

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

**Харчові технології та інженерія**  
Методичні вказівки  
до виконання розрахункової роботи з дисципліни  
**«Методи аналізу сировини та продукції  
харчових виробництв»**  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
спеціальності 181– Харчові технології  
Освітня програма «Харчові технології та інженерія»  
(Частина 1)

ЗАТВЕРДЖЕНО  
на засіданні кафедри  
харчових технологій  
протокол №10  
від 15.03.2021

Чернігів НУ «Чернігівська політехніка» 2021

Методичні вказівки до виконання розрахункової роботи з дисципліни «Методи аналізу сировини та продукції харчових виробництв» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 181 – Харчові технології. Освітня програма «Харчові технології та інженерія» // Укл.: В.М. Челябієва. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – 48с.

Укладач: ЧЕЛЯБІЄВА ВІКТОРІЯ МИКОЛАЇВНА, кандидат технічних наук, доцент

Відповідальний за випуск: ХРЕБТАНЬ ОЕНА БОРИСІВНА,  
завідувач кафедри харчових технологій  
кандидат технічних наук, доцент

Рецензент: Буяльська Наталія Павлівна, кандидат технічних наук, доцент  
кафедри харчових технологій НУ «Чернігівська політехніка»

**Зміст**

**Стор.**

<b>Вступ</b> .....	4
<b>Тема 1.</b> Еквівалентна маса сполук .....	6
<b>Тема 2.</b> Розчини.....	9
<b>Тема 3.</b> Окисно-відновні процеси.....	28
<b>Тема 4.</b> Комплексні сполуки .....	35
<b>Додатки</b> .....	41
<b>Рекомендована література</b> .....	48

## Вступ

Метою викладання навчальної дисципліни «Методи аналізу сировини та продукції харчових виробництв» є вивчення теоретичних основ аналізу сировини та готової продукції, експрес-методів аналізу, найбільш вживаних хімічних та інструментальних методів аналізу сировини та продукції харчових виробництв, для формування у майбутніх фахівців здатності організувати та проводити контроль якості і безпеки сировини, напівфабрикатів та харчових продуктів із застосуванням сучасних методів; здатності проводити дослідження в умовах спеціалізованих лабораторій для вирішення прикладних задач; набуття вміння визначати відповідність показників якості сировини, напівфабрикатів і готової продукції нормативним вимогам за допомогою сучасних методів аналізу (або контролю).

Виконання завдань запропонованої розрахункової роботи під час вивчення дисципліни дає змогу здобувачу вищої освіти досягти або вдосконалити наступні програмні результати навчання, передбачені освітньою програмою:

ПР 04. Проводити пошук та обробку науково-технічної інформації з різних джерел та застосовувати її для вирішення конкретних технічних і технологічних завдань.

ПР 19. Підвищувати ефективність роботи шляхом поєднання самостійної та командної роботи.

Запропоновані завдання включають розрахунок еквівалентної маси, відсоткової, нормальної, молярної концентрації розчину; розрахунок рН розчинів кислот, основ, солей тощо. Тобто запропоновані завдання підібрані таким чином, щоб навчити здобувача вищої освіти вирішувати ті питання, які постануть перед ним у практичній діяльності під час виконання аналізу сировини та готової продукції харчових виробництв. Адже потрібно вміти

правильно розрахувати і приготувати розчини реактивів для проведення аналізу, розрахувати або спрогнозувати кислотність середовища під час проведення титрометричних методів аналізу і т.і.

У методичних вказівках подані завдання з чотирьох тем. У кожній темі здобувач вищої освіти знайде перелік завдань для самостійного виконання. З кожного переліку завдань потрібно розв'язати одне завдання, яке відповідає порядковому номеру здобувача у списку академічної групи. Таким чином, у підсумку розрахункова робота кожного здобувача повинна містити 10 завдань. Кожне завдання оцінюється максимально у 2 бали. Отже, якщо правильно розв'язані усі завдання розрахункової роботи, то за її виконання можна отримати максимально 20 балів.

У кожній темі наведений теоретичні матеріал, приклади розв'язування завдань та різні способи оформлення розв'язаних завдань, що може бути корисним під час самостійної роботи над розрахунковою роботою.

Додатки, наведені в методичних вказівках, містять необхідні для розв'язування завдань довідникові дані: значення добутку розчинності, константи іонізації кислот і основ, константи нестійкості комплексних сполук, окисно-відновні потенціали.

## Тема 1. Еквівалентна маса сполук

*Еквівалентною масою* (або молярною масою еквіваленту)  $m_e$  називається маса одного еквівалента елементу (речовини). Таким чином, число еквівалентів виражають у молях, а еквівалентну масу – у г/моль.

Для простих речовин:  $m_e = M/(B \cdot n)$ ,

де  $M$  – молярна маса простої речовини, г/моль;  $B$  – валентність елементу, який складає просту речовину,  $n$  – число атомів елементу у простій речовині. Наприклад:  $m_e(\text{O}_2) = 32/(2 \cdot 2) = 8$  г/моль.

Для складних речовин:

$m_e$  (оксиду) =  $M_{\text{окс}}/(B \cdot n)$ ,

де  $M_{\text{окс}}$  – молярна маса оксиду, г/моль;  $B$  – валентність металу або неметалу, який утворює оксид,  $n$  – кількість атомів металу або неметалу, який утворює оксид. Наприклад,  $m_e(\text{CaO}) = M/(2 \cdot 1) = 56/2 = 28$  г/моль.

$m_e$  (кислоти або основи) =  $M/n$ ,

де  $M$  – молярна маса кислоти або основи, г/моль;  $n$  – основність кислоти (кількість атомів водню) або кислотність основи (кількість гідроксильних груп). Наприклад,  $m_e(\text{H}_2\text{SO}_4) = M/2 = 98/2 = 49$  г/моль;  $m_e(\text{Ca}(\text{OH})_2) = M/2 = 74/2 = 37$  г/моль.

$m_e$  (солі) =  $M_{\text{солі}}/B \cdot n$ ,

де  $M_{\text{солі}}$  – молярна маса солі, г/моль;  $B$  – валентність металу, який входить до складу солі,  $n$  – кількість атомів металу. Наприклад,  $m_e(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = M/(2 \cdot 3) = 342/6 = 57$  г/моль.

$m_e$  (йону) =  $M_{\text{йону}}/z$ ,

де  $M_{\text{йону}}$  – молярна маса йону, г/моль;  $z$  – заряд йону.

Наприклад:  $m_e(\text{SO}_4^{2-}) = M/2 = 98/2 = 48$  г/моль.

Масу еквівалентну речовини можна розрахувати, як суму еквівалентних мас йонів. Наприклад:  $m_e(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = m_e(\text{Al}^{3+}) + m_e(\text{SO}_4^{2-}) = 27/3 + 98/2 = 57$  г/моль.

*Еквівалент речовини можна розрахувати з виразу  $E = m_e/M$ , а число еквівалентів – з виразу  $\nu_e = m/m_e$ , основність –  $n_e = M/m_e$ .*

Наприклад, еквівалент сполуки (E)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 = m_e(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)/M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 1/6$ , а число еквівалентів ( $n_e$ ) =  $m_e(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)/M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 6$ .

## 1.1 Приклади розв'язання завдань

**Приклад.** Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук: NaCl, Cl<sub>2</sub>O, NaOH, O<sub>3</sub>, CuCO<sub>3</sub>, NH<sub>3</sub>.

Дано:	Розв'язання
NaCl	1. Знайдемо масу еквіваленту NaCl:
Cl <sub>2</sub> O	$M_{\text{екв}} \text{ NaCl} = \frac{M(\text{NaCl})}{n(\text{Na}) \cdot B(\text{Na})} = \frac{48,5}{1 \cdot 1} = 48,5 \text{ г/моль}$
NaOH	2. Знайдемо масу еквіваленту Cl <sub>2</sub> O:
O <sub>3</sub>	$M_{\text{екв}} \text{ Cl}_2\text{O} = \frac{M(\text{Cl}_2\text{O})}{n(\text{Cl}) \cdot B(\text{Cl})} = \frac{87}{2 \cdot 1} = 43,5 \text{ г/моль}$
CuCO <sub>3</sub>	3. Знайдемо масу еквіваленту NaOH:
NH <sub>3</sub>	$M_{\text{екв}} \text{ NaOH} = \frac{M(\text{NaOH})}{n(\text{OH})} = \frac{40}{1} = 40 \text{ г/моль}$
$M_{\text{екв}}(\text{NaCl}) - ?$	4. Знайдемо масу еквіваленту O <sub>3</sub> :
$M_{\text{екв}}(\text{Cl}_2\text{O}) - ?$	$M_{\text{екв}} \text{ O}_3 = \frac{M(\text{O}_3)}{n(\text{O}) \cdot B(\text{O})} = \frac{48}{2 \cdot 3} = 8 \text{ г/моль}$
$M_{\text{екв}}(\text{NaOH}) - ?$	5. Знайдемо масу еквіваленту CuCO <sub>3</sub> :
$M_{\text{екв}}(\text{O}_3) - ?$	$M_{\text{екв}} \text{ CuCO}_3 = \frac{M(\text{CuCO}_3)}{n(\text{Cu}) \cdot B(\text{Cu})} = \frac{124}{1 \cdot 2} = 62 \text{ г/моль}$
$M_{\text{екв}}(\text{CuCO}_3) - ?$	6. Знайдемо масу еквіваленту NH <sub>3</sub> :
$M_{\text{екв}}(\text{NH}_3) - ?$	$M_{\text{екв}} \text{ NH}_3 = \frac{M(\text{NH}_3)}{n(\text{N}) \cdot B(\text{N})} = \frac{17}{1 \cdot 3} = 5,7 \text{ г/моль}$

