Поясніть цей факт за допомогою відповідних йонно-молекулярних рівнянь і розрахунку рН розчинів відповідних солей для концентрації 0,001 моль/л.

29. В якому об'ємі потрібно розчинити наважку натрій ацетату 0,03 г, щоб одержати розчин з рН = 8?

30. Розрахуйте рН буферного розчину, для приготування якого змішали 20 мл 0,05М розчину нітритної кислоти з 40 мл 2,0М розчину калій нітриту.

### 3 Метод нейтралізації

**Приклад 1.** На титрування  $20 \text{ см}^3$  0,02 н розчину  $\text{HCl}$  витрачено  $15 \text{ см}^3$  розчину  $\text{NaOH}$ . Визначить нормальну концентрацію  $\text{NaOH}$ .

**Розв'язання.** Так як речовини реагують між собою в еквівалентних кількостях, то кількість еквівалентів  $\text{HCl}$  у точці еквівалентності повинна дорівнювати кількості еквівалентів  $\text{NaOH}$ :

$$n_{\text{екв}}(\text{HCl}) = n_{\text{екв}}(\text{NaOH});$$
$$n_{\text{екв}}(\text{HCl}) = c_{\text{н}}(\text{HCl}) \cdot V_{\text{р-ну}}(\text{HCl}); n_{\text{екв}}(\text{NaOH}) = c_{\text{н}}(\text{NaOH}) \cdot V_{\text{р-ну}}(\text{NaOH})$$
$$c_{\text{н}}(\text{NaOH}) = \frac{c_{\text{н}}(\text{HCl}) \cdot V_{\text{р-ну}}(\text{HCl})}{V_{\text{р-ну}}(\text{NaOH})} = \frac{0,02 \cdot 20}{15} = 0,027 \text{ моль/л.}$$

**Приклад 2.** Водневий показник води дорівнює 10. Які показники якості води можна визначити методом нейтралізації?

**Розв'язання.** При  $pH=10$  можна визначити:

1. **Лужність вільну** ( $L_B$ ) ( $pH$  від 14 до 9) – титрування проби води 0,1 н розчином  $HCl$  у присутності фенолфталеїну.

2. **Лужність загальну** ( $L_{заг}$ ) ( $pH$  від 14 до 4) – титрування проби води 0,1 н розчином  $HCl$  у присутності метилоранжу.

Лужність розраховують за формулою

$$L_{заг} = \frac{c_H(HCl) \cdot V_{p-ну}(HCl) \cdot 1000}{V(H_2O)}, \text{ ммоль/л.}$$

3. **Форми карбонатної кислоти:**  $CO_3^{2-}$  і  $HCO_3^-$ .

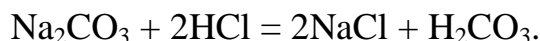
Вміст  $CO_3^{2-}$  дорівнює лужності вільній (ммоль/л). Для визначення  $CO_3^{2-}$  в мг/л необхідно  $L_B \cdot M(1/2 CO_3^{2-}) = L_B \cdot 60$ .

Вміст  $HCO_3^-$  дорівнює різниці ( $L_{заг} - L_B$ ) у ммоль/л. У мг/л вміст  $HCO_3^-$  розраховують як  $(L_{заг} - L_B) \cdot M(HCO_3^-) = (L_{заг} - L_B) \cdot 61$ .

4. **Твердість карбонатну** ( $T_K$ ), яка дорівнює різниці ( $L_{заг} - L_B$ ) в ммоль/л.

**Приклад 3.** Розрахуйте масу  $Na_2CO_3$ , якщо на титрування солі з утворенням  $H_2CO_3$ , витрачено 22,35 мл 0,2113 М розчину  $HCl$ .

**Розв'язання.**



У точці еквівалентності:

$$n_{екв}(HCl) = n_{екв}(Na_2CO_3);$$

$$n_{екв}(HCl) = c_H(HCl) \cdot V_{p-ну}(HCl);$$

$$n_{екв}(Na_2CO_3) = \frac{m(Na_2CO_3)}{M(Na_2CO_3) \cdot f_{екв}(Na_2CO_3)};$$

$$\frac{m(Na_2CO_3)}{M(Na_2CO_3) \cdot f_{екв}(Na_2CO_3)} = c_H(HCl) \cdot V_{p-ну}(HCl).$$

$$f_{екв}(Na_2CO_3) = 1/2, \quad m(Na_2CO_3) = c_H(HCl) \cdot V_{p-ну}(HCl) \cdot M(Na_2CO_3) \cdot f_{екв}(Na_2CO_3) = \\ = 0,2113 \cdot 22,35 \cdot 10^{-3} \cdot 106 \cdot 1/2 = 0,2503 \text{ г.}$$

### **Контрольні задачі**

1. Розчин містить 1,4320 г калій гідроксиду в 0,5 л. Скільки мілілітрів цього розчину піде на титрування 20 мл 0,1 н розчину хлоридної кислоти? Який індикатор потрібно вибрати для титрування?

2. Наважку натрій карбонату вагою 1,3540 г розчинили в мірній колбі на 250 мл, об'єм розчину довели до позначки дистильованою водою. На титрування 20 мл цього розчину витрачено 18,8 мл розчину хлоридної кислоти. Розрахуйте концентрацію хлоридної кислоти в розчині? Який індикатор для цього титрування було використано?

3. На титрування розчину, що досліджують, витрачено 18,5 мл 0,1 н розчину натрій гідроксиду. Розрахуйте масу речовини NaOH.

4. Скільки мілілітрів 20 %-вого розчину хлоридної кислоти з густиною  $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$  знадобиться для приготування 250 мл 0,1 н розчину? Який стандартний розчин і який індикатор потрібні для визначення точної концентрації HCl в розчині? Наведіть рівняння реакції.

5. Розрахуйте нормальну концентрацію  $\text{NH}_4\text{OH}$  в розчині, якщо рН розчину 11.

6. Які показники якості води можна визначити, якщо на титрування 100 мл води з фенолфталеїном витрачено 5 мл 0,1 н розчину HCl, а на титрування 100 мл води в присутності метилоранжу – 8 мл 0,1 н розчину HCl. Відповідь доведіть розрахунками.

7. Розрахуйте рН розчину, отриманого при змішуванні 20 мл 0,2 н розчину HCl і 18 мл 0,2 н розчину NaOH. Яке забарвлення матиме цей розчин, якщо до нього додати фенолфталеїн.

8. Розрахуйте наважку щавлевої (етандіової) кислоти  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , необхідну для приготування 200 мл 0,1 н розчину. Розрахуйте нормальну концентрацію NaOH в розчині, якщо на титрування 10 мл 0,1 н розчину щавлевої кислоти витрачено 10,8 мл розчину NaOH. Який індикатор слід використовувати при титруванні?

9. Як приготувати 500 мл 0,1 н розчину натрій карбонату? Якої концентрації була хлоридна кислота, якщо на титрування 10 мл розчину натрій карбонату витрачено 9,8 мл розчину хлоридної кислоти?

10. Скільки грамів натрій гідроксиду знадобиться для приготування 2 літрів 0,2 н розчину? Як визначити точну концентрацію цього розчину? Скільки мл 0,1 н розчину хлоридної кислоти піде на повну нейтралізацію NaOH?

11. Розрахуйте наважку  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , необхідну для приготування 250 мл 0,1 н розчину. Яка молярна концентрація  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в цьому розчині? Скільки мл 0,1 н розчину хлоридної кислоти знадобиться на повну нейтралізацію  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ?

12. Як приготувати 2 л 0,1 н розчину хлоридної кислоти, використовуючи 38 % її розчин, густина якого 1,18 г/мл? Розрахуйте нормальну концентрацію

NaOH в розчині, якщо на титрування 10 мл 0,1 н розчину хлоридної кислоти витрачено 11,4 мл розчину NaOH. Який індикатор слід використовувати при титруванні?

13. Визначить, які показники якості води можна розрахувати за даними метода нейтралізації, якщо рН води дорівнює 4,8.

14. Яку лужність води і форми карбонатної кислоти можна розрахувати, якщо на титрування 100 мл води з індикатором метилоранжем витрачено 6,5 мл 0,1 н розчину хлоридної кислоти?

15. Обчисліть карбонатну твердість води, якщо для реакції з кальцій гідрогенкарбонатом, що міститься в 200 см<sup>3</sup> води, потрібно 13 см<sup>3</sup> 0,1 н розчину HCl.

16. Чому дорівнює карбонатна твердість води, якщо на титрування 100 мл її з метилоранжем було витрачено 6,2 мл 0,1 н розчину хлоридної кислоти? Скільки міліграмів гідрогенкарбонат-іонів міститься в пробі води?

17. У досліджуваній воді індикатор метилоранж забарвився в червоний колір. На титрування 100 мл цієї води в присутності метилоранжу витрачено 4,2 мл 0,1 н розчину натрій гідроксиду. Розрахуйте за цими даними показники якості води.

18. На титрування 100 мл природної води з індикатором фенолфталеїном до появи рожевого забарвлення витрачено 4 мл 0,1 н розчину NaOH. Скільки вільної карбонатної кислоти (мг/л) міститься в досліджуваній воді?

19. Наважку натрій карбонату вагою 0,5300 г розчинили в мірній колбі на 500 мл. На титрування 25 мл цього розчину було витрачено 24,5 мл розчину хлоридної кислоти в присутності метилоранжу. Розрахуйте нормальні концентрації натрій карбонату і хлоридної кислоти у вихідних розчинах.

20. Розчин оцтової (етанової) кислоти (25 см<sup>3</sup>) нейтралізували 20 см<sup>3</sup> 0,15 М розчину NaOH. Розрахуйте молярну концентрацію і масу оцтової кислоти у вихідному розчині.

21. При визначенні карбонатів і гідрогенкарбонатів на титрування 100 мл досліджуваної води з індикатором фенолфталеїном витрачено 2,8 мл 0,1 н розчину HCl, а з індикатором метилоранжем – 3,2 мл 0,1 н розчину HCl. Скільки міліграмів карбонат і гідрогенкарбонат-іонів міститься в 1 л досліджуваної води?

22. Твердість води, що містить тільки кальцій гідрогенкарбонат, дорівнює 5 ммоль/л. Який об'єм 0,1 н розчину HCl потрібен для реакції з кальцій гідрогенкарбонатом, який міститься в 50 см<sup>3</sup> цієї води?



23. На титрування 100 мл досліджуваної природної води з індикатором фенолфталеїном до появи рожевого забарвлення витрачено 2,6 мл 0,1 н розчину NaOH, а при титруванні 100 мл цієї ж води з індикатором метилоранжем до переходу жовтого забарвлення в жовтогаряче витрачено 2,6 мл 0,1 н розчину HCl. Які показники якості води можна розрахувати за результатами титрування?

24. Визначить, масову частку сульфатної кислоти у зразку, якщо його наважка 1,5678 г була розчинена в мірній колбі на 200 мл. На нейтралізацію 20 мл цього розчину було витрачено 17,6 мл 0,1 н розчину NaOH.

25. Розрахуйте концентрацію гідрогенкарбонат-іонів у воді, якщо рН води 10, концентрація карбонат-іонів дорівнює 4 ммоль/л, а константа дисоціації карбонатної кислоти за другим ступенем  $K_{\text{ДII}} = 5,6 \cdot 10^{-11}$ .

26. На титрування 100 мл досліджуваної природної води з індикатором фенолфталеїном до знебарвлення витрачено 2,6 мл 0,1 н розчину HCl, потім до відтитрованої проби води додали індикатор метилоранж, продовжили титрувати й витратили 3,6 мл 0,1 н розчину HCl до переходу жовтого забарвлення в жовтогаряче. Які показники якості води можна розрахувати за результатами титрування?

27. Розрахуйте масову частку  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  у технічній соді, якщо наважка технічної соди дорівнює 0,2005 г, а на її титрування витрачено 20 см<sup>3</sup> 0,1 н розчину хлоридної кислоти.

28. Наважку технічної нітратної кислоти масою 1,0100 г перевели в розчин, який містить 25 см<sup>3</sup> 0,5 М розчину NaOH. Надлишок NaOH відтитрували 10,5 см<sup>3</sup> 0,1 М розчину HCl. Розрахуйте масову частку нітратної кислоти у наважці.

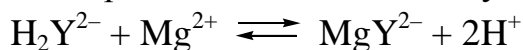
29. До розчину, що містить 0,7500 г  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , додали 25,00 мл розчину КОН, а потім надлишок останнього відтитрували 4,02 мл 0,125 н розчину HCl. Розрахуйте нормальну концентрацію КОН в розчині.

30. На титрування 0,05 л зразка води витрачено  $4,8 \cdot 10^{-3}$  л 0,1 н HCl. Чому дорівнює карбонатна твердість води?

#### **4 Метод комплексоутворення**

**Приклад 1.** Розрахуйте масову частку магнію в алюмінієвому сплаві, якщо після розчинення 0,5000 г сплаву і видалення заважаючих елементів, об'єм розчину довели до 100 см<sup>3</sup> і на титрування 20 см<sup>3</sup> цього розчину витратили 12,06 см<sup>3</sup> 0,01 М розчину трилону Б.

**Розв'язання.** Трилон Б ( $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}\cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{H}_2\text{Y}^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$ ) титрує йони  $\text{Mg}^{2+}$  з утворенням безбарвної комплексної сполуки:



У точці еквівалентності:

$$n_{\text{екв}}(\text{Mg}^{2+}) = n_{\text{екв}}(\text{H}_2\text{Y}^{2-});$$

$$c(1/2\text{Mg}^{2+}) \cdot V_{\text{аліквоти}}(\text{Mg}^{2+}) = c(1/2 \text{H}_2\text{Y}^{2-}) \cdot V_{\text{р-ну}}(\text{H}_2\text{Y}^{2-}).$$

$$c(1/2\text{H}_2\text{Y}^{2-}) = c(\text{H}_2\text{Y}^{2-})/f_{\text{екв}}(\text{H}_2\text{Y}^{2-}) = 0,01/0,5 = 0,02 \text{ моль/л.}$$

$$c(1/2\text{Mg}^{2+}) = \frac{c(1/2\text{H}_2\text{Y}^{2-}) \cdot V_{\text{р-ну}}(\text{H}_2\text{Y}^{2-})}{V_{\text{аліквоти}}(\text{Mg}^{2+})} = \frac{0,02 \cdot 12,06}{20,00} = 0,012 \text{ моль/л}$$

Розрахуємо масу магнію в  $100 \text{ см}^3$  вихідного розчину:

$$c(1/2\text{Mg}^{2+}) = \frac{m(\text{Mg}^{2+})}{M(\text{Mg}^{2+}) \cdot f_{\text{екв}}(\text{Mg}^{2+}) \cdot V_{\text{р-ну}}(\text{Mg}^{2+})},$$

$$m(\text{Mg}^{2+}) = c(1/2\text{Mg}^{2+}) \cdot M(\text{Mg}^{2+}) \cdot f_{\text{екв}}(\text{Mg}^{2+}) \cdot V_{\text{р-ну}}(\text{Mg}^{2+}) = 0,012 \cdot 24,3 \cdot 1/2 \cdot 0,1 = 0,0146 \text{ г.}$$

$$M(\text{Mg}^{2+}) = 24,3 \text{ г/моль.}$$

Розрахуємо масову частку магнію в сплаві:

$$\omega(\text{Mg}^{2+}) = \frac{m(\text{Mg}^{2+})}{m(\text{сплава})} = \frac{0,0146}{0,5000} \cdot 100\% = 2,92\% .$$

**Приклад 2.** Для усунення твердості води до 100 л води додали 12 г гашеного вапна і 9,5 г кальцинованої соди. Розрахуйте, твердість води, що була усунена.