## 1.2 Завдання для самостійного виконання

- Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук: HClO<sub>3</sub>, MgO, Mn<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, CrO, KHSO<sub>3</sub>, KOH.
- Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук: As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Na<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, BaSO<sub>4</sub>, Pb(HSO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>, Cr(OH)<sub>3</sub>, HCl
- Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук: H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, HClO<sub>3</sub>, CuO, K<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub>, Cu(OH)<sub>3</sub>, CO<sub>2</sub>

4. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $K_2CO_3$ ,  $MnO_2$ ,  $BaO_2$ ,  $HMnO_4$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $O_2$ .
5. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $CuSO_4$ ,  $AgNO_3$ ,  $K_3PO_4$ ,  $Ba(OH)_2$ ,  $H_2O$ ,  $I_2$ .
6. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $CaCl_2$ ,  $Zn_2(OH)_2CO_3$ ,  $H_3PO_4$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $Zn(OH)_2$ .
7. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $Na_2SO_4$ ,  $AgNO_3$ ,  $Na_3PO_4$ ,  $SrCl_2$ ,  $SO_2$ ,  $Cl_2$ .
8. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $(CuOH)_2CO_3$ ,  $KHS$ ,  $K_2S$ ,  $BaCrO_4$ ,  $Ca_2P_2O_7$ ,  $Al(OH)_3$ .
9. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $Mg(OH)_2$ ,  $Al(OH)_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CO$ ,  $Ca$ ,  $AlCl_3$ .
10. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $Zn(NO_3)_2$ ,  $NaH_2SbO_4$ ,  $NH_4OH$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Al(OH)_3$ ,  $H_2$ .
11. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $H_2SO_4$ ,  $HClO$ ,  $CO_2$ ,  $Ba(OH)_2$ ,  $K_4P_2O_7$ ,  $HMnO_4$ .
12. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $NO_2$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $Cd(OH)_2$ ,  $H_3PO_4$ ,  $Fe(OH)_3$ ,  $Zn$ .
13. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $NaCl$ ,  $Cl_2O$ ,  $NaOH$ ,  $O_3$ ,  $Cu(CO)_3$ ,  $NH_3$ .
14. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $SO_3$ ,  $N_2O_3$ ,  $K_2Cr_2O_7$ ,  $Ni(OH)_2$ ,  $N_2$ ,  $LiOH$ .
15. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $H_2SeO_4$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $HMnO_4$ ,  $N_2O_3$ ,  $KOH$ ,  $P_2O_5$ .
16. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $H_2MnO_4$ ,  $Ca_3(PO_4)_2$ ,  $HClO_3$ ,  $KI$ ,  $HNO_2$ ,  $Na$ .
17. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $Al_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $Fe(OH)_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2SO_4$ ,  $Mn(OH)_2$ .
18. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $Ni(NO_3)_2$ ,  $Mg_3(PO_4)_2$ ,  $CO$ ,  $Pb(OH)_2$ ,  $Ca$ ,  $NaHCO_3$ .
19. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $AgCl$ ,  $K_2CO_3$ ,  $CuO$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Ca(OH)_2$ ,  $SO_2$ .
20. Розрахуйте масу еквівалентну наступних сполук:  $H_2SiO_3$ ,  $Pb(NO_3)_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $Ba$ ,  $NaHCO_3$ ,  $H_2O$ .



## Тема 2. Розчини

Основними способами вираження концентрації розчинів є:

– **масова частка (W)** – це відношення маси розчиненої речовини до маси розчину:

$$W = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \text{ або } W\% = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot 100\%,$$

де  $m_1$  – маса розчинника, г;  $m_2$  – маса розчиненої речовини, г;

– **молярна концентрація ( $C_M$ )** – це кількість молів розчиненої речовини в 1 л розчину, моль/л:

$$C_M = \frac{\nu}{V} = \frac{m_2}{M_2 \cdot V},$$

де  $\nu$  – кількість молів розчиненої речовини, моль;  $V$  – об'єм розчину, л;  $m_2$  – маса розчиненої речовини, г;  $M_2$  – молярна маса розчиненої речовини, г/моль;

– **молярна концентрація еквіваленту або нормальність ( $C_H$ )** – це кількість моль-еквівалентів розчиненої речовини в 1 л розчину, моль/л або моль-екв/л:

$$C_H = \frac{m_2}{m_e \cdot V},$$

де  $m_e$  – еквівалентна маса, г/моль;  $m_2$  – маса розчиненої речовини, г;  $V$  – об'єм розчину, л;

– **титр розчину (T)** – це маса розчиненої речовини, яка міститься у 1 см<sup>3</sup> розчину:

$$T = \frac{C_H \cdot m_e}{1000} \text{ або } T = \frac{m}{V}$$

де  $C_H$  – молярна концентрація еквіваленту розчиненої речовини, моль/л;  $m_e$  – еквівалентна маса, г/моль;  $m$  – маса розчиненої речовини, г;  $V$  – об'єм розчину, мл.

При переході від одного способу вираження концентрації до іншого користуються формулами:

$$C_M = \frac{W\% \cdot 10 \cdot \rho}{M_2}; C_H = \frac{W\% \cdot 10 \cdot \rho}{m_e}; W\% = \frac{C_M \cdot M_2}{10 \cdot \rho}; W\% = \frac{C_H \cdot m_e}{10 \cdot \rho}; C_M = \frac{C_H \cdot m_e}{M}$$

**Водневий або гідроксильний показники** рН і рОН відповідно обчислюють за формулами:

рН сильних кислот обчислюють за формулою:

$$pH = -\lg[H^+],$$

де  $[H^+]$  – молярна концентрація (См) кислоти

рН сильних основ за формулою:

$$pH = 14 - pOH,$$

де рОН =  $-\lg[OH^-]$ , а  $[OH^-]$  – См основи.

Наприклад:  $C_M(HCl) = 10^{-5}$  моль/л, тоді  $pH = -\lg[H^+] = -\lg 10^{-5} = 5$ .

Отже, в нейтральному середовищі (розчині) рН = 7; у кислому – рН < 7 і у лужному рН > 7. Сума рН + рОН = 14.

Для слабких кислот  $[H^+] = \sqrt{K_a C}$ , тому рН слабких кислот обчислюють за формулою:  $pH = 1/2 pK_a - 1/2 \lg C_a$ , де  $pK_a = -\lg K_a$  ( $K_a$  – константа іонізації кислоти, див. Додаток Б),  $C_a$  – молярна концентрація кислоти, моль/л.

Для слабкої основи:

$pH = 14 - 1/2 pK_b + 1/2 \lg C_b$ , де  $pK_b = -\lg K_b$  ( $K_b$  – константа іонізації основи, див. Додаток Б),  $C_b$  – молярна концентрація основи, моль/л.

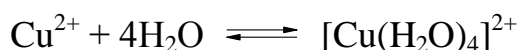
**Гідроліз** – це оборотний процес взаємодії речовин з водою (солі, вуглеводи, білки, естери, жири та ін.), що призводить до утворення нового слабого електроліту і зміщення йонної рівноваги води.

**Гідроліз за катіоном.** Катіони металів існують у водних розчинах у вигляді аквакомплексів певного складу. Наприклад:  $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ ,  $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$  тощо, у яких молекули води зв'язані з центральним атомом (катіоном металу) ковалентними зв'язками, утвореними за донорно-акцепторним механізмом (катіон – акцептор, молекули води – донори електронних пар).

Подальша гідратація таких аквакомплексів здійснюється за рахунок водневих зв'язків. Наприклад:

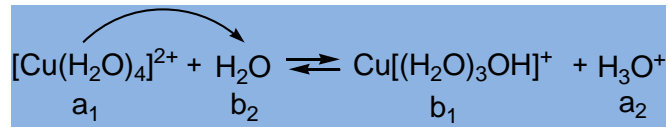


йон  $Cu^{2+}$  утворює з молекулами води аквакомплекс

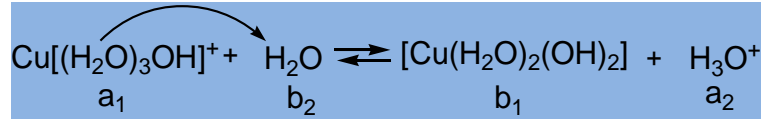


Центральний атом  $Cu^{2+}$  поляризує зв'язок  $-O-H^{\delta+}$  у молекулі води, координований біля нього, відштовхуючи від себе позитивно поляризований атом Гідрогену, що призводить до послаблення і розриву цього зв'язку і переносу протону на молекулу води у гідратній оболонці (з утворенням  $H_3O^+$ ).

Перша стадія:



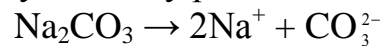
Друга стадія:



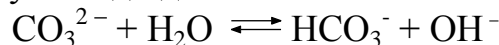
Гідролізу за катіоном піддаються солі, утворені слабкими основами. Для них характерна така закономірність: чим менше  $K_b$  (або більше  $pK_b$ ) основи тим більше гідролізується сіль. Солі, утворені сильними основами, гідролізу за катіоном не піддаються.

**Гідроліз за аніоном.** Гідратація аніонів здійснюється за рахунок водневих зв'язків, утворених негативно поляризованим атомом аніона і позитивно поляризованим атомом Гідрогену молекули води у гідратній оболонці невизначеного складу (залежить від низки умов).

Наприклад, карбонат натрію у водному розчині дисоціює на йони:



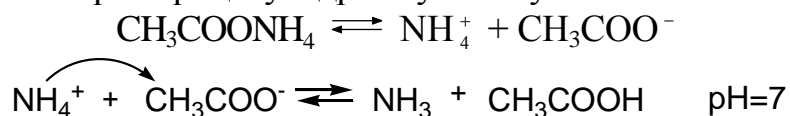
Негативно заряджений  $\text{CO}_3^{2-}$ -йон притягує до себе позитивно поляризований атом водню молекули води, додатково поляризує її з перетворенням водневого зв'язку у ковалентний, в результаті чого протон переноситься від молекули води до аніона за схемою:



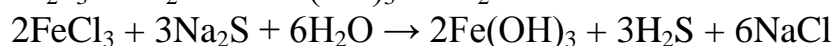
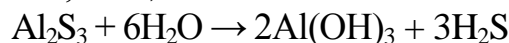
Реакція середовища лужна, що зумовлено накопиченням у розчині  $\text{OH}^-$ -йонів.

Чим більший заряд і менший розмір аніона, тим краще гідролізується сіль. Такі реакції найбільш характерні для аніонів  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{CN}^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  та ін., тобто гідролізу за аніоном піддаються солі, утворені слабкою кислотою. Для них характерна така закономірність: чим менше  $K_a$  (або більше  $pK_a$ ) кислоти тим краще гідролізується сіль.

**Сіль слабкої кислоти і слабкої основи** гідролізується і за катіоном і за аніоном сумарний вираз процесу гідролізу записують таким чином:



Більшість солей такого типу повністю розкладаються водою і процес гідролізу стає необоротним, що особливо є характерним для сульфідів і карбонатів  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ .



**Добуток розчинності** – це стала за даної температури величина, що кількісно характеризує здатність малорозчинних електролітів до розчинення і визначається добутком концентрацій іонів, піднесених до відповідних степенів.

У загальному вигляді вираз добутку розчинності насиченого розчину малорозчинної речовини  $K_xA_y$ , що розпадається на йони за рівнянням  $K_xA_y \rightleftharpoons xK^{y+} + yA^{x-}$ , матиме вигляд:

$$DP_{K_xA_y} = [K^{y+}]^x [A^{x-}]^y$$

де  $[K^{y+}]$  – молярна концентрація катіону, моль/л;

$[A^{x-}]$  – молярна концентрація аніону, моль/л;

$x$  та  $y$  – коефіцієнти з рівняння дисоціації.

Значення добутків розчинності для різних сполук наводяться у спеціальних довідниках чи обчислюються за розчинністю речовин. І навпаки, виходячи із величини ДР, можна розрахувати розчинність будь-якої малорозчинної солі.

Чим менша величина добутку розчинності ДР солі, тим гірше ця сіль розчиняється у воді.

Оскільки ДР солі при певній температурі є сталою величиною, то підвищення концентрації одного із іонів, що міститься у її розчині, призводить до зменшення концентрації іншого іона.

## 2.1 Приклади розв'язання завдань

### Концентрація р-чину (масова частка)

**Приклад 1** Яку масу натрій хлориду та води потрібно взяти для приготування 460г розчину з масовою часткою NaCl 15 %?

Дано:

$m(\text{р-ну}) = 460 \text{ г}$

$w(\text{NaCl}) = 15 \%$

Розв'язання

1. Знайдемо масу NaCl:

$$m_{\text{NaCl}} = m_{\text{р-ну}} \cdot w_{\text{NaCl}} = 460 \cdot 0,15 = 69 \text{ г}$$

2. Знайдемо масу води:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{р-ну}} - m_{\text{NaCl}} = 460 - 69 = 391 \text{ г}$$

Відповідь: NaCl 69 г, води 391 г.

**Приклад 2.** Обчислити: а) відсоткову, б)  $C_M$ ,  $C_H$  концентрації розчину  $H_3PO_4$ , одержаного при розчиненні 18 г кислоти у 282 мл води, якщо густина розчину  $1,031 \text{ г/см}^3$ .

**Розв'язування:**  $W = \frac{m(H_3PO_4)}{m(\text{р-ну})} \cdot 100\%$ ;  $C_M = \nu/V$ , моль/л;

$C_H = \nu_{\text{екв}}/V$ , моль · „eq”/л;  $m(\text{р-ну}) = 18 \text{ г} + 282 \text{ г} = 300 \text{ г}$

$V(\text{р-ну}) = 300 \text{ г} / 1,031 \text{ г/см}^3 = 291 \text{ мл}$  або  $0,291 \text{ л}$

Тоді  $W = \frac{18\text{г}}{300\text{г}} \cdot 100\% = 6\%$ ;  $\nu = \frac{m(H_3PO_4)}{M(H_3PO_4)} = \frac{18\text{г}}{98\text{г/моль}} = 0,184$

$\nu_{\text{екв}} = \frac{m(H_3PO_4)}{m_e(H_3PO_4)} = \frac{18\text{г}}{32,6\text{г/моль"eq"}} = 0,552 \text{ моль"eq"}$

Звідки:  $C_M = 0,184 \text{ моль} / 0,291 \text{ л} = 0,63 \text{ моль /л}$ ;

$C_H = 0,552 \text{ моль} \cdot \text{„eq”} / 0,291 \text{ л} = 1,90 \text{ моль} \cdot \text{„eq”/л}$ ;

Відповідь:  $W = 6\%$ ;  $C_M = 0,63 \text{ моль /л}$ ;  $C_H = 1,90 \text{ моль} \cdot \text{„eq”/л}$ .

### Дисоціація

**Приклад 1.** Обчислити концентрацію  $K^+$ ,  $Al^{3+}$  і  $SO_4^{2-}$  іонів у розчині  $KAl(SO_4)_2$  з  $C_M = 0,6$  та  $C_{\text{заг}}$ .

Дано:

$C_M(KAl(SO_4)_2) = 0,6 \text{ моль/л}$

$[K^+] - ?$

$[Al^{3+}] - ?$

$[SO_4^{2-}] - ?$

$C_{\text{заг}} - ?$

Розв'язання



1. Знайдемо концентрацію  $K^+$  і  $Al^{3+}$ :

$K^+ = Al^{3+} = C_M(KAl(SO_4)_2) = 0,6 \text{ моль/л}$

2. Знайдемо концентрацію  $SO_4^{2-}$ :

$SO_4^{2-} = \vartheta SO_4^{2-} \cdot C_M(KAl(SO_4)_2) = 2 \cdot 0,6$   
 $= 1,2 \text{ моль/л}$

3. Знайдемо загальну концентрацію іонів:

$$C_{\text{заг}} = K^+ + Al^{3+} + SO_4^{2-} = 0,6 + 0,6 + 1,2 = 2,4 \text{ моль/л}$$

Відповідь: 0,6; 1,2; 2,4 моль/л.

**Приклад 2.** Ферум (III) сульфат у водному розчині дисоціює повністю. Обчислити концентрацію іонів, які містяться у розчині  $Fe_2(SO_4)_3$  з  $C_M = 0,5$ .

**Розв'язування:** Дисоціація на іони:  $Fe_2(SO_4)_3 \rightarrow 2Fe^{3+} + 3SO_4^{2-}$ ,

тому  $C_{Fe^{3+}} = 0,5 \cdot 2 = 1 \text{ моль/л}$ ;  $C_{SO_4^{2-}} = 0,5 \cdot 3 = 1,5 \text{ моль/л}$ ;

$$C_{\text{заг}} = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ моль/л}$$

Відповідь: 1; 1,5; 2,5 моль/л.