**Розв'язання.** Твердість води ( $T$ ) зумовлена наявністю у воді солей кальцію і магнію. Вона визначає кількість ммоль-екв солей кальцію і магнію, що міститься в 1 л води:

$$T = \left[ \frac{n_{\text{екв}}(\text{Ca}^{2+})}{V(\text{H}_2\text{O})} + \frac{n_{\text{екв}}(\text{Mg}^{2+})}{V(\text{H}_2\text{O})} \right] \cdot 1000, \text{ ммоль/л,}$$

$$\text{або } T = \frac{m(\text{X})}{M(\text{X}) \cdot f_{\text{екв}}(\text{X}) \cdot V(\text{H}_2\text{O})} \cdot 1000, \text{ ммоль/л,}$$

де  $n_{\text{екв}}(\text{Ca}^{2+})$ ,  $n_{\text{екв}}(\text{Mg}^{2+})$  – кількість речовини еквівалента йонів кальцію або магнію (або їх солей), моль;

$m(\text{X})$  – маса йонів кальцію або магнію (або їх солей), г;

$M(\text{X})$  – молярна маса йонів кальцію або магнію (або їх солей), г/моль;

$f_{\text{екв}}(\text{X})$  – фактор еквівалентності йонів кальцію або магнію (або їх солей);

$V(\text{H}_2\text{O})$  – об'єм води, л.

Розрізняють карбонатну (тимчасову) і некарбонатну (постійну) твердість води.

**Карбонатна твердість** води зумовлена наявністю кальцій і магній гідрогенкарбонатів –  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  і  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ .

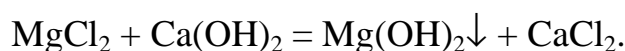
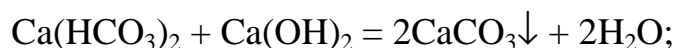
**Некарбонатна твердість** води зумовлена солями кальцію і магнію всіх інших кислот, окрім карбонатної (наприклад, хлоридами, сульфатами, нітратами тощо).

Згідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10 величина загальної твердості води нормується двічі:

– як **фізико-хімічний показник**: загальна твердість повинна бути  $\leq 7$  ммоль/л;

– як **показник фізіологічної повноцінності води**: загальна твердість води має бути в межах 1,5–7 ммоль/л.

Для усунення карбонатної твердості води застосовують **гашене вапно**  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Цей реагент також переводить постійну магнієву твердість у постійну кальцієву твердість:

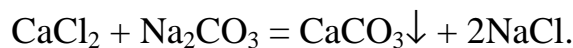


Кількість еквівалентів гідрогенкарбонатів дорівнює кількості еквівалентів реагенту  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , тому карбонатну (кальцієва і магнієва) твердість води можна розрахувати:

$$T_{\text{к}} = \frac{m(\text{Ca}(\text{OH})_2)}{M(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot f_{\text{екв}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot V(\text{H}_2\text{O})} \cdot 1000 = \frac{12 \cdot 1000}{74 \cdot 1/2 \cdot 100} = 3,2 \text{ ммоль/л.}$$

$$M(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 74 \text{ г/моль}, f_{\text{екв}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = 1/2.$$

Для усунення некарбонатної (постійної) твердості застосовують **кальціновану соду** ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ):



Кількість еквівалентів солей кальцію і магнію (не гідрогенкарбонатів) дорівнює кількості еквівалентів реагенту  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , тому некарбонатну твердість води можна розрахувати

$$T_{\text{нк}} = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3)}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot f_{\text{екв}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot V(\text{H}_2\text{O})} \cdot 1000 = \frac{9,5 \cdot 1000}{106 \cdot 1/2 \cdot 100} = 1,8 \text{ ммоль/л.}$$

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль}, f_{\text{екв}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1/2.$$

Отже загальна твердість води дорівнює

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{к}} + T_{\text{нк}} = 3,2 + 1,8 = 5,0 \text{ ммоль/л.}$$

Таким чином, вапняно-содовим методом було усунено 5 одиниць твердості води.

**Приклад 3.** На титрування 50 мл проби води в присутності ЕХЧ було витрачено 6 мл 0,05 н розчину трилону Б, а на титрування 50 мл води в присутності мурексиду – 4,5 мл трилону Б. Які показники якості води можна визначити за цими даними? Чи придатна вода для питних цілей?

**Розв'язання.** За цими даними можна визначити:

**1. Загальну твердість води ( $T_{\text{заг}}$ ),** яка визначається титруванням проби води трилоном Б в присутності ЕХЧ за рН=9,2 і розраховується як

$$T_{\text{заг}} = \frac{c(1/2\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \cdot 1000}{V(\text{H}_2\text{O})} = \frac{6 \cdot 0,05 \cdot 1000}{50} = 6 \text{ ммоль/л.}$$

де  $c(1/2\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  – молярна концентрація еквівалента трилону Б у розчині, моль/л;

$V(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O})$  – об'єм розчину трилону Б, який витрачено на титрування, мл;

$V(\text{H}_2\text{O})$  – об'єм проби води, взятої для титрування, мл.

**2. Кальцієву твердість ( $T(1/2\text{Ca}^{2+})$ ),** яка визначається титруванням проби води трилоном Б в присутності мурексиду за рН=12, і розраховується

$$T(1/2\text{Ca}^{2+}) = \frac{c(1/2\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \cdot 1000}{V(\text{H}_2\text{O})},$$

$$T(1/2\text{Ca}^{2+}) = \frac{4,5 \cdot 0,05 \cdot 1000}{50} = 4,5 \text{ ммоль/л.}$$

**3. Магнієву твердість ( $T(1/2\text{Mg}^{2+})$ ),** яка розраховується

$$T(1/2\text{Mg}^{2+}) = T_{\text{заг}} - T(1/2\text{Ca}^{2+}) = 6 - 4,5 = 1,5 \text{ ммоль/л.}$$

**4. Вміст іонів кальцію  $Y(\text{Ca}^{2+})$  в мг/л,** розраховують за формулою

$$Y(\text{Ca}^{2+}) = T(1/2\text{Ca}^{2+}) \cdot M(\text{Ca}^{2+}) \cdot f_{\text{екв}}(\text{Ca}^{2+}) = 4,5 \cdot 40,08 \cdot 1/2 = 90,2 \text{ мг/л,}$$

де  $M(\text{Ca}^{2+})$  – молярна маса іонів кальцію, що дорівнює 40,08, г/моль;

$f_{\text{екв}}(\text{Ca}^{2+})$  – фактор еквівалентності іонів кальцію,  $f_{\text{екв}}(\text{Ca}^{2+}) = 1/2$ .

**5. Вміст іонів магнію  $Y(\text{Mg}^{2+})$  в мг/л,** розраховують за формулою

$$Y(\text{Mg}^{2+}) = T(1/2\text{Mg}^{2+}) \cdot M(\text{Mg}^{2+}) \cdot f_{\text{екв}}(\text{Ca}^{2+}) = 1,5 \cdot 24,3 \cdot 1/2 = 18,2 \text{ мг/л,}$$

де  $M(\text{Mg}^{2+})$  – молярна маса іонів магнію, що дорівнює 24,3, г/моль;

$f_{\text{екв}}(\text{Mg}^{2+})$  – фактор еквівалентності іонів кальцію,  $f_{\text{екв}}(\text{Mg}^{2+}) = 1/2$ .

Згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 (показники фізіологічної повноцінності питної води): загальна твердість води має бути в межах 1,5–7 ммоль/л, вміст іонів кальцію для питної води повинен бути в межах 25–75 мг/л, а вміст іонів магнію – в межах 10–50 мг/л. Отже, для даної води вміст іонів кальцію перевищує допустимий показники фізіологічної повноцінності питної води.



## Контрольні задачі

1. Розрахуйте масу алюмінію, якщо до розчину, що містить йони  $\text{Al}^{3+}$ , додали  $25 \text{ см}^3$   $0,04 \text{ М}$  розчину трилону Б, надлишок якого відтитрували  $5 \text{ см}^3$   $0,035 \text{ М}$  розчином сульфату цинку.

2. Концентрація робочого розчину трилону Б була встановлена за розчином, що містить у  $1 \text{ л}$   $24,00 \text{ г}$   $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . На титрування  $10,00 \text{ мл}$  цього розчину було витрачено  $10,30 \text{ мл}$  розчину трилону Б. Розрахуйте нормальну концентрацію трилону Б.

3. Розрахуйте загальну твердість води (ммоль-екв/л), якщо на титрування  $100 \text{ мл}$  води при  $\text{pH} = 9,2$  в присутності ЕХЧ до синього забарвлення було витрачено  $9,20 \text{ мл}$   $0,1012 \text{ н}$  розчину трилону Б.

4. Розрахуйте концентрацію цирконію в розчині, якщо після відповідної обробки, що усуває заважаючий вплив інших металів, на титрування  $20,00 \text{ мл}$  цього розчину з ЕХЧ до синього забарвлення було витрачено  $10,15 \text{ мл}$   $0,1000 \text{ н}$  розчину трилону Б.

5. Розрахуйте концентрацію йонів кальцію і магнію (ммоль-екв/л і мг/л) в розчині за наступними даними: а) для визначення сумарної кількості йонів кальцію та магнію  $20,00 \text{ мл}$  аналізованого розчину відтитрували  $2,00 \text{ мл}$   $0,1120 \text{ н}$  розчином трилону Б в присутності ЕХЧ; б) для визначення вмісту йонів кальцію до  $20,00 \text{ мл}$  розчину додали  $2,20 \text{ мл}$   $0,1120 \text{ н}$  розчину трилону Б, надлишок якого відтитрували з мурексидом (до лілового забарвлення)  $1,20 \text{ мл}$   $0,1021 \text{ н}$  розчином  $\text{CaCl}_2$ .

6. Розрахуйте вміст молібдат-іонів  $\text{MoO}_4^{2-}$  у воді, якщо молібдат-іони спочатку осадили у вигляді  $\text{CaMoO}_4$ . Осад відокремили, промили і перевели в розчин. Йони кальцію відтитрували  $11,17 \text{ мл}$   $0,05 \text{ М}$  розчином трилону Б.

7. У мірній колбі об'ємом  $100,0 \text{ мл}$  розчинили технічний зразок  $\text{NiSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  вагою  $0,5370 \text{ г}$ . До  $15,00 \text{ мл}$  цього розчину додали  $25,00 \text{ мл}$   $0,0108 \text{ М}$  розчину трилону Б. На титрування надлишку трилону Б витратили  $11,87 \text{ мл}$   $0,0113 \text{ М}$  розчину  $\text{ZnSO}_4$ . Розрахуйте процентний вміст нікелю в технічному зразку.

8. В  $1 \text{ л}$  води міститься  $36,47 \text{ мг}$  йонів магнію й  $50,1 \text{ мг}$  йонів кальцію. Чому дорівнює твердість цієї води?

9. У мірній колбі об'ємом  $200 \text{ мл}$  розчинили  $1,1256 \text{ г}$  технічного зразка  $\text{MgSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . До  $20,00 \text{ мл}$  цього розчину додали  $25,00 \text{ мл}$   $0,0124 \text{ М}$  розчину трилону Б. На титрування надлишку трилону Б витратили  $9,05 \text{ мл}$   $0,0102 \text{ М}$  розчину  $\text{ZnSO}_4$ . Розрахуйте процентний вміст магнію в зразку.

10. На титрування 20,00 мл розчину, який отримали розчиненням 1,5250 г безводного (х.ч.) магній сульфату в мірній колбі на 500 мл, витрачається 19,55 мл розчину трилону Б. Визначить нормальну концентрацію трилону Б в розчині.

11. Для трилонометричного визначення кальцію і магнію в мінералі, 2,0850 г його, після виконання необхідних операцій з видалення домішок, що заважають визначенню, розчинили і розбавили водою до мітки в мірній колбі на 250 мл. З цього розчину в конічні колби взяли дві аліквотні частини: 25,00 мл і 100,00 мл. На титрування першої з використанням аміачної буферної суміші й індикатора ЕХЧ було витрачено 11,20 мл 0,05240 н робочого розчину трилону Б, а на титрування другої з індикатором мурексидом при  $\text{pH} = 12$  витратили 21,65 мл трилону Б. Розрахуйте процентний вміст кальцію і магнію в мінералі?

12. Який об'єм стічної води, що містить близько 0,4 г/л йонів кальцію, потрібно взяти для аналізу, щоб на титрування цієї аліквоти витрачалось близько 10 мл 0,1 М розчину трилону Б?

13. При визначенні загальної твердості води на титрування 50,00 мл її (після створення необхідних умов) витрачається 24,18 мл 0,005 М розчину трилону Б, на титрування 25,00 мл тієї ж води (в присутності мурексиду) витрачається 9,6 мл того ж розчину трилону Б. Визначити кальцієву і магнієву твердість води (в ммоль-екв/л і мг/л).

14. Яку наважку цинкової руди, що містить близько 15 % цинку, потрібно взяти для аналізу, щоб після розчинення і видалення заважаючих домішок, цинк відтитрувався 20 мл 0,1 М розчину трилону Б?

15. В  $1 \text{ м}^3$  води міститься 120 г магній сульфату і 162 г кальцій гідрогенкарбонату. Розрахуйте всі види твердості цієї води?

16. Після відповідної обробки 3,0340 г скла перевели в розчин, відокремили і замаскували заважаючі йони; об'єм розчину довели водою до 100,0 мл. Потім 20,00 мл отриманого розчину відтитрували 7,06 мл 0,0050 М розчину трилону Б у присутності сульфосаліцилової кислоти, як індикатора, при  $\text{pH} = 2$ . Визначить процентний вміст алюмінію у склі.

17. Скільки грамів  $\text{Mn}^{2+}$  містить 1 л стічної води, якщо після відповідної обробки 50 мл проби і маскування заважаючих визначенню марганцю елементів, на титрування витратили 15,42 мл 0,0050 М розчину трилону Б.

18. Яку наважку силікату, що містить близько 20 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , потрібно взяти для аналізу, щоб після відповідної обробки проби води алюміній був відділений і відтитрований 10 мл 0,1 М розчину трилону Б.

19. Наважку солі магнію 0,2000 г розчинили в мірній колбі ємкістю 100 мл. На титрування 20,00 мл цього розчину витратили 20,25 мл 0,0250 М розчину трилону Б. Обчисліть відсотковий вміст магнію в солі.

20. Обчисліть процентний вміст  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{MgCO}_3$  у вапняку, якщо після розчинення 1,000 г вапняку та відповідної його обробки, об'єм розчину довели водою до 100,0 мл, відібрали дві аліквотні частини по 20,00 мл, на титрування для визначення суми йонів кальцію та магнію витратили 19,25 мл 0,0514 М розчину трилону Б, а на титрування для визначення йонів кальцію витратили 6,26 мл того ж розчину трилону Б.

21. Який об'єм стічної води, що містить близько 1,83 г/л  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ , потрібно взяти для аналізу, щоб на її титрування витрачалось близько 10 мл 0,1 М розчину трилону Б?

22. Скільки грамів металевого цинку треба розчинити в 100,00 мл сульфатної кислоти, щоб на титрування 20,00 мл цього розчину витрачалось 20,00 мл 0,2000 М розчину трилону Б?

23. На титрування 20,00 мл стічної води, що містить  $\text{NiCl}_2$ , витрачено 21,22 мл 0,0207 М розчину трилону Б. Визначити вміст солі нікелю у  $10 \text{ м}^3$  стічної води.

24. Визначити вміст плюмбум (II) ацетату в стічній воді, якщо на титрування 50,00 мл проби води, після відповідної підготовки, витрачено 5,84 мл 0,050 М розчину трилону Б.

25. Для усунення твердості води за вапняно-содовим методом до 50 л води додали 8 г гашеного вапна (кальцій гідроксиду) та 5,8 г кальцінованої соди (натрій карбонату). Розрахуйте усі види твердості води.

26. На титрування 50 мл води в присутності еріохрому чорного витрачено 12 мл 0,025 М розчину трилону Б, а на титрування 100 мл води в присутності метилоранжу – 7 мл 0,1 М розчину  $\text{HCl}$ . Розрахуйте всі форми твердості води. Чи придатна вода для питних цілей?

27. Для усунення твердості води за вапняно-содовим методом до  $1 \text{ м}^3$  води додали 100 г гашеного вапна (кальцій гідроксиду) та 106 г кальцінованої соди (натрій карбонату). Розрахуйте всі види твердості води. Запишіть рівняння реакцій.

28. На титрування 100 мл води в присутності еріохрому чорного витрачено 12 мл 0,025 М розчину трилону Б, а на титрування 100 мл води у присутності мурексиду 8 мл 0,025 М розчину трилону Б. Розрахуйте загальну твердість води, вміст йонів кальцію та магнію в ммоль-екв/л та мг/л.



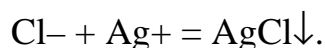
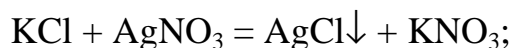
29. При термічній обробці 5 л води утворився осад кальцій карбонату масою 2г. Визначить тимчасову твердість води і розрахуйте масу вапна (кальцій гідроксиду), яка потрібна для її усунення. Напишіть рівняння реакцій, що відповідають процесам термічного і вапняного методів пом'якшення води.

30. Розрахуйте масу кальцій хлориду в розчині, якщо на титрування цього розчину витрачено 20 мл 0,05 М розчину трилону Б. Як експериментально визначають вміст йонів кальцію і магнію у воді?

### **5 Метод осадження. Добуток розчинності. Випадіння осадів**

**Приклад 1.** Чи утвориться осад аргентум хлориду при змішуванні рівних об'ємів 0,01 М розчину KCl і 0,001 М розчину AgNO<sub>3</sub>?

**Розв'язання.**



Для того, щоб визначити, чи буде утворюватися осад AgCl, необхідно:

- 1) розрахувати молярні концентрації речовин в розчині після змішування розчинів;
- 2) визначити молярні концентрації йонів, що утворюють осад;
- 3) знайти добуток молярних концентрацій йонів (*ДК*), що утворюють осад;
- 4) порівняти добуток молярних концентрацій йонів *ДК* з добутком розчинності *ДР*<sub>AgCl</sub>.

Розрахуємо молярні концентрації KCl і AgNO<sub>3</sub> у розчині, що утворився після змішування. Оскільки при змішуванні рівних об'ємів розчинів загальний об'єм розчину зростає вдвічі, то молярні концентрації розчинів зменшуються вдвічі:

$$c(\text{KCl}) = \frac{0,01}{2} = 0,005 \text{ моль/л}; \quad c(\text{AgNO}_3) = \frac{0,001}{2} = 0,0005 \text{ моль/л}.$$

Визначимо концентрації йонів Ag<sup>+</sup> і Cl<sup>-</sup>:



$$[\text{Cl}^-] = c(\text{KCl}) = 0,005 \text{ моль/л}; \quad [\text{Ag}^+] = c(\text{AgNO}_3) = 0,0005 \text{ моль/л}.$$

Розрахуємо *ДК* йонів, що утворюють осад AgCl:

$$\text{ДК}_{\text{AgCl}} = [\text{Ag}^+] \cdot [\text{Cl}^-] = 0,005 \cdot 0,0005 = 2,5 \cdot 10^{-6}.$$

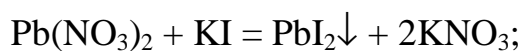
Порівняємо *ДК*<sub>AgCl</sub> з *ДР*<sub>AgCl</sub>, який згідно з даними **таблиці 1.1 Додатку 1** дорівнює 1,78·10<sup>-10</sup>:

$$2,5 \cdot 10^{-6} > 1,78 \cdot 10^{-10}, \text{ тобто } \text{ДК}_{\text{AgCl}} > \text{ДР}_{\text{AgCl}}.$$

Отже, розчин пересичений, тому осад  $\text{AgCl}$  випаде.

**Приклад 2.** Чи випаде осад  $\text{PbI}_2$  за  $25^\circ\text{C}$  при змішуванні  $100\text{ см}^3$   $0,0015\text{ М}$  розчину  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  і  $200\text{ см}^3$   $0,0012\text{ М}$  розчину  $\text{KI}$ ?

**Розв'язання.**

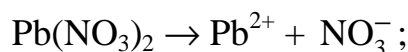


Розрахуємо молярні концентрації кожної солі після змішування:

$$c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = \frac{0,0015 \cdot 100}{300} = 0,0005 \text{ моль/л,}$$

$$c(\text{KI}) = \frac{0,0012 \cdot 200}{300} = 0,0008 \text{ моль/л.}$$

Визначимо концентрації йонів:



$$[\text{Pb}^{2+}] = c(\text{Pb}(\text{NO}_3)_2) = 0,0005 \text{ моль/л; } [\Gamma] = c(\text{KI}) = 0,0008 \text{ моль/л.}$$

Розрахуємо  $\text{ДК}$  йонів, що утворюють осад  $\text{PbI}_2$ :

$$\text{ДК}_{\text{PbI}_2} = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\Gamma]^2 = 5 \cdot 10^{-4} \cdot (8 \cdot 10^{-4})^2 = 3,2 \cdot 10^{-10}.$$

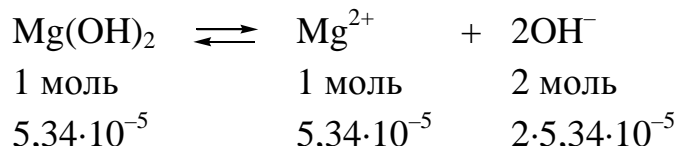
Порівняємо  $\text{ДК}_{\text{PbI}_2}$  з  $\text{ДР}_{\text{PbI}_2}$ , який згідно з даними **табл. 1.1 Додатку 1** дорівнює  $1,1 \cdot 10^{-9}$ . Очевидно, що  $\text{ДК}_{\text{PbI}_2} < \text{ДР}_{\text{PbI}_2}$ , розчин ненасичений і осад не буде випадати.

**Приклад 3.** Розчинність магній гідроксиду за  $25^\circ\text{C}$  дорівнює  $3,1\text{ мг/дм}^3$ . Обчисліть добуток розчинності  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

**Розв'язання.** Розрахуємо молярну концентрацію  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  у насиченому розчині:

$$c(\text{Mg}(\text{OH})_2) = \frac{m(\text{Mg}(\text{OH})_2)}{M(\text{Mg}(\text{OH})_2) \cdot V_{\text{р-ну}}} = \frac{3,1 \cdot 10^{-3}}{58 \cdot 1} = 5,34 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

Розрахуємо добуток розчинності  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ :



$$\text{ДР}_{\text{Mg}(\text{OH})_2} = [\text{Mg}^{2+}] \cdot [\text{OH}^-]^2 = 5,34 \cdot 10^{-5} \cdot (1,068 \cdot 10^{-4})^2 = 6,09 \cdot 10^{-13}.$$

**Приклад 4.** За якої молярної концентрації  $\text{Al}^{3+}$  буде утворюватися осад алюміній гідроксиду з розчину, рН якого дорівнює 6?  $\text{ДР}_{\text{Al}(\text{OH})_3} = 3,2 \cdot 10^{-34}$ .

**Розв'язання.** Розрахуємо молярну концентрацію гідроксид-іонів у розчині. Оскільки  $\text{pH} = 6$ , то  $[\text{H}^+] = 10^{-6}$  моль/л, тоді  $[\text{OH}^-] = 10^{-14}/10^{-6} = 10^{-8}$  моль/л.

Розрахуємо молярну концентрацію  $\text{Al}^{3+}$  в розчині:

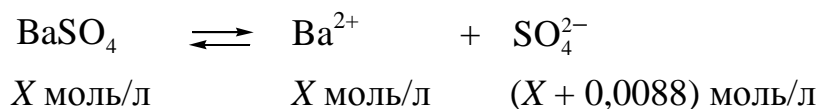
$$\begin{aligned} \text{Al}(\text{OH})_3 &\rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3\text{OH}^-; \\ DР_{\text{Al}(\text{OH})_3} &= [\text{Al}^{3+}] \cdot [\text{OH}^-]^3, \\ [\text{Al}^{3+}] &= \frac{DР_{\text{Al}(\text{OH})_3}}{[\text{OH}^-]^3} = \frac{3,2 \cdot 10^{-34}}{(10^{-8})^3} = 3,2 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Таким чином, при  $\text{pH} = 6$  утворення осаду  $\text{Al}(\text{OH})_3$  починається за молярної концентрації алюміній-іонів більше, ніж  $3,2 \cdot 10^{-10}$  моль/л.

**Приклад 5.** При  $+25^\circ\text{C}$   $DР_{\text{BaSO}_4} = 1,08 \cdot 10^{-10}$ . Визначить за цієї температури концентрацію йонів  $\text{Ba}^{2+}$  у насиченому розчині  $\text{BaSO}_4$ , який містить  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  у кількості 0,01 моль/л. Ступінь дисоціації  $\text{Na}_2\text{SO}_4$   $\alpha = 0,88$ .

**Розв'язання.** Добуток розчинності – константа за даної температури, тому збільшення концентрації йонів  $\text{SO}_4^{2-}$  у насиченому розчині  $\text{BaSO}_4$  за рахунок дисоціації  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  має привести до зменшення концентрації йонів  $\text{Ba}^{2+}$ .

За рахунок сульфату натрію в насичений розчин  $\text{BaSO}_4$  потрапляють йони  $\text{SO}_4^{2-}$  у кількості  $c(\text{Na}_2\text{SO}_4) \cdot \alpha_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 0,01 \cdot 0,88 = 0,0088$  моль/л, рівновага дисоціації  $\text{BaSO}_4 \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$  зміщується в бік кристалізації  $\text{BaSO}_4$  і концентрації йонів  $\text{Ba}^{2+}$  і  $\text{SO}_4^{2-}$  стають іншими:



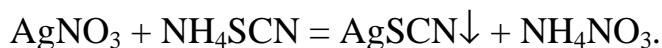
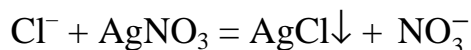
$$\begin{aligned} DР_{\text{BaSO}_4} &= [\text{Ba}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = X \cdot (X + 0,0088) = 1,08 \cdot 10^{-10}, \\ X^2 + 0,0088X &= 1,08 \cdot 10^{-10}. \end{aligned}$$

Значення  $X$  дуже мале ( $X \ll 0,0088$ ), тому ним можна знехтувати.

Тоді  $0,0088X = 1,08 \cdot 10^{-10}$ ;  $X = 0,12 \cdot 10^{-7}$  моль/л. Концентрація йонів  $\text{Ba}^{2+}$  становить  $0,12 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

**Приклад 6.** До розчину речовини, що містить йони хлору, додали 30 мл 0,1092 н розчину  $\text{AgNO}_3$ , надлишок якого відтитрували 0,6 мл 0,1105 н розчину  $\text{NH}_4\text{SCN}$ . Наважка речовини дорівнює 0,2154 г. Розрахуйте масову частку хлорид-іонів у наважці.

**Розв'язання.** В розчині відбуваються дві хімічні реакції:



$$n_{\text{екв}}(\text{AgNO}_3) = n_{\text{екв}}(\text{Cl}^-) + n_{\text{екв}}(\text{NH}_4\text{SCN}),$$

$$c_{\text{н}}(\text{AgNO}_3) \cdot V_{\text{р-ну}}(\text{AgNO}_3) = m(\text{Cl}^-) / (M(\text{Cl}^-) \cdot f_{\text{екв}}(\text{Cl}^-)) + c_{\text{н}}(\text{NH}_4\text{SCN}) \cdot V_{\text{р-ну}}(\text{NH}_4\text{SCN}),$$

$$m(\text{Cl}^-) = (c_{\text{н}}(\text{AgNO}_3) \cdot V_{\text{р-ну}}(\text{AgNO}_3) - c_{\text{н}}(\text{NH}_4\text{SCN}) \cdot V_{\text{р-ну}}(\text{NH}_4\text{SCN})) \cdot M(\text{Cl}^-) \cdot f_{\text{екв}}(\text{Cl}^-) = \\ = (30 \cdot 0,1092 - 0,6 \cdot 0,1105) \cdot 35,45 \cdot 1 = 113,78 \text{ мг} = 0,1138 \text{ г}.$$

$$\omega(\text{Cl}^-) = \frac{m(\text{Cl}^-)}{m(\text{наважки})} = \frac{0,1138}{0,2154} \cdot 100\% = 52,83\%.$$

### **Контрольні задачі**

*Значення ДР для електролітів наведені в таблиці 1.1 додатку 1.*

1. На титрування 20,00 мл 0,05 н розчину NaCl витрачено 19,64 мл розчину AgNO<sub>3</sub>. Визначить нормальну концентрацію розчину AgNO<sub>3</sub>.

2. У деяких випадках воду знезаражують йонами срібла. Концентрація йонів хлору в оброблюваній воді становить 0,0015 моль/л. Чи утворюється осад AgCl, якщо до 10 м<sup>3</sup> води додати 20 г AgNO<sub>3</sub>?

3. 1,4960 г KCl (х.ч.) розчинили в мірній колбі на 200 мл. Скільки мілілітрів 0,1000 н розчину AgNO<sub>3</sub> витратиться на титрування 20,00 мл розчину KCl?

4. В 1 л водного розчину міститься по 20 мг йонів срібла і свинцю. Яка сіль випаде в осад раніше, якщо до цього розчину додавати краплями розчин калій хромату?

5. Скільки міліграмів NaCl містить 1 л розчину, якщо на титрування 20,00 мл цього розчину було витрачено 18,62 мл 0,1000 н розчину AgNO<sub>3</sub>.