### *Гідроліз солей*

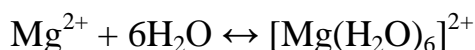
**Приклад.** Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $MgSO_4$  (к.ч. 6),  $Na_2CO_3$ .

Гідроліз  $MgSO_4$ :

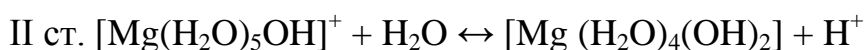
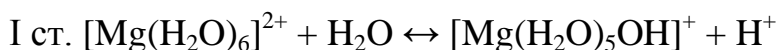
1. Дисоціація солі:  $MgSO_4 \leftrightarrow 2Mg^{2+} + 2SO_4^{2-}$

Сіль утворена слабкою основою і сильною кислотою.

2. Гідратація катіону  $Mg^{2+}$ :



3. Гідроліз за катіоном:



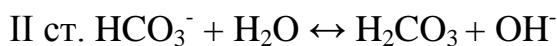
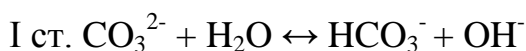
Реакція середовища –  $pH < 7$  – кисле

Гідроліз  $Na_2CO_3$ :

1. Дисоціація солі:  $Na_2CO_3 \leftrightarrow 2Na^+ + CO_3^{2-}$

Сіль утворена сильною основою і слабкою кислотою

2. Гідроліз за аніоном:



Реакція середовища – рН > 7 – лужне

### Водневий показник

**Приклад.** Обчислити рН розчину калій гідроксиду з  $C_M = 0,0025$ , прийнявши, що КОН дисоціює повністю.

#### Розв'язування:

КОН сильна основа, користуємось формулою  $pOH = -\lg[OH^-]$ ;

$[OH^-] = C_M = 0,0025 = \text{моль-іон/л.}$

$pOH = -\lg 2,5 \cdot 10^{-3} = 2,6.$

Тоді  $pH = 14 - 2,6 = 11,4.$

Відповідь:  $pH = 11,4$

### Добуток розчинності

**Приклад 1.** Добуток розчинності AgI складає  $1,5 \times 10^{-16}$ . Обчислити розчинність AgI у моль/л і г/л.

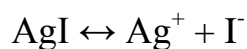
Дано:

$$DP(AgI) = 1,5 \cdot 10^{-16}$$

$$S_1(AgI) - ?$$

$$S_2(AgI) - ?$$

Розв'язання



1. Знайдемо розчинність AgI в моль/л:

$$\begin{aligned} S_1 AgI &= \sqrt{DP AgI} = \sqrt{1,5 \cdot 10^{-16}} \\ &= 1,2 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л} \end{aligned}$$

2. Знайдемо розчинність AgI в г/л:

$$S_2 AgI = S_1 AgI \cdot M AgI = 1,2 \cdot 10^{-8} \cdot 235 = 2,8 \cdot 10^{-6} \text{ г/л}$$

**Відповідь:**  $1,2 \times 10^{-8}$  моль/л;  $2,8 \times 10^{-6}$  г/л.

**Приклад 2.** Розчинність BaSO<sub>4</sub> складає  $2,33 \cdot 10^{-3}$  г/л. Обчислити  $DP_{BaSO_4}$ .

**Розв'язування:** записують, чому дорівнює добуток розчинності BaSO<sub>4</sub>:

$$DP_{BaSO_4} = [Ba^{2+}][SO_4^{2-}]$$

Обчислюють молярну концентрацію BaSO<sub>4</sub>:

$$v_{BaSO_4} = 2,33 \cdot 10^{-3} / 233 = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Звідки:  $DP_{BaSO_4} = [Ba^{2+}][SO_4^{2-}] = (1,0 \cdot 10^{-5})^2 = 1,0 \cdot 10^{-10}$

**Відповідь:**  $1,0 \cdot 10^{-10}$ .

**Приклад 3.**  $DP_{PbI_2} = 8,0 \cdot 10^{-9}$ . Обчислити розчинність солі у моль/л і г/л.

**Розв'язування:** Позначають розчинність через  $S$  (моль/л). Тоді, у насиченому розчині  $PbI_2$ , буде міститися  $S$  моль/л  $Pb^{2+}$  - іонів і  $2S$  моль/л  $I^-$  - іонів. Звідки:

$$DP_{PbI_2} = [Pb^{2+}][I^-]^2 = S \cdot (2S)^2 = 4S^3$$

$$\text{Тоді: } S = \sqrt[3]{DP_{PbI_2} / 4} = \sqrt[3]{8,0 \cdot 10^{-9} / 4} = \sqrt[3]{2 \cdot 10^{-9}} = 1,3 \cdot 10^{-3}, \text{ моль/л}$$

$M_{PbI_2} = 461$  г/моль, звідки розчинність  $PbI_2$  складе:  $1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 461 = 0,6$  г/л.

**Відповідь:** 0,6 г/л.

**Приклад 4.** Обчислити  $[Ag^+]$  у насиченому розчині  $AgCl$ , що містить  $NaCl$  у концентрації 0,1 моль/л.

**Розв'язування:** У даному випадку  $[Ag^+] \neq [Cl^-]$ , оскільки  $[Cl^-]$  значно більша завдяки наявності у розчині солі  $NaCl$  і буде дорівнювати сумі концентрацій  $Cl^-$ -іонів, одержаних за реакціями:



Оскільки сіль  $NaCl$  повністю дисоціює на іони, тоді  $[Cl^-] = 0,1$  моль/л (нехтуючи  $[Cl^-]$  із  $AgCl$ ). Оскільки  $DP_{AgCl} = 1,56 \cdot 10^{-10}$  (див. Додаток К), можна записати:  $DP = [Ag^+] \cdot 0,1 = 1,56 \cdot 10^{-10}$ , звідки:

$$[Ag^+] = 1,56 \cdot 10^{-10} / 0,1 = 1,56 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л}$$

**Відповідь:** Таким чином, якщо в 1 л насиченого розчину  $AgCl$  міститься

$[Ag^+] = [Cl^-] = \sqrt{1,56 \cdot 10^{-10}} = 1,25 \cdot 10^{-5}$  моль/л  $Ag^+$ - і  $Cl^-$ -іонів, то у розчині солі  $NaCl$  (0,1 моль), концентрація  $Cl^-$ -іонів буде більше:

$[Cl^-] > 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1 = 1,25 \cdot 10^{-6} \approx 10000$  разів, тоді як концентрація  $Ag^+$ -іонів буде на цю величину меншою ( $< \approx 10000$  разів).

**Приклад 5.** Обчислити розчинність  $CaSO_4$  у воді і у розчині  $NaCl$  з  $C_M = 0,1$ .

**Розв'язування:** Якщо ввести в насичений розчин малорозчинного електроліту будь-яку сіль, то міжйонні сили взаємодії зростуть. Внаслідок цього коефіцієнти активності іонів понизяться і, якщо вони були рівними одиниці, стануть менше одиниці. Це приведе до зростання величини добутку розчинності малорозчинної речовини порівняно з величиною її добутку розчинності у



чистій воді. Збільшення добутку розчинності електроліту у сольовому розчині, насиченому сторонніми іонами, викликає підвищену розчинність електроліту.

а) Розчинність  $\text{CaSO}_4$  у воді:

$$DP_{\text{CaSO}_4} = 6,26 \cdot 10^{-5}; [\text{Ca}^{2+}] = \sqrt{6,26 \cdot 10^{-5}} = 7,9 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

$$m_{\text{CaSO}_4} = 7,9 \cdot 10^{-3} \cdot 136 \approx 1,08 \text{ г/л}$$

б) Розчинність  $\text{CaSO}_4$  у розчині  $\text{NaCl}$  з  $C_M = 0,1$  ( $I=0,1$ ,  $f = 0,44$  – див. таблицю 3.5):

$$DP_{\text{CaSO}_4} = [\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] \cdot f_{\text{Ca}^{2+}} \cdot f_{\text{SO}_4^{2-}};$$

$$[\text{Ca}^{2+}] = \frac{\sqrt{DP_{\text{CaSO}_4}}}{f} = \frac{7,9 \cdot 10^{-3}}{0,44} = 1,8 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

$$m_{\text{CaSO}_4} = 1,8 \cdot 10^{-2} \cdot 136 \approx 2,45 \text{ г/л}$$

**Відповідь:** Таким чином, розчинність  $\text{CaSO}_4$  у розчині  $\text{NaCl}$  з  $C_M = 0,1$  зросте порівняно з розчинністю у воді приблизно у 2,3 рази ( $1,8 \cdot 10^{-2} / 7,9 \cdot 10^{-3} \approx 2,3$ ).