6. Скільки грамів чистого срібла потрібно розчинити в нітратній кислоті та розбавити в мірній колбі об'ємом 100,0 мл, щоб на титрування 20,00 мл одержаного розчину витрачалось стільки ж 0,0500 н розчину NH<sub>4</sub>SCN?

7. Розрахуйте наважку карналіту KCl·MgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O для аналізу на вміст хлорид-іонів, щоб після розчинення її й осадження 20,00 мл 0,1020 н розчину AgNO<sub>3</sub> на титрування надлишку аргентум нітрату було витрачено 25,00 мл розчину 0,0486 н розчину NH<sub>4</sub>SCN.

8. 3,00 г NaCl розчинили в мірній колбі на 500 мл. Яким об'ємом 0,1000 н розчину AgNO<sub>3</sub> потрібно обробити 20,00 мл одержаного розчину, щоб на титрування надлишку срібла витрачалось 25,00 мл 0,0500 н розчину амоній тіоціанату?

9. Якою повинна бути наважка калій броміду, щоб після її розчинення на титрування розчину було витрачено не більше 25 мл 0,05 М розчину аргентум нітрату.

10. При яких значеннях рН і який з осадів –  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  чи  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  буде випадати першим при поступовому доданні розчину  $\text{NaOH}$  до суміші, яка вміщує 0,1 моль/дм<sup>3</sup>  $\text{MnCl}_2$  і 0,001 моль/дм<sup>3</sup>  $\text{FeCl}_3$ ?

11. У 20 мл розчину міститься 20 мг  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  і 15 мг  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . До розчину додають невеликими порціями розчин  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ . Який осад буде осаджуватися першим? Відповідь підтвердить розрахунками.

12. Визначить розчинність кальцій фториду ( $\text{CaF}_2$ ) у воді і в 0,05М розчині  $\text{CaCl}_2$ . У скільки разів розчинність у другому випадку менша ніж у першому?

13. Скільки міліграмів  $\text{KCN}$  знаходиться в розчині, на титрування якого до точки еквівалентності потрібно 26,05 мл 0,1015 н розчину  $\text{AgNO}_3$ ?

14. Розрахуйте нормальну концентрацію розчинів  $\text{AgNO}_3$  і  $\text{NH}_4\text{SCN}$ , якщо при дії 30,00 мл розчину  $\text{AgNO}_3$  на 0,1173 г  $\text{NaCl}$  надлишок йонів срібла відтитрували 3,20 мл розчину  $\text{NH}_4\text{SCN}$ . Попередньо було визначено, що на титрування 20,00 мл розчину  $\text{AgNO}_3$  потрібно 21,00 мл розчину  $\text{NH}_4\text{SCN}$ .

15. Скільки грамів  $\text{NaCl}$  містить 1 л розсолу, якщо після розведення 10,00 мл його в мірній колбі на 500 мл на титрування 25,00 мл розчину знадобиться 24,42 мл 0,1 н розчину  $\text{AgNO}_3$ ?

16. У мірну колбу об'ємом 250 мл вмістили 25,00 мл розведеної  $\text{HCl}$  і довели дистильованою водою до позначки. На титрування 20,00 мл цього розчину витрачено 24,37 мл 0,9850 н розчину  $\text{AgNO}_3$ . Скільки грамів хлоридної кислоти міститься в 1 л досліджуваного розчину?

17. Скільки грамів  $\text{KCl}$  містить 250 мл розчину, якщо на титрування 25,00 мл його витрачено 17,00 мл 0,0525 н розчину  $\text{AgNO}_3$ ?

18. Визначити, чи буде утворюватися осад, якщо до 100 мл 0,001 М розчину  $\text{PbSO}_4$  додати 200 мл розчину  $\text{NaI}$  з концентрацією 0,15 г/л?

19. На титрування розчину, отриманого розчиненням 0,2082 г  $\text{NaBr}$ , витрачено 22,80 мл розчину  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ . На титрування 20,00 мл  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$  витрачено 19,82 мл розчину  $\text{NH}_4\text{SCN}$ . Визначити нормальну концентрацію  $\text{NH}_4\text{SCN}$  в розчині.

20. При якому значенні рН почне утворюватися осад  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  із 0,1 М розчину ферум (II) сульфату, якщо до нього приливати розчин  $\text{NaOH}$ ?

21. При аналізі срібного сплаву, що містить 85 % срібла, взяли наважку 0,5000 г. Якою повинна бути нормальна концентрація KSCN в розчині, щоб на титрування було витрачено 50,00 мл цього розчину?

22. Чи буде випадати осад манган (II) карбонату, якщо до 0,02 М розчину  $MnCl_2$  додати такий же об'єм 0,03 М розчину  $Na_2CO_3$ .

23. До 100 мл насиченого розчину аргентум хлориду додали 1,7 мг аргентум нітрату. Розрахуйте концентрацію хлорид-іонів у розчині.

24. До насиченого розчину кальцій сульфату додали рівний об'єм розчину  $2,5 \cdot 10^{-2}$  г/л амоній оксалату. Чи буде утворюватися осад кальцій оксалату?

25. Визначить і порівняйте розчинність кальцій карбонату (г/л) у чистій воді і в розчині соди ( $Na_2CO_3$ ) з концентрацією 0,1 моль/л при  $+25^\circ C$ ? У скільки разів розчинність  $CaCO_3$  у воді більша за розчинність в розчині соди?

26. У скільки разів зменшиться концентрація йонів срібла в насиченому розчині аргентум хлориду, якщо до нього додати стільки хлоридної кислоти, щоб концентрація кислоти в розчині виявилася рівною 0,03 моль/л?

27. Добуток розчинності аргентум фосфату дорівнює  $1,8 \cdot 10^{-18}$ , а аргентум хромату –  $4,05 \cdot 10^{-12}$  при  $25^\circ C$ . Яка з цих солей дасть меншу концентрацію йонів срібла в насиченому розчині при  $25^\circ C$ .

28. Яка має бути мінімальна концентрація KBr, щоб при додаванні до його розчину рівного об'єму 0,003 н розчину  $AgNO_3$  утворився осад? Ступінь дисоціації цих електролітів прийняти такими, що дорівнюють одиниці.

29. Чи випаде осад плюмбум (II) хлориду, якщо до 10 мл 0,01 М розчину плюмбум (II) нітрату долити 10 мл 0,01 М розчину натрій хлориду?

30. Визначить масову частку срібла в сплаві, якщо після розчинення його наважки вагою 0,5000 г в нітратній кислоті на титрування отриманого розчину було витрачено  $24,90 \text{ см}^3$  0,1600 М розчину  $NH_4SCN$ .

## **6 Фотометричний метод аналізу**

**Приклад 1.** Коефіцієнт молярного поглинання комплексу міді (II) з аміаком при  $\lambda = 590$  нм дорівнює 20000. Який мінімальний вміст міді (%) можна визначити в наважці масою 0,5 г, що міститься в  $50 \text{ см}^3$  розчину в кюветі товщиною 2 см, якщо мінімальне значення оптичної густини, яке можна виміряти на ФЕК, дорівнює 0,02?

**Розв'язання.** Використовуючи рівняння

$$D = \varepsilon \cdot c \cdot l$$

розрахуємо мінімальну молярну концентрацію міді за умов, що  $D_{\min} = 0,02$ ;  $\varepsilon = 20000$ ;  $l = 2$  см.

$$c(\text{Cu}^{2+})_{\min} = \frac{D}{\varepsilon \cdot l} = \frac{0,02}{20000 \cdot 2} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л.}$$

Розрахуємо масу міді 50 мл (0,05 л):

$$m(\text{Cu}^{2+}) = c(\text{Cu}^{2+})_{\min} \cdot M(\text{Cu}^{2+}) \cdot V_{\text{р-ну}} = 5 \cdot 10^{-7} \cdot 64 \cdot 0,05 = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ г.}$$

Розрахуємо мінімальний процентний вміст міді в наважці:

$$\omega(\text{Cu}) = \frac{m(\text{Cu})}{m(\text{наважки})} = \frac{1,6 \cdot 10^{-6}}{0,5} \cdot 100\% = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ \%}.$$

### Контрольні задачі

1. Обчисліть коефіцієнт молярного поглинання комплексу міді (II), якщо оптична густина розчину, що містить 0,4 мг міді (II) в  $250 \text{ см}^3$  розчину при товщині кювети 1 см, дорівнює 0,15.

2. Коефіцієнт молярного поглинання  $\text{KMnO}_4$  при довжині хвилі 546 нм дорівнює 2420. Оптична густина досліджуваного розчину в кюветі товщиною 2 см дорівнює 0,80. Визначить процентну концентрацію  $\text{KMnO}_4$  у розчині, якщо густина розчину  $1,1 \text{ г/см}^3$ .

3. Лікарський препарат вагою 0,1321 г, який містить атропін, розчинили в мірній колбі на 100 мл і довели водою до позначки. До 1 мл отриманого розчину додали 4 мл розчину альдегіду, нагріли. Після цього додали 10 мл води. Оптична густина отриманого розчину атропіну  $D = 0,54$ . Для стандартних розчинів атропіну були отримані наступні дані:

$c$ , мг/л	0,02	0,06	0,10	0,12	0,16	0,200
$D$	0,08	0,261	0,412	0,510	0,653	0,842

Розрахуйте масову частку атропіну в препараті.

4. При фотометричному визначенні свинцю у воді для стандартних розчинів свинцю (II) були отримані наступні дані:

Вміст свинцю, %	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\tau$ , %	100	87,5	77,5	68,5	59,0	52,5

Визначить вміст свинцю у воді (%), якщо пропускання досліджуваної води 62%, а густина цього розчину  $\rho = 1,03 \text{ г/см}^3$ .

5. Коефіцієнт молярного поглинання комплексу берилія з ацетилацетоном у хлороформі при 290 нм дорівнює 30000. Який мінімальний вміст берилія (%) можна визначити в наважці 1 г, розчиненій в  $50 \text{ см}^3$  розчину, в кюветі товщиною 5 см, якщо мінімальне значення оптичної густини, яке можна виміряти на ФЕК, дорівнює 0,02?

6. Коефіцієнт молярного поглинання комплексу  $\text{Fe}(\text{SCN})^{2+}$  при 580 нм дорівнює 6000. Розрахуйте оптичну густина  $3 \cdot 10^{-5}$  М розчину комплексу, виміряну при 580 нм у кюветі товщиною 2,0 см. Чому дорівнює пропускання цього розчину?

7. Молярний коефіцієнт світлопоглинання комплексу  $\text{MoO}(\text{SCN})_5^{2-}$  в ізоаміловому спирті при  $\lambda = 475$  нм дорівнює  $\epsilon = 1,50 \cdot 10^4$ . Розрахуйте мінімальну масову частку (%) молібдену в ґрунті, яку можна визначити даним методом, якщо наважку ґрунту масою 20,00 г розчиняють в 200,0 мл оксалатного буферного розчину, відбирають 150,0 мл фільтрату й після відповідної обробки екстрагують утворений  $\text{MoO}(\text{SCN})_5^{2-}$  15 мл ізоамілового спирту. Екстракт фотометрують в кюветі  $l = 3,0$  см. Мінімальна оптична густина дорівнює 0,020.

8. 0,1854 г препарату, що містить трифтазин, вмістили в мірну колбу на 100 мл і довели до позначки водою. 2 мл отриманого розчину вмістили в колбу на 100 мл і знову довели водою до позначки. До 3 мл цього розчину додали 3 мл води і виміряли оптичну густина ( $D = 0,62$ ). Розрахуйте масову частку трифтазину в препараті, якщо для стандартних розчинів трифтазину були отримані наступні дані:

$c$ , мг/л	2	4	6	8	10	14	18	20
$D$	0,094	0,190	0,290	0,384	0,482	0,661	0,861	0,963

9. Для побудови калібрувального графіка марганець в стандартному розчині окислили до перманганату й отримали 0,0125 М розчин  $\text{KMnO}_4$ . Відібрали 2,5; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 і 15 мл стандартного розчину  $\text{KMnO}_4$  і розбавили водою до 100 мл. Пропускання отриманих розчинів склали відповідно 86,4; 74,7; 64,5; 55,7; 47,0 і 42,5%. Наважку сталі 0,5 г розчинили та після окислення марганцю до перманганату калію розбавили водою до 50 мл. Пропускання отриманого забарвленого розчину склали 55,5%. Визначить вміст марганцю в сталі (%).

10. Для побудови калібрувального графіка при визначенні вмісту міді (II) в розчині були отримані наступні дані:

Вміст міді, мг/л	0,1	0,2	0,5	0,75	1,0
$\tau$ , %	67,5	57,0	34,5	28,5	15,0

Визначить вміст міді (II) в досліджуваному розчині, якщо пропускання його дорівнює 45,5%.

11. Молярний коефіцієнт поглинання комплексу заліза (III) з сульфосаліциловою кислотою при довжині хвилі  $\lambda = 416$  нм дорівнює 4500. Визначить, яку наважку  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  потрібно розчинити в 50 мл води, щоб з 5 мл цього розчину (після відповідної обробки й розведення до 25 мл) був



отриманий забарвлений розчин, оптична густина якого в кюветі товщиною 1 см дорівнює 1,2.

12. Для побудови калібрувального графіка при визначенні вмісту заліза (III) в руді у вигляді роданідного комплексу були отримані наступні дані:

Вміст $\text{Fe}^{3+}$ , мг/мл	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20
$D$	0,15	0,29	0,43	0,61	0,74	0,90

Наважку руди 0,253 г розчинили в кислоті і після відповідної обробки отримали 100 мл забарвленого розчину роданіду заліза (III), оптична густина якого 0,56. Визначить вміст заліза (III) в руді (%).

13. Коефіцієнт молярного поглинання свинцю (IV) з дитизоном при  $\lambda = 485$  нм дорівнює 68000. Чому дорівнює оптична густина розчину, що містить 3 мкг  $\text{PbO}_2$  в  $5 \text{ см}^3$  при вимірюванні в кюветі товщиною 1 см? Яке пропускання цього розчину?

14. При фотометричному визначенні заліза (III) у воді за реакцією з сульфосаліциловою кислотою для стандартних розчинів заліза (III) були отримані наступні дані:

Вміст заліза, %	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$\tau$ , %	100	87,5	77,5	68,5	59,0	52,5

Визначить вміст заліза у воді, якщо пропускання розчину, що досліджують 72%.

15. Титан (IV) утворює з пероксидом водню в кислому середовищі комплексний йон жовтого кольору. При цьому оптична густина розчину, що містить 1 мг титану в 50 мл, дорівнює 0,27 при товщині кювети 2 см. Розрахуйте молярний коефіцієнт поглинання пероксидного комплексу титану.

16. Молярний коефіцієнт поглинання забарвленого комплексу нікелю (II) з  $\alpha$ -бензоїлдіоксимом при довжині хвилі 406 нм дорівнює 12000. Розрахуйте мінімальну концентрацію нікелю (в мг/мл), яка може бути визначена фотометричним методом у кюветі товщиною 5 см, якщо мінімальна оптична густина, що фіксується приладом, дорівнює 0,02.

17. При фотометричному визначенні нікелю (II) були приготовлені стандартні розчини  $\text{NiSO}_4$  і виміряні їх оптичні густини:

$c(\text{Ni})$ , моль/л	0,5	1,0	1,5	2,0
$D$	0,231	0,465	0,690	0,940

Побудуйте графік залежності оптичної густини від концентрації; визначить вміст нікелю у воді, якщо оптична густина проби води дорівнює 0,54. Вміст нікелю визначить в моль/л і мг/л.

18. Пропускання розчину  $K_2Cr_2O_7$  з концентрацією 4,48 мкг/мл, виміряне в кюветі товщиною 1 см при 520 нм, дорівнює 30,9%. Розрахуйте молярний коефіцієнт поглинання  $K_2Cr_2O_7$ .

19. Для визначення вмісту кобальту в технічному зразку, наважку зразка масою 0,4250 г розчинили в мірній колбі місткістю 100 мл. Оптична густина цього розчину 0,446 при товщині кювети 1 см і молярному коефіцієнті поглинання  $3,64 \cdot 10^4 \text{ л} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . Розрахуйте масову частку кобальту в технічному зразку.

20. Для визначення нікелю з диметилгліоксимом наважку сталі розчинюють й розводять розчин до 100,0 мл. До 5,00 мл розчину додають необхідні реактиви, розводять водою до 50,00 мл і фотометрують при  $l = 1,0 \text{ см}$ ,  $\lambda = 470 \text{ нм}$ ,  $\epsilon = 1,30 \cdot 10^4$ . Розрахуйте масу наважки сталі для аналізу, якщо оптимальне значення оптичної густини 0,435, а масова частка нікелю в сталі дорівнює 0,5%.

21. Для визначення заліза (III) в концентрованій сульфатній кислоті у вигляді сульфосаліцилату наважку розміщують в колбу на 100,0 мл, додають необхідні реактиви й доводять водою до позначки. Вимірюють оптичну густина при  $\lambda = 420 \text{ нм}$  ( $\epsilon = 6,0 \cdot 10^3$ ) в кюветі товщиною 1 см. Розрахуйте масу наважки кислоти, якщо оптимальне значення оптичної густини 0,435, а масова частка заліза (III) дорівнює 0,01%.

22. Для визначення міді в кольоровому сплаві з наважки 0,300 г після розчинення і обробки аміаком було отримано 250 мл забарвленого розчину аміакату міді (II), оптична густина якого в кюветі товщиною 1 см була 0,250. Визначить вміст міді в сплаві (%), якщо молярний коефіцієнт поглинання аміакату міді дорівнює 400.

23. Молярний коефіцієнт поглинання дитизонату міді (II) у  $CCl_4$  при 550 нм дорівнює  $4,52 \cdot 10^4$ . Яку масову частку (%) міді можна визначити з дитизоном, якщо з наважки зразка сплаву масою 1,0 г отримують 25 мл розчину дитизонату міді в  $CCl_4$ , оптична густина якого 0,02 при товщині кювети 5 см?

24. Пропускання розчину з концентрацією речовини 3,2 мг  $Al^{3+}$  у  $100 \text{ см}^3$  розчину при 480 нм у кюветі товщиною 2 см дорівнює 35%? Розрахуйте молярний коефіцієнт поглинання цієї речовини.

25. Молярний коефіцієнт світлопоглинання дитизонату міді(II) в тетрахлориді карбону при  $\lambda = 550 \text{ нм}$  дорівнює  $\epsilon = 4,52 \cdot 10^4$ . Яку масову частку (%) міді можна визначити з дитизоном, якщо з наважки зразку сплаву масою 1,00 г одержують 25,00 мл розчину дитизонату, вимірюють мінімальну оптичну густина 0,020 в кюветі  $l = 5,0 \text{ см}$ ?

## 7 Рефрактометричний метод аналізу

**Приклад 1.** Визначить молярну концентрацію розчину ацетону ( $C_3H_6O$ ) в розчині показник заломлення якого при  $20^{\circ}C$  дорівнює 1,3477, а густина розчину становить  $0,941 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення чистої води при  $20^{\circ}C$  дорівнює 1,3333, стандартних 10 і 30% розчинів ацетону відповідно – 1,3403 і 1,3537. Залежність  $n_D$  від концентрації лінійна.

**Розв'язання.** Залежність показника заломлення  $n$  від концентрації ацетону в розчині  $\omega$  має лінійний характер:

$$n = n_0 + k\omega,$$

де  $n_0$  – показник заломлення чистого води;

$\omega$  – концентрація ацетону в розчині, %;

$k$  – емпіричний коефіцієнт.

$$\omega = \frac{n - n_0}{k}.$$

Для того, щоб розрахувати  $k$ , запишемо рівняння залежності показника заломлення  $n$  від концентрації ацетону в стандартних розчинах:

$$n_{ст1} = n_0 + k\omega_{ст1},$$

$$n_{ст2} = n_0 + k\omega_{ст2},$$

$$k = \frac{n_{ст2} - n_{ст1}}{\omega_{ст2} - \omega_{ст1}},$$

де  $\omega_{ст1}$  і  $\omega_{ст2}$  – концентрація ацетону в стандартних розчинах 1 і 2 відповідно,

$n_{ст1}$  і  $n_{ст2}$  – показники заломлення стандартних розчинів 1 і 2 відповідно.

$$k = \frac{1,3537 - 1,3403}{30 - 10} = 0,00067$$

Тоді концентрація ацетону в досліджуваному розчині:

$$\omega = \frac{1,3477 - 1,3333}{0,00067} = 21,5\%$$

Розрахуємо молярну концентрацію ацетону в досліджуваному розчині:

$$c(C_3H_6O) = \frac{m(C_3H_6O)}{M(C_3H_6O) \cdot V_{р-ну}}.$$

Якщо  $m_{р-ну} = 100 \text{ г}$ , то  $m(C_3H_6O) = 21,5 \text{ г}$ , а  $V_{р-ну} = m_{р-ну} / \rho_{р-ну} = 100 / 0,941 = 106,3 \text{ мл} = 0,1063 \text{ л}$ .

$$c(C_3H_6O) = \frac{21,5}{58 \cdot 0,1063} = 3,49 \text{ моль/л},$$

де  $M(C_3H_6O)$  – молярна маса ацетону, що дорівнює  $58 \text{ г/моль}$ ;

## Контрольні задачі

1. Для визначення складу водних розчинів пропанолу-1 ( $C_3H_7OH$ ) були виміряні показники заломлення стандартних розчинів пропанолу-1 при  $20^{\circ}C$ :

Вміст пропанолу, %	0	10	20	30	40
$n_D$	1,3333	1,3422	1,3515	1,3579	1,3639

Визначить вміст пропанолу-1 в розчинах, показники заломлення яких 1,3478 й 1,3615. Розрахуйте молярну концентрацію пропанолу-1 в першому і другому розчинах, якщо їх густина дорівнює  $0,980$  і  $0,935$  г/см<sup>3</sup> відповідно.

2. Визначить молярну концентрацію розчину етиленгліколю ( $C_2H_4(OH)_2$ ), показник заломлення якого 1,3542, а густина розчину  $1,0253$  г/см<sup>3</sup>. Показник заломлення чистої води при  $20^{\circ}C$  1,3333, стандартних 10%-вого і 50%-вого розчинів етиленгліколю відповідно 1,3224 і 1,3728. Залежність  $n_D$  від концентрації лінійна.

3. Показник заломлення 19,25%-вого розчину оцтової (етанової) кислоти при  $20^{\circ}C$  дорівнює 1,3468. Густина цього розчину  $\rho = 1,023$  г/см<sup>3</sup>. Визначить молярну концентрацію оцтової кислоти в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3385, приймаючи до уваги, що між концентрацією оцтової кислоти і показником заломлення в цьому інтервалі концентрацій має місце лінійна залежність. Показник заломлення води при  $20^{\circ}C$  1,3330.

4. При  $20^{\circ}C$  показник заломлення 10%-вого і 20%-вого водних розчинів сахарози ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) дорівнюють 1,3478 і 1,3638 відповідно. Визначить молярну концентрацію сахарози в розчині, показник заломлення якого 1,3557, приймаючи до уваги, що між концентрацією сахарози і показником заломлення в цьому інтервалі концентрацій має місце лінійна залежність. Густина досліджуваного розчину  $\rho = 1,075$  г/см<sup>3</sup>. Показник заломлення води дорівнює 1,3330.

5. Для визначення складу водно-ацетонових розчинів були виміряні показники заломлення стандартних водних розчинів ацетону (пропанон-2,  $C_3H_6O$ ) різної концентрації:

Вміст ацетону, %	10	20	30	40	50
$n_D$	1,3403	1,3477	1,3537	1,3584	1,3624

За калібрувальним графіком визначить вміст ацетону в розчині, показник заломлення якого становить 1,3500. Складіть математичне рівняння залежності показника заломлення ацетону від концентрації.

6. Виходячи з того, що між показником заломлення і концентрацією існує лінійна залежність, визначить молярну концентрацію гліцерину

(пропантриол - 1,2,3,  $C_3O_3H_8$ ) у воді, якщо показник заломлення цього розчину дорівнює 1,3575, показник заломлення стандартного 40%-вого розчину гліцерину – 1,3841, а показник заломлення води – 1,3330. Густина досліджуваного розчину  $\rho = 1,047 \text{ г/см}^3$ .

7. Для визначення складу водних розчинів метанолу ( $CH_3OH$ ) були виміряні показники заломлення стандартних водних розчинів метанолу різної концентрації:

Вміст спирту, %	0	10	20	30	40
$n_D$	1,3333	1,3353	1,3381	1,3404	1,3419

За калібрувальним графіком визначить вміст метанолу в розчинах, показники заломлення яких 1,3375 і 1,3410. Складіть математичне рівняння залежності показників заломлення метанолу від концентрації.

8. При  $17^\circ C$  показник заломлення розчину, що містить 60 г натрій карбонату в 1000 мл водного розчину, дорівнює 1,3456. Визначить процентний вміст натрій карбонату в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3432. Густина досліджуваного розчину  $\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення води дорівнює 1,3325. Залежність між показником заломлення і концентрацією вважати лінійною.

9. Для побудови калібрувального графіка при рефрактометричному визначенні гліцерину (пропантриол-1,2,3,  $C_3O_3H_8$ ) відміряні наступні об'єми води й гліцерину і визначені показники заломлення одержаних сумішей:

Об'єм води, мл	10	8	6	4	2	0
Об'єм гліцерину, мл	0	2	4	6	8	10
$n_D$	1,3330	1,3627	1,3915	1,4211	1,4484	1,477

Побудуйте калібрувальний графік залежності показника заломлення від вмісту гліцерину (ваг. %), якщо густина гліцерину  $\rho = 1,26 \text{ г/см}^3$ . Визначить вміст гліцерину в сумішах, показники заломлення яких дорівнюють 1,4050 і 1,4580.

10. Показник заломлення 18%-вого розчину пропіонової (пропанової) кислоти ( $C_2H_5COOH$ ) при  $20^\circ C$  дорівнює 1,3584. Визначить молярну концентрацію пропіонової кислоти в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3427 (густина розчину  $\rho = 1,08 \text{ г/см}^3$ ), приймаючи, що між концентрацією пропіонової кислоти й показником заломлення існує лінійна залежність. Показник заломлення води 1,3333.

11. Визначить молярну концентрацію  $KOH$  у водному розчині, показник заломлення якого при  $17,5^\circ C$  дорівнює 1,3447. Показник заломлення стандартного розчину, який містить 80 г  $KOH$  в  $1 \text{ дм}^3$  розчину, дорівнює 1,3480.

Показник заломлення води при 20<sup>0</sup>С 1,3330. Залежність показника заломлення від концентрації можна вважати лінійною.

12. Показник заломлення 40%-вого розчину оцтової (етанової) кислоти при 20<sup>0</sup>С дорівнює 1,3599. Визначить молярну концентрацію оцтової кислоти в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3473 приймаючи до уваги, що між концентрацією оцтової кислоти й показником заломлення в цьому інтервалі концентрацій має місце лінійна залежність. Густина досліджуваного розчину  $\rho = 1,026 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення чистої води при 20<sup>0</sup>С дорівнює 1,3330.

13. Для визначення складу водно-гексанових розчинів були виміряні показники заломлення стандартних розчинів гексану у воді:

Вміст гексану, %	10	20	30	40	50
$n_D$	1,3340	1,3410	1,3485	1,3550	1,3610

Визначить вміст гексану у воді (% і мг/л), якщо показник заломлення розчину, що досліджують, дорівнює 1,3460, а густина розчину  $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$ .

14. Показники заломлення 10%-вого і 40%-вого розчинів гліцерину (пропантриол-1,2,3,  $\text{C}_3\text{O}_3\text{H}_8$ ) у воді дорівнюють 1,3448 і 1,3841 відповідно. Розрахуйте молярну концентрацію гліцерину у воді, якщо показник заломлення його розчину дорівнює 1,3575, а густина розчину  $\rho = 1,047 \text{ г/см}^3$ . Залежність показника заломлення від концентрації вважати лінійною.

15. Показник заломлення 10%-вого розчину бутанової кислоти ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ ) при 20<sup>0</sup>С дорівнює 1,3475. Визначить молярну концентрацію бутанової кислоти в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3405, густина розчину  $\rho = 1,05 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення води при 20<sup>0</sup>С дорівнює 1,3333. Залежність показника заломлення від концентрації вважати лінійною.

16. Для визначення складу суміші вода – оксалатна (етандіова) кислота ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) були виміряні такі показники заломлення стандартних розчинів:

Вміст оксалатної кислоти, %	0	10	20	30	40
$n_D$	1,3333	1,3431	1,3523	1,3591	1,3652

За калібрувальним графіком визначить вміст оксалатної кислоти у водному розчині (% , мг/л), показник заломлення якого дорівнює 1,3500. Густина цього розчину  $\rho = 1,048$ . Складіть математичне рівняння залежності показника заломлення оксалатної кислоти від концентрації.

17. Показник заломлення 20%-вого розчину янтарної (бутандіової) кислоти ( $\text{C}_4\text{O}_4\text{H}_6$ ) дорівнює 1,3582. Визначить молярну концентрацію янтарної

кислоти в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3392, приймаючи до уваги, що між концентрацією янтарної кислоти й показником заломлення в цьому інтервалі концентрацій має місце лінійна залежність. Густина досліджуваного розчину  $\rho = 1,0520 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення чистої води при 20°C дорівнює 1,3330.

18. Для визначення складу водних розчинів бутанолу були виміряні показники заломлення стандартних розчинів:

Вміст спирту, %	0	10	20	30	40
$n_D$	1,3333	1,3521	1,3632	1,3790	1,3802

Побудуйте калібрувальний графік і визначить вміст бутанолу в розчинах, показники заломлення яких дорівнюють 1,3640 і 1,3810 відповідно.

19. При 20°C показник заломлення 20%-вого водного розчину фруктози ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) дорівнює 1,3275. Визначить молярну концентрацію фруктози в розчині, показник заломлення якого – 1,3808, приймаючи до уваги, що між концентрацією фруктози й показником заломлення в цьому інтервалі концентрації має місце лінійна залежність. Густина досліджуваного розчину  $\rho = 1,125 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення води дорівнює 1,3330.