### Промивання осадів

**Приклад.** Осад  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  промили 250 мл 1 %-ного розчину  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ . Скільки грамів  $\text{Ca}^{2+}$ -іонів буде втрачено із осаду  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  за рахунок розчинення його у промивній рідині?

Дано:

$$V(\text{р-ну}) = 250 \text{ мл}$$

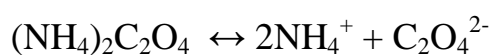
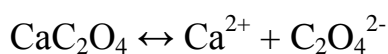
$$w((\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4) = 1 \%$$

$$\rho(\text{р-ну}) = 1 \text{ г/мл}$$

$$DP(\text{CaC}_2\text{O}_4) = 2,3 \cdot 10^{-9}$$

$$m(\text{Ca}^{2+}) - ?$$

Розв'язання



1. Знайдемо масу розчину  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ :

$$m_{\text{р-ну}} = V_{\text{р-ну}} \cdot \rho_{\text{р-ну}} = 250 \cdot 1 = 250 \text{ г}$$

2. Знайдемо масу  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ :

$$m((\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4) = m_{\text{р-ну}} \cdot w((\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4) = 250 \cdot 0,01 = 2,5 \text{ г}$$

3. Знайдемо молярну концентрацію  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ :

$$C_M(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 = \frac{m(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4}{M(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot V_{\text{р-ну}}} = \frac{2,5}{124 \cdot 0,25}$$

$$= 8,1 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

4. Знайдемо молярну концентрацію  $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ :

$$\text{C}_2\text{O}_4^{2-} = C_M(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 = 8,1 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

5. Знайдемо молярну концентрацію  $\text{Ca}^{2+}$ :

$$\text{Ca}^{2+} = \frac{\text{ДР CaC}_2\text{O}_4}{\text{C}_2\text{O}_4^{2-}} = \frac{2,3 \cdot 10^{-9}}{8,1 \cdot 10^{-2}} = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л}$$

6. Знайдемо масу  $\text{Ca}^{2+}$ :

$$m \text{ Ca}^{2+} = \text{Ca}^{2+} \cdot M \text{ Ca}^{2+} \cdot V_{\text{р-ну}} = 2,8 \cdot 10^{-8} \cdot 40 \cdot 0,25 = 3,2 \cdot 10^{-7} \text{ г}$$

**Відповідь:**  $3,2 \times 10^{-7} \text{ г}$ .

### 2.2.1 Завдання для самостійного виконання. Концентрація рзчину (масова частка)

- Скільки грамів калій хлориду потрібно додати до 450 г 8%-ного розчину тієї самої солі, щоб одержати 12%-ний розчин?  
Відповідь: 20,45 г.
- Із 10 кг 20%-ного розчину при охолодженні викристалізувалось 400 г солі. Чому дорівнює відсоткова концентрація охолодженого розчину?  
Відповідь: 16,7%.
- У якій масі води необхідно розчинити 40 г калій броміду для одержання 4%-ного розчину?  
Відповідь: 960 г.
- Із 400 г 50%-ного розчину сульфатної кислоти випарували 100 г води. Чому дорівнює відсоткова концентрація цього розчину?  
Відповідь: 66,7%.
- До 3 л 10%-ного розчину  $\text{HNO}_3$  (густиною  $1,054 \text{ г/см}^3$ ) додали 5 л 2%-ного розчину тієї самої кислоти (густиною  $1,009 \text{ г/см}^3$ ). Обчислити відсоткову і молярну концентрації одержаного розчину, об'єм якого дорівнює 8 л.  
Відповідь: 5%;  $C_M = 0,82$ .
- У якій масі води потрібно розчинити 67,2 л гідроген хлориду (н.у.), щоб одержати 9%-ний розчин хлоридної кислоти?  
Відповідь: 1107 г.

7. Змішали 300 г 20%-ного розчину і 500 г 40%-ного розчину натрій хлориду. Чому дорівнює відсоткова концентрація одержаного розчину?  
Відповідь: 32,5%.
8. Який об'єм води необхідно додати до 100 мл 20%-ного розчину сульфатної кислоти (густина 1,14 г/см<sup>3</sup>), щоб одержати 5%-ний розчин?  
Відповідь: 342 мл.
9. Яку масу натрій нітрату необхідно розчинити у 400 г води, щоб приготувати 20%-ний розчин?  
Відповідь: 100 г.
10. До 950 г води додали 50 мл 48%-ного розчину сульфатної кислоти (густина 1,38 г/см<sup>3</sup>). Обчислити відсотковий вміст сульфатної кислоти в одержаному розчині.  
Відповідь: 3,25%.
11. У 180 г води розчинили 60 г цукру. Яка масова частка (%) розчиненого цукру в розчині?  
Відповідь: 25%
12. Визначити відсоткову концентрацію розчину, одержаного змішуванням 300 г 25%-ного і 400 г 40%-ного розчинів.  
Відповідь: 33,6%.
13. Яку масу натрій хлориду та води потрібно взяти для приготування 460г розчину з масовою часткою NaCl 15 %?  
Відповідь: NaCl 69 г, воді 391 г.
14. Скільки молів води необхідно додати до 1,6 кг 25%-ного розчину натрій гідроксиду для одержання 16%-ного розчину?  
Відповідь: 50 моль.
15. Із 750 кг 48%-ного розчину сульфатної кислоти випарували 300 кг води. Визначити відсотковий вміст сульфатної кислоти в одержаному розчині.  
Відповідь: 80%.
16. У якій масі води необхідно розчинити 50 г сульфатної кислоти, щоб одержати 10%-ний розчин?  
Відповідь: 25 моль.
17. Змішали 247 г 62%-ного і 145 г 18%-ного розчинів сульфатної кислоти. Яка відсоткова концентрація одержаного розчину?  
Відповідь: 45,72%.
18. Скільки грамів 32%-ного розчину нітратної кислоти необхідно додати до 600 г 80%-ного розчину тієї самої кислоти, щоб одержати 64%-ний розчин?  
Відповідь: 300 г.
19. Визначте масу води, яка потрібна для приготування 500 г розчину калій нітрату з масовою часткою солі 0,25.  
Відповідь : 375 г.

20. Визначте масу води, яка потрібна для приготування 250 г розчину калій нітрату з масовою часткою солі 0,28.

Відповідь : 180 г.

### 2.2.2 Завдання для самостійного виконання. Дисоціація

1. Концентрація  $Al^{3+}$ -іонів дорівнює 0,2 моль/л. Обчислити масу  $Al^{3+}$ - іонів, які містяться у 1 л розчину.

Відповідь: 5,4 г.

2. Обчислити концентрацію  $K^+$ -іонів і  $Cl^-$ -іонів та загальну концентрацію іонів у розчині  $KCl$  з  $C_M = 0,5$ .

Відповідь:  $C_{K^+} = C_{Cl^-} = 0,5$ ;  $C_{заг} = 1$  моль/л.

3. Концентрація  $PO_4^{3-}$ -іонів 0,01 моль/л. Обчислити масу  $PO_4^{3-}$ -іонів, яка міститься у 333 мл розчину.

Відповідь: 0,316 г.

4. Обчислити концентрацію  $K^+$ - і  $SO_4^{2-}$ -іонів та загальну концентрацію іонів у розчині  $K_2SO_4$  з  $C_M = 0,5$ .

Відповідь:  $C_{K^+} = 1,0$ ;  $C_{SO_4^{2-}} = 0,5$ ;  $C_{заг} = 1,5$  моль/л.

5. Обчислити концентрацію  $K^+$ - і  $PO_4^{3-}$ -іонів та загальну концентрацію іонів у розчині  $K_3PO_4$  з  $C_M = 0,5$ .

Відповідь:  $C_{K^+} = 1,5$ ;  $C_{PO_4^{3-}} = 0,5$ ;  $C_{заг} = 2$  моль/л.

6. В 1 л розчину міститься 0,25 г  $NaCl$ . Обчислити концентрацію  $Na^+$ - і  $Cl^-$ -іонів та загальну концентрацію всіх іонів.

Відповідь:  $C_{Na^+} = C_{Cl^-} = 4,27 \cdot 10^{-3}$ ;  $C_{заг} = 8,54 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

7. Обчислити концентрацію  $Al^{3+}$ - і  $SO_4^{2-}$ -іонів у розчині  $Al_2(SO_4)_3$  з  $C_M = 0,125$  та  $C_{заг}$ .

Відповідь:  $C_{Al^{3+}} = 0,25$ ;  $C_{SO_4^{2-}} = 0,375$ ;  $C_{заг} = 0,625$  моль/л.

8. У 300 мл розчину міститься 0,002 г  $Pb(NO_3)_2$ . Обчислити концентрацію  $Pb^{2+}$ - і  $NO_3^-$ -іонів та загальну концентрацію всіх іонів.