20. Показник заломлення 40%-вого розчину сахарози ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) при 20°C дорівнює 1,4016. Визначить молярну концентрацію сахарози в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,36385, приймаючи, що між концентрацією сахарози й показником заломлення в цьому інтервалі концентрації має місце лінійна залежність. Густина розчину, що досліджують  $\rho = 1,082 \text{ г/см}^3$ . Показник заломлення води дорівнює 1,3330.

21. Показник заломлення 20,3%-вого розчину мурашиної (метанової) кислоти ( $\text{НСООН}$ ) при 20°C дорівнює 1,3584. Визначить молярну концентрацію мурашиної кислоти в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3427 (густина розчину  $\rho = 1,023 \text{ г/см}^3$ ), приймаючи, що між концентрацією мурашиної кислоти і показником заломлення має місце лінійна залежність. Показник заломлення води дорівнює 1,3333.

22. Для визначення складу суміші вода – етанол при 20°C були виміряні показники заломлення стандартних розчинів етанолу:

Вміст етанолу, %	0	10	20	30	40
$n_D$	1,3333	1,3396	1,3470	1,3535	1,3580

Визначить вміст етанолу (% , мг/л) в розчині, показник заломлення якого дорівнює 1,3508. Густина розчину  $\rho = 0,965 \text{ г/см}^3$ .

23. Показники заломлення 10-вого% і 40-вого% водних розчинів сахарози ( $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ ) у воді дорівнюють 1,3478 і 1,4016 відповідно. Розрахуйте молярну

концентрацію сахарози у воді, якщо показник заломлення розчину дорівнює 1,3638, а густина розчину  $\rho = 1,081 \text{ г/см}^3$ . Залежність показника заломлення від концентрації вважати лінійною.

24. Для визначення вмісту етиленгліколю ( $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ ) у водному розчині при  $20^\circ\text{C}$  були виміряні показники заломлення стандартних розчинів етиленгліколю:

Вміст етиленгліколю %	0	10	20	30	40
$n_D$	1,33330	1,35242	1,35238	1,36253	1,37275

Визначить вміст етиленгліколю в розчинах, показники заломлення яких дорівнюють 1,34856 й 1,36456 відповідно. Розрахуйте молярну концентрацію етиленгліколю в першому і другому розчинах, якщо густина розчинів дорівнює 1,012 і 1,038  $\text{г/см}^3$  відповідно.

25. Показники заломлення 10%-вого і 20%-вого водних розчинів пропанолу-2 ( $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$ ) у воді при  $20^\circ\text{C}$  дорівнюють 1,3421 і 1,3512 відповідно. Розрахуйте молярну концентрацію пропанолу-2 у воді, якщо показник заломлення розчину дорівнює 1,3495, а густина розчину  $\rho = 0,9712 \text{ г/см}^3$ . Залежність показника заломлення від концентрації вважати лінійною.

## 8 Кондуктометричний метод аналізу

**Приклад 1.** Опір 0,05 н. розчину  $\text{K}_2\text{SO}_4$  в комірці з електродами площею  $2,54 \text{ см}^2$  і відстанню між ними 0,65 см дорівнює 56,1 Ом. Визначить еквівалентну електропровідність розчину  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Розрахунки здійсніть, використовуючи систему одиниць СІ.

**Розв'язання.** Розрахуємо питому електропровідність 0,05 н розчину  $\text{K}_2\text{SO}_4$ :

$$\kappa = \frac{1}{R} \cdot \frac{l}{S} = \frac{0,65 \cdot 10^{-2}}{5,61 \cdot 2,54 \cdot 10^{-4}} = 0,456 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}.$$

Розрахуємо еквівалентну електропровідність розчину:

$$\lambda = \frac{\kappa}{c(1/2\text{K}_2\text{SO}_4) \cdot 1000} = \frac{0,456}{0,05 \cdot 1000} = 91,2 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}.$$

**Приклад 2.** Питома електропровідність 0,0109 н розчину  $\text{NH}_4\text{OH}$  дорівнює  $1,02 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . Визначить ступінь і константу дисоціації  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

**Розв'язання.** Розрахуємо еквівалентну електропровідність розчину:

$$\lambda = \frac{\kappa \cdot 1000}{c_{\text{H}}(\text{NH}_4\text{OH})} = \frac{1,02 \cdot 10^{-4} \cdot 1000}{0,0109} = 9,358 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}.$$



Розрахуємо граничну еквівалентну електропровідність  $\lambda_0$  розчину за умови безмежного розведення, як суму граничних рухливостей йонів  $\text{NH}_4^+$  і  $\text{OH}^-$ , згідно з даними таблиці 1.3 додатку 1:

$$\lambda_0 = \lambda_{0+}(\text{NH}_4^+) + \lambda_{0-}(\text{OH}^-).$$

Для  $\text{NH}_4^+$  йона  $\lambda_{0+}(\text{NH}_4^+) = 76 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}$ ;

для  $\text{OH}^-$  йона  $\lambda_{0-}(\text{OH}^-) = 205 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}$ .

$$\lambda_0 = 76 + 205 = 281 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}.$$

Розрахуємо ступінь дисоціації  $\text{NH}_4\text{OH}$  за рівнянням

$$\alpha = \frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{9,358}{281} = 0,033$$

Розрахуємо константу дисоціації  $\text{NH}_4\text{OH}$  за рівнянням

$$K_{\text{д}}(\text{NH}_4\text{OH}) = \frac{c(\text{NH}_4\text{OH}) \cdot \alpha^2}{1 - \alpha},$$

де  $c(\text{NH}_4\text{OH})$  – молярна концентрація  $\text{NH}_4\text{OH}$  в розчині, моль/дм<sup>3</sup>;

Оскільки  $f_{\text{екв}}(\text{NH}_4\text{OH}) = 1$ , то молярна концентрація тотожна молярній концентрації еквівалента. Таким чином, остаточно:

$$K_{\text{д}}(\text{NH}_4\text{OH}) = \frac{0,0109 \cdot (0,033)^2}{1 - 0,033} = 1,2 \cdot 10^{-5}.$$

### **Контрольні задачі**

Необхідні для розв'язання задач значення граничних рухливостей йонів ( $\lambda_{0+}$ ,  $\lambda_{0-}$ ) наведені в таблиці 1.3 додатку 1.

1. Опір 0,1 н розчину натрій хлориду в комірці з електродами площею  $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$  і відстанню між ними 0,0075 м дорівнює 46,8 Ом. Визначить питому й еквівалентну електропровідність розчину натрій хлориду.

2. Еквівалентна електропровідність барій хлориду дорівнює  $123,94 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль-екв}^{-1}$ . Визначить опір 0,01 н розчину барій хлориду, що заповнює кондуктометричну комірці, якщо площа електродів дорівнює  $0,865 \text{ см}^2$ , а відстань між ними становить 0,258 см.

3. При титруванні 100 мл розчину оцтової (етанової) кислоти 0,5 М розчином натрій гідроксиду були отримані наступні дані:

V(NaOH), мл	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0	13,0	15,0	17,0
R, Ом	75,0	68,1	62,3	57,0	53,2	50,8	51,5	52,1

Визначить молярну й процентну концентрації оцтової кислоти в розчині. Густина розчину  $\rho = 1,03 \text{ г/см}^3$ .

4. Опір 10%-вого розчину сульфатної кислоти в кондуктометричній комірці дорівнює 34,2 Ом. Розрахуйте питому й еквівалентну електропровідність цього розчину, якщо площа електродів становить 5,25 см<sup>2</sup>, а відстань між ними дорівнює 0,65 см. Густина розчину  $\rho = 1,0198$  г/см<sup>3</sup>.

5. При титруванні 50 мл розчину хлоридної кислоти 2 М розчином калій гідроксиду були отримані наступні результати дані:

Об'єм 2 М розчину КОН, мл	3,2	6,0	9,2	15,6	20,0	23,5
$\kappa \cdot 10^{-2}$ , Ом <sup>-1</sup> ·м <sup>-1</sup>	3,2	2,56	1,86	1,64	2,38	2,96

Визначить молярну й процентну концентрацію хлоридної кислоти в розчині. Густина розчину хлоридної кислоти  $\rho = 1,079$  г/см<sup>3</sup>.

6. Еквівалентна електропровідність  $1,03 \cdot 10^{-3}$  н розчину оцтової (етанової) кислоти при 25°C дорівнює 48,1 Ом<sup>-1</sup>·см<sup>2</sup>·моль-екв<sup>-1</sup>. Визначить ступінь і константу дисоціації оцтової кислоти, якщо гранична еквівалентна електропровідність оцтової кислоти при нескінченному розведенні дорівнює 390,6 Ом<sup>-1</sup>·см<sup>2</sup>·моль-екв<sup>-1</sup>.

7. Величини питомої електропровідності водних розчинів фторидної кислоти наведені в таблиці:

Концентрація HF, моль/л	0,004	0,007	0,015	0,030	0,060	0,121	0,243
$\kappa \cdot 10^{-4}$ , Ом <sup>-1</sup> ·см <sup>-1</sup>	2,5	3,8	5,0	8,0	12,3	21	36

Побудуйте графік залежності питомої електропровідності від концентрації. Визначить за графіком молярну концентрацію HF в розчині, питома електропровідність якого дорівнює  $11 \cdot 10^{-4}$ , Ом<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>. Скільки грамів HF містить 1 м<sup>3</sup> стічної води?

8. Питома електропровідність 0,05 М розчину оцтової (етанової) кислоти дорівнює  $3,24 \cdot 10^{-4}$ , Ом<sup>-1</sup>·см<sup>-1</sup>. Розрахуйте ступінь і константу дисоціації оцтової кислоти, а також рН цього розчину. Гранична еквівалентна електропровідність цього розчину за умови нескінченного розведення дорівнює 347,8 Ом<sup>-1</sup>·см<sup>2</sup>·моль-екв<sup>-1</sup>.

9. Розрахуйте питомий опір розчину сульфатної кислоти з титром 0,245 г/см<sup>3</sup>, якщо були отримані наступні дані:

$c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)$ , моль/л	2	4	6	8	10
$\kappa \cdot 10^{-2}$ , Ом <sup>-1</sup> ·см <sup>-1</sup>	7,90	10,55	12,40	13,40	12,51

10. Розрахуйте константу дисоціації амоній гідроксиду, якщо еквівалентна електропровідність  $8 \cdot 10^{-3}$  М розчину амоній гідроксиду дорівнює  $12,4 \cdot 10^{-4}$  Ом<sup>-1</sup>·м<sup>2</sup>·моль-екв<sup>-1</sup>.

11. Визначить еквівалентну електропровідність розчину хлоридної кислоти з масовою часткою 9 % (густина розчину  $\rho = 1,042 \text{ г/см}^3$ ), за наступними даними:

$c(\text{HCl})$ , моль/л	1	2	4	6	8	10
$\kappa \cdot 10^{-2}$ , $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	8,72	10,81	13,00	14,32	13,4	10,85

12. Залежність електропровідності розчинів натрій хлориду від концентрації характеризується наступними даними:

$\omega$ , %	5	10	20	25
$W$ , $\text{Ом}^{-1}$	0,0430	0,0779	0,1255	0,1340

Побудуйте графік залежності  $W = f(\omega)$ . Визначить молярну й процентну концентрації натрій хлориду в розчині; електропровідність якого дорівнює  $0,065 \text{ Ом}^{-1}$ , густина розчину  $\rho = 1,07 \text{ г/см}^3$ .

13. При кондуктометричному титруванні  $2,5 \text{ см}^3$  кальцій ацетату  $1,5 \text{ н}$  розчином натрій оксалату отримані наступні дані:

$V(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4)$ , $\text{см}^3$	0,5	1,0	2,0	3,5	4,0	5,0
$W \cdot 10^{-2}$ , $\text{Ом}^{-1}$	2,51	2,50	2,49	3,18	3,75	5,10

Визначить молярну й процентну концентрації кальцій ацетату, густина розчину  $\rho = 1,06 \text{ г/см}^3$ .

14. При кондуктометричному титруванні  $50 \text{ см}^3$  суміші хлоридної та оцтової (етанової) кислот  $1 \text{ М}$  розчином калій гідроксиду отримані наступні результати:

$V(\text{KOH})$ , $\text{см}^3$	0,5	1,0	2,0	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	6,0
$W \cdot 10^{-2}$ , $\text{Ом}^{-1}$	4,0	3,21	1,85	1,0	1,22	1,48	1,50	1,51	1,50

За графіком знайдіть точки еквівалентності і визначить концентрації (г/л) кислот у суміші.

15. При кондуктометричному титруванні  $3,0 \text{ см}^3$  натрій сульфату  $0,1 \text{ М}$  розчином барій ацетату одержано наступну залежність між електропровідністю розчину  $W$  й об'ємом доданого титранту  $V$ :

$V(\text{титранта})$ , $\text{см}^3$	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
$W \cdot 10^{-2}$ , $\text{Ом}^{-1}$	4,0	3,21	1,85	1,15	2,50	3,56

За графіком визначить вміст сульфату натрію (моль/л, мг/л).

16. Для водного розчину калій хлориду одержано наступну залежність питомої електропровідності розчину від масової частки солі:

$\omega(\text{KCl})$ , %	5	10	15	20	25
$\kappa$ , $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$	0,092	0,180	0,260	0,336	0,402

Побудуйте графік і визначить молярну концентрацію  $\text{KCl}$  в розчині, питома електропровідність якого дорівнює  $0,22 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ . Густина розчину  $\rho = 1,02 \text{ г/см}^3$ .

17. Обчислити опір розчину нітратної кислоти (Om), якщо площа електродів дорівнює  $1,12 \text{ cm}^2$ , відстань між електродами –  $0,65 \text{ cm}$ , питома електропровідність становить  $0,015 \text{ Om}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ .

18. Залежність електропровідності розчинів кальцій хлориду від концентрації характеризується наступними даними:

$\omega, \%$	10	20	30
$W, \text{Om}^{-1}$	0,0748	0,1077	0,1150

Побудуйте графік залежності  $W = f(\omega)$ . Визначить молярну й процентну концентрації кальцій хлориду в розчині; електропровідність якого  $0,095 \text{ Om}^{-1}$ , густина розчину  $\rho = 1,065 \text{ g/cm}^3$ .

19. Визначить значення еквівалентної електропровідності 5%-вого розчину магній нітрату (густина розчину  $\rho = 1,038 \text{ g/cm}^3$ ) при  $18^\circ\text{C}$ , якщо питома електропровідність цього розчину дорівнює  $4,38 \text{ Om}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ .

20. При вимірюванні питомої електропровідності розчинів  $\text{CaCl}_2$  були отримані наступні дані:

$\omega(\text{CaCl}_2), \%$	0,5	2,5	5	7,5	10
$\kappa \cdot 10^{-3}, \text{Om}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$	7,0	2,92	1,80	1,28	0,94

Побудуйте графік і знайдіть молярну концентрацію еквівалента  $\text{CaCl}_2$  в розчині, питома електропровідність якого дорівнює  $2,0 \text{ Om}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ . Густина цього розчину  $\rho = 1,06 \text{ g/cm}^3$ .

21. При кондуктометричному титруванні  $0,05 \text{ M}$  розчину натрій сульфату  $0,8 \text{ M}$  розчином барій гідроксиду одержані наступні дані:

$V(\text{Ba}(\text{OH})_2), \text{cm}^3$	1	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
$W \cdot 10^{-2}, \text{Om}^{-1}$	2,51	2,50	2,49	3,18	3,75	5,10

Побудувати графік і визначити об'єм натрій сульфату, що взяли для аналізу.

22. Визначить питому електропровідність  $0,01 \text{ M}$  розчину оцтової (етанової) кислоти, якщо її константа дисоціації дорівнює  $1,74 \cdot 10^{-5}$ .

23.  $2,5381 \text{ g}$  проби, що містить натрій гідроксид та анілін, внесли до мірної колби на  $100 \text{ ml}$ , довели до позначки дистильованою водою, відібрали  $15 \text{ ml}$  і провели кондуктометричне титрування  $0,1 \text{ M}$  розчином  $\text{HCl}$ , результати якого наведені в таблиці:

$V(\text{HCl}), \text{ml}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
$\kappa \cdot 10^{-5}, \text{Om}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$	6,64	5,97	5,21	4,48	3,71	3,68	3,82	4,06	4,25	4,50	4,68	5,30	5,95	6,63	7,28	7,91

Визначить масову частку натрій гідроксиду і аніліну ( $M_{\text{екв.}} = 93 \text{ g/моль}$ ) в пробі.

24. Еквівалентна електропровідність  $0,01 \text{ n}$  розчину натрій сульфату дорівнює  $163,5 \cdot 10^{-4} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{моль-екв.}^{-1}$ . Розрахуйте опір розчину, якщо площа електродів дорівнює  $1,2485 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ , а відстань між ними становить  $4,56 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ .

25. Для різних концентрацій NaOH у воді отримали відповідні еквівалентні електропровідності розчинів:

$c(\text{NaOH}), \text{ моль/л}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,5
$\lambda, \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{моль-екв.}^{-1}$	219	213	206	203	197

Визначить масову частку NaOH в розчині, питома електропровідність якого дорівнює  $0,045 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ .

## 9 ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНИЙ МЕТОД АНАЛІЗУ

**Приклад 1.** Обчислити потенціал мідного електроду в 0,1 М розчині купрум (II) хлориду при 30°C.

**Розв'язання.** Потенціал мідного електрода розраховують за рівнянням Нернста:

$$\varphi_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}} = \varphi_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}}^0 + \frac{2,3RT}{zF} \lg[\text{Cu}^{2+}],$$

де  $\varphi_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}}^0$  – стандартний електродний потенціал, В;

$R$  – універсальна газова стала (8,314 Дж/(моль·К));

$T$  – абсолютна температура, К;

$F$  – стала Фарадея (96500 Кл/моль);

$z$  – кількість електронів, які беруть участь в електродній реакції;

$[\text{Cu}^{2+}]$  – молярна концентрація йонів  $\text{Cu}^{2+}$ , моль/л.

Величина  $\frac{2,3RT}{F}$  при 30°C дорівнює 0,060;  $\varphi_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}}^0 = 0,34 \text{ В}$  (табл. 1.4,

додаток 1).

$$\varphi_{\text{Cu}^{2+}|\text{Cu}} = 0,337 + \frac{0,060}{2} \lg 0,1 = 0,337 + 0,030(-1) = 0,337 - 0,03 = 0,307 \text{ В}$$

**Приклад 2.** Розрахуйте потенціал цинкового електроду, зануреного при 25°C у розчин цинк сульфату, відносно насиченого хлоридсрібного електроду, якщо в 100 мл розчину міститься 1,6150 г  $\text{ZnSO}_4$ .

**Розв'язання.** Величина потенціалу одного електроду відносно другого є електрорушійною силою (ЕРС) гальванічного елемента ( $E$ ), що визначається як різниця потенціалів цих електродів.

Отже, для елемента, що складений з цинкового й хлоридсрібного електродів,  $E$  слід розраховувати за формулою

$$E = \varphi_{\text{Cl}^-|\text{AgCl}|\text{Ag}} - \varphi_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}},$$

де  $\varphi_{\text{Cl}^-|\text{AgCl}|\text{Ag}}$  – потенціал хлоридсрібного електрода (електрод порівняння) є величиною сталою і дорівнює при  $25^\circ\text{C}$   $+0,222$  В [4];

$\varphi_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}}$  – потенціал цинкового електрода, В.

$$\varphi_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}} = \varphi_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}}^0 + \frac{2,3RT}{zF} \lg[\text{Zn}^{2+}]$$

Для визначення потенціалу цинкового електрода  $\varphi_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}}$  розрахуємо рівноважну молярну концентрацію йонів  $\text{Zn}^{2+}$  у розчині за наступним рівнянням

$$[\text{Zn}^{2+}] = c(\text{ZnSO}_4) = \frac{m(\text{ZnSO}_4)}{M(\text{ZnSO}_4) \cdot V_{\text{р-ну}}} = \frac{1,6150}{161,5 \cdot 0,1} = 0,1 \text{ моль/л},$$

де  $m(\text{ZnSO}_4)$  – маса  $\text{ZnSO}_4$ , г;

$M(\text{ZnSO}_4)$  – молярна маса  $\text{ZnSO}_4$ , що дорівнює 161,5 г/моль;

$V_{\text{р-ну}}$  – об'єм розчину,  $\text{дм}^3$ .

$$\varphi_{\text{Zn}^{2+}|\text{Zn}} = -0,763 + \frac{0,059}{2} \lg 10^{-1} = -0,763 - 0,0295 = -0,7925 \text{ В.}$$

$$E = 0,222 - (-0,7925) = 1,0145 \text{ В.}$$

### Контрольні задачі

Необхідні для розв'язання задач значення стандартних електродних потенціалів наведені у таблиці 1.4 додатку 1.

1. Різниця потенціалів між водневим електродом і насиченим каломельним електродом становить 0,435 В при  $25^\circ\text{C}$ . Визначить рН розчину, якщо електродний потенціал насиченого каломельного електрода дорівнює 0,2415 В.

2. При потенціометричному титруванні 50 мл оцтової (етанової) кислоти 0,1 н розчином  $\text{NaOH}$  отримані такі дані:

$V(\text{NaOH})$ , мл	0	10	25	40	49	49,9	50	50,1	51	60	75
рН	2,88	4,16	4,76	5,36	6,45	7,46	8,73	10,0	11,0	12,0	12,3

Розрахуйте концентрацію оцтової кислоти (моль/л і г/л).

3. ЕРС ланцюга  $\text{Pt} | \text{H}_2 | \text{CH}_3\text{COOH} || 0,1 \text{ M KCl} | \text{Hg}_2\text{Cl}_2 | \text{Hg}$  при  $30^\circ\text{C}$  дорівнює  $0,498 \text{ В}$ . Визначить рН розчину, якщо електродний потенціал каломельного електроду дорівнює  $0,3365 \text{ В}$ .

4. Розчин  $\text{HCl}$ , що аналізують, помістили в мірну колбу на  $100 \text{ мл}$  і дистильованою водою довели рівень рідини до позначки.  $20 \text{ мл}$  цього розчину відтитрували потенціометричним методом  $0,1 \text{ M}$  розчином  $\text{NaOH}$ . Побудуйте криві титрування в координатах  $\text{pH} = f(V)$  і  $\frac{\Delta\text{pH}}{\Delta V} = f(V)$ , визначить масу  $\text{HCl}$  у вихідному розчині (г) за такими даними:

$V(\text{NaOH}), \text{ мл}$	1,30	1,50	1,60	1,65	1,68	1,70	1,72	1,74	1,80
$\text{pH}$	1,78	3,03	3,34	3,64	4,03	6,98	9,96	10,36	10,66

5. Розрахуйте потенціал срібного електроду, зануреного в розчин, що містить  $0,2 \text{ моль}$   $\text{AgNO}_3$  в  $500 \text{ см}^3$  розчину, відносно насиченого хлоридсрібного електроду, потенціал якого при  $25^\circ\text{C}$  дорівнює  $0,2224 \text{ В}$ .

6. Розрахуйте потенціал залізного електроду при  $25^\circ\text{C}$ , зануреного в розчин залізного купоросу  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (маса солі  $20,5 \text{ г}$ , об'єм розчину  $100 \text{ мл}$ ) відносно каломельного електроду ( $0,1 \text{ н KCl}$ ), потенціал якого  $0,3365 \text{ В}$ .

7. Розчин  $\text{HCl}$ , що аналізують, помістили в мірну колбу на  $100 \text{ мл}$  і дистильованою водою довели рівень рідини до позначки. Аліквоту об'ємом  $20 \text{ мл}$  відтитрували потенціометрично  $0,1 \text{ M}$  розчином  $\text{NaOH}$ . Побудуйте криву титрування в координатах  $\text{pH} = f(V)$  і  $\frac{\Delta\text{pH}}{\Delta V} = f(V)$ , визначить масу  $\text{HCl}$  в розчині (г) за такими даними:

$V(\text{NaOH}), \text{ мл}$	1,5	1,80	1,90	1,95	1,98	2,00	2,02	2,05	2,10
$\text{pH}$	2,64	3,05	3,36	3,64	4,05	6,98	9,95	10,53	10,65

8. Проба води містить нітрат-іони. Для їх визначення склали гальванічний елемент з індикаторного нітрат-селективного електроду й хлоридсрібного електроду порівняння. Виміряли електрорушійну силу ( $E$ ) п'яти стандартних розчинів з відомою концентрацією нітрат-іонів і отримали наступні результати:

$c(\text{NO}_3^-), \text{ моль/л}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$
$E, \text{ мВ}$	330	275	225	170	120

В тих же умовах виміряли  $E$  проби води – вона дорівнює  $250 \text{ мВ}$ . Методом градуювального графіка визначить вміст нітрат-іонів (моль/л, мг/л) у воді.

9. Розрахуйте потенціал платиного електроду, зануреного в розчин  $\text{FeSO}_4$ , на  $99\%$  відтитрованого  $\text{KMnO}_4$ , якщо стандартний електродний потенціал пари  $\text{Fe}^{3+}|\text{Fe}^{2+}$  дорівнює  $0,771 \text{ В}$ , температура  $25^\circ\text{C}$ .

10. 1,0344 г препарату, що містить дикумарин (молярна маса дорівнює 336,30 г/моль;  $f_{\text{екв.}} = 1/2$ ), розчинили в 25 мл піридину і провели потенціометричне титрування 0,1024 М розчином NaOH. При цьому використовували скляний і насичений хлоридсрібний електроди. Отримали наступні результати:

V(NaOH), мл	17,0	18,0	19,0	19,4	19,6	19,8	20,0	20,2	20,4	20,6	20,8	21,0	22,0
E, мВ	42	24	-6	-14	-27	-31	-42	-61	-124	-168	-176	-182	-190

Обчисліть масову частку дикумарину в препараті.

11. Із мірної колби об'ємом 100 мл, що містить суміш хлоридної і оцтової (етанової) кислот, відібрали аліквотну частину об'ємом 20 мл і відтитрували потенціометричним методом 0,1012 М розчином NaOH. На кривій титрування спостерігали два стрибка потенціалу: при  $V_1 = 18,96$  мл і  $V_2 = 21,83$  мл. Розрахуйте вміст кислот (мг) у мірній колбі.

12. 25 мл розчину хлоридної кислоти розбавили дистильованою водою до 100 мл. 20 мл цього розчину відтитрували потенціометричним методом 0,1 М розчином натрій гідроксиду і отримали наступні результати:

V(NaOH), мл	18	19	19,9	20,0	20,1	21,0	22,0
pH	2,28	2,59	3,60	7,00	10,60	1,49	11,68

Визначить молярну концентрацію хлоридної кислоти у вихідному розчині.

13. Розрахуйте потенціал алюмінієвого електрода в розчині, що містить 13,35 г алюміній хлориду в 500 мл розчину, відносно водневого електрода й насиченого хлоридсрібного електрода, потенціал якого при 25<sup>0</sup>С дорівнює 0,2224 В.

14. Побудуйте криву потенціометричного титрування в координатах  $\text{pH} = f(V)$  і  $\frac{\Delta \text{pH}}{\Delta V} = f(V)$ , визначить концентрацію  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (г/л), якщо при титруванні 10 мл цієї кислоти 0,1 М КОН отримали наступні результати:

V(КОН), мл	15	18	19	19,5	19,9	20	20,1	20,5	21
pH	5,22	5,71	6,04	6,35	7,05	8,79	10,52	11,22	11,51

5. ЕРС ланцюга  $\text{Pt} | \text{H}_2 | \text{H}_3\text{BO}_3 || 1 \text{ М КСл} | \text{Hg}_2\text{Cl}_2 | \text{Hg}$  при 25<sup>0</sup>С дорівнює 0,594 В. Визначить рН розчину, якщо електродний потенціал каломельного електрода дорівнює +0,2828 В.

16. 20 мл розчину метиламіну ( $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ) помістили в мірну колбу на 100 мл і дистильованою водою довели рівень рідини до позначки. 10 мл цього розчину в потенціометричний спосіб відтитрували 0,1 М розчином HCl і отримали наступні результати:

V(HCl), мл	10,0	12,	14,0	14,5	14,9	15,0	15,1	15,5	16,0
pH	10,4	10,12	9,56	9,28	8,42	6,02	3,52	2,85	2,55



Побудуйте криву потенціометричного титрування в координатах  $pH = f(V)$  і  $\frac{\Delta pH}{\Delta V} = f(V)$ , визначить концентрацію метиламіну (моль/л) у вихідному розчині.

17. Платиновий електрод, занурено в розчин, що містить 15,8 г  $KMnO_4$  і 2,23 г  $MnSO_4 \cdot 4H_2O$  в 0,5 дм<sup>3</sup> розчину;  $pH = 1$ . Розрахуйте потенціал платинового електрода відносно стандартного водневого електрода. Рівняння електродного потенціалу окисно-відновного електрода за температури 25°C має вигляд:

$$\varphi_{MnO_4^-|Mn^{2+}} = 1,507 + 0,0121g \frac{[MnO_4^-]}{[Mn^{2+}]} - 0,095pH.$$

18. Наважку  $Na_2CO_3$  масою 0,2812 г розчинили в мірній колбі місткістю 50 мл і довели об'єм розчину до позначки льодяною оцтовою кислотою. При потенціометричному титруванні 5 мл цього розчину перхлоратною кислотою ( $HClO_4$ ) у безводній оцтовій кислоті були отримані наступні результати:

$V(HClO_4)$ , мл	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,4
$E$ , мВ	431	439	450	465	490	523	550	566	576

Розрахуйте молярну концентрацію еквіваленту  $HClO_4$ .

19. Наважку срібного сплаву масою 2,157 г розчинили і після відповідної обробки довели об'єм розчину до 100 мл. У результаті потенціометричного титрування 25 мл цього розчину 0,12 М розчином  $NaCl$  отримали наступні дані:

$V(NaCl)$ , мл	16,0	18,0	19,0	19,5	19,9	20,0	20,10	20,50	21,0
$E$ , мВ	689	670	652	634	594	518	440	401	383

Побудуйте криві потенціометричного титрування в координатах  $E = f(V)$  і  $\frac{\Delta E}{\Delta V} = f(V)$ , визначить масову частку (%) срібла в сплаві.