Відповідь:  $C_{Pb^{2+}} = 2 \cdot 10^{-5}$ ;  $C_{NO_3^-} = 4 \cdot 10^{-5}$ ;  $C_{заг} = 6 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

9. Обчислити концентрацію  $OH^-$ -іонів у розчині  $NaOH$  з  $C_M = 1,1 \cdot 10^{-3}$  та  $C_{заг}$ .

Відповідь:  $C_{OH^-} = 1,1 \cdot 10^{-3}$ ;  $C_{заг} = 2,2 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

10.Обчислити концентрацію  $\text{OH}^-$ -іонів у розчині  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  з  $C_M=1,1 \cdot 10^{-3}$  та  $C_{\text{заг}}$ .

Відповідь:  $c_{\text{OH}^-} = 2,2 \cdot 10^{-3}$ ;  $C_{\text{заг}} = 3,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

11.Обчислити концентрацію  $\text{NO}_3^-$ -іонів у розчині  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  з  $C_M = 0,05$  і  $C_{\text{заг}}$ .

Відповідь:  $c_{\text{NO}_3^-} = 0,1$ ;  $C_{\text{заг}} = 0,15$  моль/л.

12.Обчислити концентрацію  $\text{NO}_3^-$ -іонів у розчині  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  з  $C_M = 0,05$  та  $C_{\text{заг}}$ .

Відповідь:  $c_{\text{NO}_3^-} = 0,15$ ;  $C_{\text{заг}} = 0,2$  моль/л.

13.Обчислити концентрацію  $\text{K}^+$ -,  $\text{Al}^{3+}$  і  $\text{SO}_4^{2-}$ -іонів у розчині  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$  з  $C_M = 0,3$  та  $C_{\text{заг}}$ .

Відповідь:  $c_{\text{K}^+} = c_{\text{Al}^{3+}} = 0,3$ ;  $c_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,6$ ;  $C_{\text{заг}} = 1,2$  моль/л.

14.Концентрація  $\text{Al}^{3+}$ -іонів дорівнює  $0,3$  моль/л. Обчислити масу  $\text{Al}^{3+}$ -іонів, які містяться у  $1$  л розчину.

Відповідь:  $8,1$  г.

15.Обчислити концентрацію  $\text{OH}^-$ -іонів у розчині  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  з  $C_M=1,1 \cdot 10^{-3}$  та  $C_{\text{заг}}$ .

Відповідь:  $c_{\text{OH}^-} = 2,2 \cdot 10^{-3}$ ;  $C_{\text{заг}} = 3,3 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

16.Обчислити концентрацію  $\text{Cl}^-$ -іонів у розчині  $\text{AlCl}_3$  з  $C_M = 0,05$  та  $C_{\text{заг}}$ .

Відповідь:  $c_{\text{Cl}^-} = 0,15$ ;  $C_{\text{заг}} = 0,2$  моль/л.

17.Обчислити концентрацію  $\text{NH}_4^+$ -,  $\text{Fe}^{3+}$ - і  $\text{SO}_4^{2-}$ -іонів у розчині  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$  з  $C_M = 0,3$  та  $C_{\text{заг}}$ .

Відповідь:

$c_{\text{NH}_4^+} = c_{\text{Fe}^{3+}} = 0,3$ ;  $c_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,6$ ;  $C_{\text{заг}} = 1,2$  моль/л.

18.Обчислити концентрацію  $\text{K}^+$ -,  $\text{Cr}^{3+}$ - і  $\text{SO}_4^{2-}$ -іонів у розчині  $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$  з  $C_M = 0,2$  та  $C_{\text{заг}}$ .

Відповідь:  $c_{\text{K}^+} = c_{\text{Cr}^{3+}} = 0,2$ ;  $c_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,4$ ;  $C_{\text{заг}} = 0,8$  моль/л.

19.Обчислити концентрацію  $\text{Cr}^{3+}$ - і  $\text{SO}_4^{2-}$ -іонів у розчині  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  з  $C_M = 0,125$  та  $C_{\text{заг}}$ .

Відповідь:  $c_{\text{Cr}^{3+}} = 0,25$ ;  $c_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,375$ ;  $C_{\text{заг}} = 0,625$  моль/л.

20.Обчислити концентрацію  $\text{Cl}^-$ -іонів у розчині  $\text{CrCl}_3$  з  $C_M = 0,04$  та  $C_{\text{заг}}$ .

Відповідь:  $c_{\text{Cl}^-} = 0,12$ ;  $C_{\text{заг}} = 0,16$  моль/л.

### 2.2.3 Завдання для самостійного виконання. Гідроліз солей

1. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{AlCl}_3$  (к.ч. 6),  $\text{CuSO}_4$  (к.ч. 4),  $\text{NaCN}$ ,  $\text{KNO}_3$ .
2. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{ZnCl}_2$  (к.ч. 4),  $\text{MgSO}_4$  (к.ч. 6),  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{NaCl}$ .
3. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{FeCl}_3$  (к.ч. 6),  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  (к.ч. 4),  $\text{KOH}$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ .
4. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  (к.ч. 6),  $\text{ZnSO}_4$  (к.ч. 4),  $\text{KNO}_2$ ,  $\text{NaHCO}_3$ .
5. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{FeSO}_4$  (к.ч. 6),  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{KCN}$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ .
6. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  (к.ч. 6),  $\text{MgBr}_2$  (к.ч. 6),  $\text{KOH}$ ,  $\text{KHS}$ .
7. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{AlCl}_3$  (к.ч. 6),  $\text{CuCl}_2$  (к.ч. 4),  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ,  $\text{NaBr}$ .
8. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{CrCl}_3$  (к.ч. 6),  $\text{ZnCl}_2$  (к.ч. 4),  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{S}$ .
9. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  (к.ч. 6),  $\text{CuSO}_4$  (к.ч. 4),  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ .
10. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  (к.ч. 6),  $\text{MgCl}_2$  (к.ч. 6),  $\text{NaHSO}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{COOK}$ .
11. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{FeCl}_3$  (к.ч. 6),  $\text{ZnBr}_2$  (к.ч. 4),  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ .
12. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  (к.ч. 6),  $\text{NH}_4\text{Br}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ .
13. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{MgSO}_4$  (к.ч. 6),  $\text{ZnCl}_2$  (к.ч. 4),  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{KHS}$ .
14. Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  (к.ч. 6),  $\text{MgSO}_4$  (к.ч. 6),  $\text{NH}_4\text{Br}$ ,  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ .

- 15.Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{AlCl}_3$  (к.ч. 6),  $\text{MgBr}_2$  (к.ч. 6),  $\text{NaBr}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ .
- 16.Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  (к.ч. 6),  $\text{ZnCl}_2$  (к.ч. 4),  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{NaOCl}$ .
- 17.Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{FeSO}_4$  (к.ч. 6),  $\text{MgSO}_4$  (к.ч. 6),  $\text{KCN}$ ,  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ .
- 18.Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{MgCl}_2$  (к.ч. 6),  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  (к.ч. 4),  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $\text{NaCl}$ .
- 19.Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  (к.ч. 6),  $\text{CuBr}_2$  (к.ч. 4),  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ,  $\text{KBr}$ .
- 20.Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук:  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  (к.ч. 6),  $\text{ZnSO}_4$  (к.ч. 4),  $\text{NaNO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{S}$ .

#### 2.2.4 Завдання для самостійного виконання. Водневий показник

1. Обчислити рН розчину  $\text{HCl}$  із масовою часткою 2% .  
(відповідь: 0,26)
2. Обчислити рН розчину  $\text{NH}_4\text{OH}$  із  $C_{\text{H}} = 0,3$  моль/л ( $K_{\text{д}}=1,8 \cdot 10^{-5}$ ).  
(відповідь: 11,37)
3. Як зміниться рН розчину  $\text{HNO}_3$  із  $C_{\text{H}} = 0,3$  моль/л, якщо до 20мл розчину її долити 80 мл води?  
(відповідь: 0,7)
4. Як зміниться рН розчину, отриманого після змішування однакових об'ємів розчинів  $\text{H}_2\text{SO}_4$  із  $C_{\text{H}} = 0,8$  моль/л та  $\text{NaOH}$  із  $C_{\text{H}} = 0,2$  моль/л?  
(відповідь: 0,52)
5. Обчислити рН 4%-го розчину  $\text{KOH}$ .  
(відповідь: 13,75)
6. Як зміниться рН води, якщо до 50мл її додати 20 мл 0,1Н розчину  $\text{NaOH}$ .  
(відповідь: 5,45)
7. Обчислити  $[\text{H}^+]$ , якщо рОН розчину 3,58.  
(відповідь:  $3,8 \cdot 10^{-7}$ ).
8. Концентрація протонів в розчині становить  $3,16 \cdot 10^{-6}$  моль/л. Чому дорівнює рОН?  
(відповідь: 6,8)
9. До 90мл води долили 1мл 0,1н розчину  $\text{NaOH}$ . Як зміниться рН води?  
(відповідь: від 7 до 11)