20. Розрахуйте потенціал кадмієвого електрода, зануреного в 0,05 н розчин кадмій нітрату, відносно водневого й хлоридсрібного електродів при 25°C.

21. При потенціометричному титруванні 50 мл натрій гідроксиду 0,1 М розчином хлоридної кислоти одержані наступні дані:

$V(HCl)$ , мл	0	10	20	30	40	49	49,9	50	50,1	51	60	70
$pH$	13	12,9	12,7	12,5	12,3	11	10	7	4	3	2	1,8

Побудуйте криві титрування в координатах  $pH = f(V)$  і  $\frac{\Delta pH}{\Delta V} = f(V)$ , визначить концентрацію  $NaOH$  (моль/л, г/л).

22. Розрахуйте вміст хрому в сталі (%) за результатами потенціометричного титрування, якщо в наважці сталі масою 2,5 г хром окиснили до хроматної кислоти ( $H_2CrO_4$ ), а потім відтитрували 0,103 н розчином ферум (II) сульфату.

V, мл	0	5,0	10,0	20,0	30,0	35,0	36,0	37,0	37,5	38,0	38,3	38,4	39,0	43,0	45,0
E, В	0,65	0,70	0,800	0,820	0,860	0,879	0,885	0,887	0,887	0,885	0,884	0,505	0,495	0,480	0,470

23. Розрахуйте потенціал водневого електрода, зануреного в 20 см<sup>3</sup> 0,1 М розчину  $H_3PO_4$ , при титруванні кислоти 0,1 М розчином NaOH. Додано титранту: а) 10 см<sup>3</sup>; б) 20 см<sup>3</sup>. Враховувати, що фосфатна кислота дисоціює за першим ступенем.

24. Визначить концентрацію йонів міді в розчині, якщо рівноважний потенціал мідного електрода в розчині  $CuSO_4$  при температурі 25<sup>0</sup>С дорівнює 0,281 В.

25. Побудуйте криву потенціометричного титрування в координатах  $pH = f(V)$  і  $\frac{\Delta pH}{\Delta V} = f(V)$ , визначить концентрацію  $CH_3COOH$  (г/л) в розчині, якщо при титруванні 10 мл розчину цієї кислоти 0,1 н КОН отримали наступні результати:

V(КОН), мл	10	13	14	14,50	14,9	15	15,1	15,5	16,00
pH	5,05	5,56	5,88	6,19	6,92	8,82	10,59	11,29	11,58

Таблиця 1.1 – Добуток розчинності електролітів за 25<sup>0</sup> С [2]

Електроліт	ДР
Al(OH) <sub>3</sub>	
AgCl	$1,78 \cdot 10^{-10}$
AgBr	$5,3 \cdot 10^{-13}$
Ag <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$1,3 \cdot 10^{-20}$
Al(OH) <sub>3</sub>	$1,0 \cdot 10^{-32}$
BaCrO <sub>4</sub>	$1,2 \cdot 10^{-10}$
BaSO <sub>4</sub>	$1,1 \cdot 10^{-10}$
CaCO <sub>3</sub>	$3,8 \cdot 10^{-9}$
CaF <sub>2</sub>	$4,0 \cdot 10^{-11}$
Ca <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	$2,0 \cdot 10^{-29}$
CaSO <sub>4</sub>	$2,5 \cdot 10^{-5}$
CaC <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	$2,3 \cdot 10^{-9}$
CuCO <sub>3</sub>	$2,5 \cdot 10^{-10}$
Fe(OH) <sub>2</sub>	$8 \cdot 10^{-16}$
Fe(OH) <sub>3</sub>	$6,3 \cdot 10^{-38}$
MgCO <sub>3</sub>	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Mg(OH) <sub>2</sub>	$7,1 \cdot 10^{-12}$
MgS	$2,0 \cdot 10^{-15}$
Mn(OH) <sub>2</sub>	$1,9 \cdot 10^{-13}$
MnCO <sub>3</sub>	$1,8 \cdot 10^{-11}$
PbCl <sub>2</sub>	$1,6 \cdot 10^{-5}$
PbF <sub>2</sub>	$2,7 \cdot 10^{-8}$
PbI <sub>2</sub>	$1,1 \cdot 10^{-9}$
PbCrO <sub>4</sub>	$1,8 \cdot 10^{-14}$
PbSO <sub>4</sub>	$1,6 \cdot 10^{-8}$
SrCrO <sub>4</sub>	$3,6 \cdot 10^{-5}$

**Таблиця 1.2 – Константи дисоціації електролітів за 25<sup>0</sup>С [2]**

Формула кислоти	$K_d$	Формула основи	$K_d$
H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	$K_I = 4,45 \cdot 10^{-7}, K_{II} = 4,69 \cdot 10^{-11}$	Al(OH) <sub>3</sub>	$K_{III} = 1,38 \cdot 10^{-9}$
HClO	$2,95 \cdot 10^{-8}$	Cr(OH) <sub>3</sub>	$K_{III} = 1,02 \cdot 10^{-10}$
HCN	$5,0 \cdot 10^{-10}$	Cu(OH) <sub>2</sub>	$K_{II} = 3,4 \cdot 10^{-7}$
HNO <sub>2</sub>	$6,9 \cdot 10^{-4}$	Fe(OH) <sub>2</sub>	$K_{II} = 1,3 \cdot 10^{-4}$
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	$K_I = 7,1 \cdot 10^{-3}, K_{II} = 6,2 \cdot 10^{-8}, K_{III} = 5,0 \cdot 10^{-13}$	Fe(OH) <sub>3</sub>	$K_{III} = 1,35 \cdot 10^{-12}$
H <sub>2</sub> S	$K_I = 1,0 \cdot 10^{-7}, K_{II} = 2,5 \cdot 10^{-13}$	NH <sub>4</sub> OH	$1,76 \cdot 10^{-5}$
H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	$K_I = 1,4 \cdot 10^{-2}, K_{II} = 6,2 \cdot 10^{-8}$	Zn(OH) <sub>2</sub>	$K_{II} = 4 \cdot 10^{-5}$
H <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (18 <sup>0</sup> С)	$K_I = 2,2 \cdot 10^{-10}, K_{II} = 1,6 \cdot 10^{-12}$		
HCOOH	$1,8 \cdot 10^{-4}$		
CH <sub>3</sub> COOH	$1,74 \cdot 10^{-5}$		
HOOC-COOH	$K_I = 5,6 \cdot 10^{-2}, K_{II} = 5,4 \cdot 10^{-5}$		

**Таблиця 1.3 – Значення  $\lambda_{0+}$  й  $\lambda_{0-}$  при 25<sup>0</sup>С (Ом<sup>-1</sup>·см<sup>2</sup>·моль-екв<sup>-1</sup>) [2]**

Катіони	$\lambda_{0+}$	Аніони	$\lambda_{0-}$
H <sup>+</sup>	349,8	OH <sup>-</sup>	198,3
K <sup>+</sup>	73,5	1/2SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	80,0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	73,6	Br <sup>-</sup>	78,1
1/2Pb <sup>2+</sup>	70,0	F <sup>-</sup>	55,6
1/3Fe <sup>3+</sup>	68,0	I <sup>-</sup>	78,8
Ag <sup>+</sup>	61,9	Cl <sup>-</sup>	76,4
1/2Zn <sup>2+</sup>	56,6	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	71,5
1/2Mg <sup>2+</sup>	53,0	1/2CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	69,3
Na <sup>+</sup>	50,1	CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	40,9

**Таблиця 1.4 – Стандартні електродні потенціали ( $\Phi^0$ ) у водних розчинах при 25°C [4]**

Електрод	Електродна реакція	$\Phi^0$ , В
Li <sup>+</sup> /Li	Li <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Li	-3,045
Rb <sup>+</sup> /Rb	Rb <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Rb	-2,925
K <sup>+</sup> /K	K <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → K	-2,925
Ca <sup>2+</sup> /Ca	Ca <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ca	-2,87
Na <sup>+</sup> /Na	Na <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Na	-2,714
Mg <sup>2+</sup> /Mg	Mg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Mg	-2,37
Be <sup>2+</sup> /Be	Be <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Be	-1,85
Al <sup>3+</sup> /Al	Al <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Al	-1,66
Zn <sup>2+</sup> /Zn	Zn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Zn	-0,763
Fe <sup>2+</sup> /Fe	Fe <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Fe	-0,440
Cd <sup>2+</sup> /Cd	Cd <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Cd	-0,403
Co <sup>2+</sup> /Co	Co <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Co	-0,27
Ni <sup>2+</sup> /Ni	Ni <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Ni	-0,24
Sn <sup>2+</sup> /Sn	Sn <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Sn	-0,140
Pb <sup>2+</sup> /Pb	Pb <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Pb	-0,126
<b>H<sup>+</sup>/1/2H<sub>2</sub></b>	<b>H<sup>+</sup> + e<sup>-</sup> → 1/2H<sub>2</sub></b>	<b>0,000</b>
Cu <sup>2+</sup> /Cu	Cu <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Cu	+0,337
Cu <sup>+</sup> /Cu	Cu <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Cu	+0,521
Ag <sup>+</sup> /Ag	Ag <sup>+</sup> + e <sup>-</sup> → Ag	+0,799
Hg <sup>2+</sup> /Hg	Hg <sup>2+</sup> + 2e <sup>-</sup> → Hg	+0,854
Au <sup>3+</sup> /Au	Au <sup>3+</sup> + 3e <sup>-</sup> → Au	+1,50

Номер варіанта	Номери завдань даного варіанта за розділами								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26	1	1	1	1
27	27	27	27	27	27	2	2	2	2
28	28	28	28	28	28	3	3	3	3
29	29	29	29	29	29	4	4	4	4
30	30	30	30	30	30	5	5	5	5
31	1	1	1	1	1	6	6	6	6
32	2	2	2	2	2	7	7	7	7

## Продовження додатка 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
33	3	3	3	3	3	8	8	8	8
34	4	4	4	4	4	9	9	9	9
35	5	5	5	5	5	10	10	10	10
36	6	6	6	6	6	11	11	11	11
37	7	7	7	7	7	12	12	12	12
38	8	8	8	8	8	13	13	13	13
39	9	9	9	9	9	14	14	14	14
40	10	10	10	10	10	15	15	15	15
41	11	11	11	11	11	16	16	16	16
42	12	12	12	12	12	17	17	17	17
43	13	13	13	13	13	18	18	18	18
44	14	14	14	14	14	19	19	19	19
45	15	15	15	15	15	20	20	20	20
46	16	16	16	16	16	21	21	21	21
47	17	17	17	17	17	22	22	22	22
48	18	18	18	18	18	23	23	23	23
49	19	19	19	19	19	24	24	24	24
50	20	20	20	20	20	25	25	25	25
51	21	21	21	21	21	1	1	1	1
52	22	22	22	22	22	2	2	2	2
53	23	23	23	23	23	3	3	3	3
54	24	24	24	24	24	4	4	4	4
55	25	25	25	25	25	5	5	5	5
56	26	26	26	26	26	6	6	6	6
57	27	27	27	27	27	7	7	7	7
58	28	28	28	28	28	8	8	8	8
59	29	29	29	29	29	9	9	9	9
60	30	30	30	30	30	10	10	10	10
61	1	1	1	1	1	11	11	11	11
62	2	2	2	2	2	12	12	12	12
63	3	3	3	3	3	13	13	13	13
64	4	4	4	4	4	14	14	14	14
65	5	5	5	5	5	15	15	15	15
66	6	6	6	6	6	16	16	16	16

## Закінчення додатка 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
67	7	7	7	7	7	17	17	17	17
68	8	8	8	8	8	18	18	18	18
69	9	9	9	9	9	19	19	19	19
70	10	10	10	10	10	20	20	20	20
71	11	11	11	11	11	21	21	21	21
72	12	12	12	12	12	22	22	22	22
73	13	13	13	13	13	23	23	23	23
74	14	14	14	14	14	24	24	24	24
75	15	15	15	15	15	25	25	25	25
76	16	16	16	16	16	1	1	1	1
77	17	17	17	17	17	2	2	2	2
78	18	18	18	18	18	3	3	3	3
79	19	19	19	19	19	4	4	4	4
80	20	20	20	20	20	5	5	5	5
81	21	21	21	21	21	6	6	6	6
82	22	22	22	22	22	7	7	7	7
83	23	23	23	23	23	8	8	8	8
84	24	24	24	24	24	9	9	9	9
85	25	25	25	25	25	10	10	10	10
86	26	26	26	26	26	11	11	11	11
87	27	27	27	27	27	12	12	12	12
88	28	28	28	28	28	13	13	13	13
89	29	29	29	29	29	14	14	14	14
90	30	30	30	30	30	15	15	15	15
91	1	1	1	1	1	16	16	16	16
92	2	2	2	2	2	17	17	17	17
93	3	3	3	3	3	18	18	18	18
94	4	4	4	4	4	19	19	19	19
95	5	5	5	5	5	20	20	20	20
96	6	6	6	6	6	21	21	21	21
97	7	7	7	7	7	22	22	22	22
98	8	8	8	8	8	23	23	23	23
99	9	9	9	9	9	24	24	24	24
100	10	10	10	10	10	25	25	25	25



## ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

- 1 Васильев В. П. Аналитическая химия. Сборник вопросов, упражнений и задач: пособие для вузов / В. П. Васильев, Л. А. Кочергина, Т. Д. Орлова; под ред. В. П. Васильева. – 4-е изд., стереотип. – Москва : Дрофа, 2006. – 318 с.
- 2 Гороновский И. Т. Краткий справочник по химии / И. Т. Гороновский, Ю. И. Назаренко, Е. Ф. Некряч. – Киев. Наук. Думка, 1987. – 829 с.
- 3 Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии: Справ. изд. – 6-е изд., перераб. и доп. / Ю. Ю. Лурье. – Москва : Химия, 1989. – 448 с.
- 4 Краткий справочник физико-химических величин / Под ред. К. П. Мищенко, А. А. Равделя. – 4-е изд. перераб. и доп. – Москва : Химия, 1965. – 160 с.
- 5 ДСанПіН 2.24-171-10. Гігієнічні вимоги до води, призначеної для споживання людиною централізованого господарсько-питного водопостачання.

*Навчальне видання*

Методичні вказівки  
до виконання самостійної і контрольних робіт  
з дисципліни

## **«ХІМІЯ З ОСНОВАМИ БІОГЕОХІМІЇ. МОДУЛЬ 2»**

*(для студентів 1–2 курсів денної та заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.040106 – Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування)*

Укладачі: **ЗАЙЦЕВА** Інна Сергіївна,  
**МУРАЄВА** Ольга Олексіївна,  
**ПАНАЙОТОВА** Тетяна Дмитрівна,  
**НАТ** Тетяна Павлівна

Відповідальний за випуск *Н. В. Мокрицька*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2014, поз. 96М

---

Підп. до друку 26.11.2014р.  
Друк на ризографі  
Зам. №

Формат 60 x 84/16  
Ум. друк. арк. 3,4  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: rectorat@kname.edu.ua  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4705 від 28.03.2014