10. рН становить 8,5. Чому дорівнює концентрація протонів?  
(відповідь:  $3,16 \cdot 10^{-9}$  моль/л)
11. Обчислити рН розчину, у 1л якого міститься 0,1 г NaOH. Дисоціацію лугу вважати повною.  
Відповідь: 11,4.
12. Визначити  $[H^+]$  і  $[OH^-]$  у розчині, рН якого дорівнює 6,2.  
Відповідь:  $[H^+] = 6,3 \cdot 10^{-7}$  моль/л;  $[OH^-] = 1,6 \cdot 10^{-8}$  моль/л.
13. Чому дорівнює концентрація розчину оцтової кислоти, рН якого дорівнює 5,2?  
Відповідь:  $2,2 \cdot 10^{-6}$  моль/л.
14. Обчислити рН розчину, в 1 л якого міститься 0,51 мг  $OH^-$ -іонів.  
Відповідь: рН = 9,48.
15. 25 мл 10%-ного розчину HCl ( $\rho = 1,05$  г/см<sup>3</sup>) розбавили водою до 500мл. Обчислити рН розведеного розчину.  
Відповідь: рН = 0,84.
16. До 250 мл нейтрального розчину додали 50 мл розчину KOH ( $C_H=0,5$ ). Обчислити рН цього розчину.  
Відповідь: рН = 12,9.
17. До 100 мл розчину HCl ( $C_H = 0,2$ ) додали 5 мл 3%-ного розчину KOH. Як змінився рН розчину?  
Відповідь: з 0,7 на 0,78.
18. До 100 мл розчину NaOH ( $C_H = 0,1$ ) додали 5 мл 4%-ного розчину HCl ( $\rho = 1,0$  г/см<sup>3</sup>). Як змінився рН розчину?  
Відповідь: з 13 на 12,6.
19. До 100 мл розчину HNO<sub>3</sub> ( $C_H = 0,1$ ) додали 2 мл 6%-ного розчину NaOH ( $\rho = 1,07$  г/см<sup>3</sup>). Яким став рН розчину?  
Відповідь: рН = 1,2.
20. До 25 мл розчину HCl ( $C_H = 0,2$ ) додали 25 мл розчину NaOH ( $C_H=0,1$ ). Яким став рН суміші?  
Відповідь: рН = 1,3.

### 2.2.5 Завдання для самостійного виконання. Добуток розчинності

1. Розчинність Ca(OH)<sub>2</sub> у воді за 18 °С складає  $8,21 \cdot 10^{-2}$  г у 100 г води. Обчислити  $DP_{Ca(OH)_2}$ .  
Відповідь:  $5,47 \cdot 10^{-6}$ .
2. Обчислити розчинність аргентум (I) хлориду у воді і у розчині NaCl ( $C_M = 0,1$ ).  $DP_{AgCl} = 1,8 \cdot 10^{-10}$ .  
Відповідь:  $1,34 \cdot 10^{-5}$  моль/л;  $1,8 \cdot 10^{-9}$  моль/л.



3. Чи випаде осад  $\text{SrSO}_4$ , якщо змішати 100 мл розчину  $\text{SrCl}_2$  ( $C_M = 0,0001$ ) і 200 мл розчину  $\text{K}_2\text{SO}_4$  ( $C_M = 5,0 \cdot 10^{-5}$ )?  $DP_{\text{SrSO}_4} = 3,2 \cdot 10^{-7}$ .

Відповідь: не випадає.

4. У 500 мл води за 18 °С розчиняється 0,0165 г  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ . Обчислити  $DP_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4}$ .

Відповідь:  $DP_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4} = 4,0 \cdot 10^{-12}$ .

5. Чи випаде осад, якщо змішати 0,5 л розчину  $\text{AgNO}_3$  ( $C_M = 0,1$ ) з 0,5 л розчину  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  ( $C_M = 0,01$ )?  $DP_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4} = 1,1 \cdot 10^{-12}$ .

Відповідь: випадає.

6. Скільки грамів  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  можна розчинити за кімнатної температури у 0,5 л води?  $DP_{\text{Ag}_2\text{SO}_4} = 1,6 \cdot 10^{-5}$ .

Відповідь: 2,48 г.

7. Чи випаде осад, якщо змішати 10 л розчину  $\text{CaCl}_2$  ( $C_M = 0,02$ ) з 5 л розчину  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  ( $C_M = 0,1$ )?  $DP_{\text{CaCrO}_4} = 7,1 \cdot 10^{-4}$ .

Відповідь: не випадає.

8. До 50 мл розчину  $\text{HCl}$  ( $C_M = 10^{-3}$ ) додали 450 мл розчину  $\text{AgNO}_3$  ( $C_H = 10^{-4}$ ). Чи випаде осад  $\text{AgCl}$ ?

Відповідь: випадає.

9. Розчинність  $\text{CaCO}_3$  у воді дорівнює  $6,9 \cdot 10^{-3}$  г/л. Обчислити розчинність  $\text{CaCO}_3$  у розчині  $\text{CaCl}_2$  ( $C_M = 10^{-3}$ ).

Відповідь:  $4,76 \cdot 10^{-4}$  г/л.

10. Обчислити концентрацію  $\text{BaCrO}_4$  в моль/л,  $DP_{\text{BaCrO}_4} = 2,25 \cdot 10^{-10}$ .

Відповідь:  $1,5 \cdot 10^{-5}$ .

11. Концентрація  $\text{Mg}^{2+}$ -іонів у насиченому розчині  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  становить  $2,6 \cdot 10^{-3}$  г/л. Обчислити  $DP_{\text{Mg}(\text{OH})_2}$ .

Відповідь:  $5 \cdot 10^{-12}$ .

12.  $DP_{\text{AgCl}} = 1,2 \cdot 10^{-10}$ . Осад  $\text{AgCl}$  промивався дистильованою водою. Яка маса  $\text{Ag}^+$ -іонів, що вилучена із осаду 400-ми мл води?

Відповідь: 0,47 мг.

13. Добуток розчинності  $\text{AgI}$  складає  $1,5 \cdot 10^{-16}$ . Обчислити розчинність  $\text{AgI}$  у моль/л і г/л.

Відповідь:  $1,2 \cdot 10^{-8}$  моль/л;  $2,8 \cdot 10^{-6}$  г/л.

14. У 1 л насиченого за кімнатної температури розчину  $\text{AgIO}_3$  міститься 0,044 г солі. Обчислити добуток розчинності  $\text{AgIO}_3$ .

Відповідь:  $2,4 \cdot 10^{-8}$ .

15. Насичений розчин  $\text{BaCrO}_4$  містить  $1,5 \cdot 10^{-5}$  моль солі у 1 л розчину. Обчислити  $DP_{\text{BaCrO}_4}$ .

Відповідь:  $2,25 \cdot 10^{-10}$ .

16. Добуток розчинності  $\text{CaSO}_4$  складає  $6,1 \cdot 10^{-5}$ . Скільки грамів  $\text{Ca}^{2+}$ -іонів міститься у 8 л насиченого розчину?

Відповідь: 2,5 г.

17. Обчислити  $DP_{\text{PbBr}_2}$  за  $25^\circ\text{C}$ , якщо розчинність солі за цієї температури складає  $1,32 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

Відповідь:  $9,2 \cdot 10^{-6}$ .

18. У 500 мл води за  $18^\circ\text{C}$  розчиняється 0,0166 г  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ . Чому дорівнює  $DP$  цієї солі?

Відповідь:  $4,0 \cdot 10^{-12}$ .

19. Чи утворюється осад  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$ , якщо до розчину  $\text{AgNO}_3$  з  $C_M = 0,02$  додати рівний об'єм розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$  з  $C_M = 1,0$ ?  $DP_{\text{Ag}_2\text{SO}_4} = 1,6 \cdot 10^{-5}$ .

Відповідь: утворюється.

20. У скільки разів зменшиться концентрація  $\text{Ag}^+$ -іонів у насиченому розчині  $\text{AgCl}$ , якщо до нього додати стільки  $\text{HCl}$ , щоб концентрація  $\text{Cl}^-$ -іонів у розчині стала рівною 0,03 моль/л?  $DP_{\text{AgCl}} = 1,8 \cdot 10^{-10}$

### 2.2.6. Завдання для самостійного виконання. Промивання осадів

1. Для розчинення 1,16 г  $\text{PbI}_2$  витратили 2 л води. Обчислити добуток розчинності  $\text{PbI}_2$ .

Відповідь:  $8,0 \cdot 10^{-9}$ .

2. Чи утворюється осад  $\text{PbCl}_2$ , якщо до розчину  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  з  $C_H = 0,1$  додати рівний об'єм розчину  $\text{NaCl}$  з  $C_H = 0,4$ ?

Відповідь: випадає.

3. Скільки грамів  $\text{BaSO}_4$  розчиниться, якщо осад промити 200 мл води; а також розчином, 200 мл якого містить 0,50 г  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ?

Відповідь:  $4,84 \cdot 10^{-4}$  г;  $2,8 \cdot 10^{-7}$  г.

4. Скільки грамів  $\text{AgCl}$  перейде в розчин, якщо осад промити 100 мл води за температури  $25^\circ\text{C}$ ?

Відповідь:  $1,79 \cdot 10^{-4}$ .

5. Обчислити втрати  $\text{Pb}^{2+}$ -іонів (в грамах), якщо осад  $\text{PbCl}_2$  промити 300 мл води. Врахувати, що вода насичується  $\text{PbCl}_2$  на 50 %.

Відповідь:  $\approx 0,5$  г  $\text{Pb}^{2+}$ -іонів.

6. Скільки грамів  $\text{SrCrO}_4$  перейде у розчин, якщо осад промити 200 мл води за температури  $25^\circ\text{C}$ ?  
Відповідь:  $\approx 0,25$  г.
7. Обчислити втрати  $\text{SO}_4^{2-}$ -іонів (в грамах), якщо осад  $\text{BaSO}_4$  промити 100 мл води за температури  $25^\circ\text{C}$ .  
Відповідь:  $\approx 1,0 \cdot 10^{-4}$  г.
8. Скільки грамів  $\text{SO}_3^{2-}$ -іонів перейде у розчин, якщо осад  $\text{SrSO}_3$  промити 100 мл води?  
Відповідь:  $1,6 \cdot 10^{-3}$  г.
9. Скільки грамів кальцій йодата розчиниться, якщо осад промити 50 мл води?  
Відповідь: 0,152 г.
10. Скільки грамів  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  розчиниться, якщо осад промити 200 мл води за температури  $25^\circ\text{C}$ ?  
Відповідь:  $\approx 1,28 \cdot 10^{-3}$  г.
11. Обчислити втрати  $\text{Cd}^{2+}$ -іонів (в грамах), якщо осад  $\text{CdS}$  промити 250 мл води. Врахувати, що вода насичується  $\text{CdS}$  на 30 %.  
Відповідь:  $5 \cdot 10^{-14}$  г.
12. Скільки грамів  $\text{BaSO}_4$  розчиниться, якщо осад промити: а) 250 мл води; б) 250 мл води, яка містить 0,83 г  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ?  
Відповідь: 0,61 мг;  $2,5 \cdot 10^{-7}$  г.
13. Осад  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  промили 250 мл 1 %-ного розчину  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ . Скільки грамів  $\text{Ca}^{2+}$ -іонів буде втрачено із осаду  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  за рахунок розчинення його у промивній рідині?  
Відповідь:  $3,2 \cdot 10^{-7}$  г.
14. Скільки грамів  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  буде втрачено, якщо промивати осад  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  водою. Врахувати, що промивні води насичуються на 70 % по відношенню до  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ , а їх об'єм складає 200 мл.  
Відповідь:  $9,1 \cdot 10^{-4}$  г.
15. Обчислити втрати  $\text{Ba}^{2+}$ -іонів (в грамах), якщо осад  $\text{BaC}_2\text{O}_4$  промити 200 мл води. Врахувати, що вода насичується  $\text{BaC}_2\text{O}_4$  на 50 %.  
Відповідь:  $4,55 \cdot 10^{-3}$  г.
16. Скільки грамів  $\text{AgCl}$  перейде в розчин, якщо осад промити 200 мл води за температури  $25^\circ\text{C}$ ?  
Відповідь:  $3,58 \cdot 10^{-4}$  г.
17. Обчислити втрати  $\text{Cd}^{2+}$ -іонів (в грамах), якщо осад  $\text{CdS}$  промити 150 мл води. Врахувати, що вода насичується  $\text{CdS}$  на 50 %.  
Відповідь:  $5 \cdot 10^{-14}$  г.

18.Осад  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  промили 100 мл 2 %-ного розчину  $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ . Скільки грамів  $\text{Ca}^{2+}$ -іонів буде втрачено із осаду  $\text{CaC}_2\text{O}_4$  за рахунок розчинення його у промивній рідині?

Відповідь:  $6,4 \cdot 10^{-8}$  г.

19.Скільки грамів  $\text{BaSO}_4$  розчиниться, якщо осад промити: а) 150 мл води; б) розчином, 100 мл якого містить 0,75 г  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ?

Відповідь:  $3,63 \cdot 10^{-4}$  г;  $4,66 \cdot 10^{-8}$  г.

20.Обчислити втрати  $\text{Ba}^{2+}$ -іонів (в грамах), якщо осад  $\text{BaC}_2\text{O}_4$  промити 150мл води. Врахувати, що вода насичується  $\text{BaC}_2\text{O}_4$  на 80%.

Відповідь:  $5,44 \cdot 10^{-3}$  г.

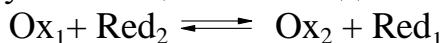
### Тема 3. Окисно-відновні процеси

Процес віддачі електронів супроводжується підвищенням ступеня окиснення і називається **окисненням**.

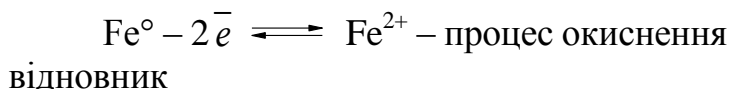
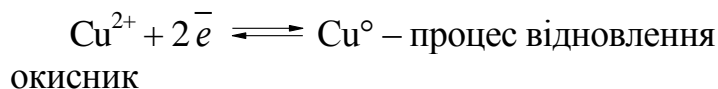
Процес приєднання електронів супроводжується зниженням ступеня окиснення і називається **відновленням**.

Реакції, які супроводжуються зміною ступенів окиснення елементів називаються **окисно-відновними** (редокс-реакціями). Під час цих реакцій відбуваються два процеси: окиснення і відновлення.

Частинки, які приєднують електрони – **окисники** (акцептори електронів); частинки, які віддають електрони – **відновники** (донори електронів). Таким чином, у цьому випадку має місце окисно-відновна рівновага:



Для реакції:  $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} \rightleftharpoons \text{FeSO}_4 + \text{Cu}$



або сумарне рівняння  $\text{Cu}^{2+} + \text{Fe}^0 \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}^0$

Ступінь окиснення – це умовний заряд атому елементу в молекулі, розрахований з припущення, що сполука складається із йонів і в цілому є електронейтральною.

Ступінь окиснення в хімічній сполуці визначають користуючись наступним:

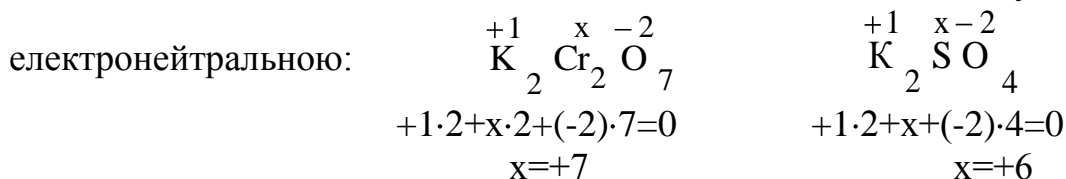
- ступінь окиснення елементів в простих речовинах дорівнює нулю;
- ступінь окиснення простого йону дорівнює його заряду:  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{I}^-$ ,  $\text{S}^{2-}$ ;

- ступінь окиснення Гідрогену у сполуках дорівнює +1, за винятком гідридів, наприклад NaH, де ступінь окиснення Гідрогену -1;
- ступінь окиснення лужних металів дорівнює +1;
- ступінь окиснення Оксигену дорівнює -2, за винятком пероксидів – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (ст. ок. Оксигену є -1); надпероксидів – KO<sub>2</sub> (ст. ок. Оксигену є -1/2); озонідів – KO<sub>3</sub> (ст. ок. Оксигену є -1/3); сполук Оксигену з Флуором – OF<sub>2</sub> (ст. ок. Оксигену – +2), O<sub>2</sub>F<sub>2</sub> (ст. ок. Оксигену – +1);
- ступінь окиснення металів ІІа групи +2, за винятком пероксидів, наприклад Mg<sub>2</sub>O, де ступінь окиснення Mg +1;
- вищий ступінь окиснення, відповідає номеру групи. Наприклад: H N O<sub>3</sub><sup>+5</sup>,  
<sup>+7</sup>HMnO<sub>4</sub>, <sup>+7</sup>HClO<sub>4</sub>, <sup>+6</sup>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> та ін. Винятком є F, O, He, Ne, Ag, Fe, Co, Ni, вищий ступінь окиснення яких нижчий, ніж відповідний номер групи, а також елементи Cu, Ag, Au, вищий ступінь окиснення яких +3, хоча вони належать до першої групи. Наприклад: <sup>+2</sup>CuO, <sup>+1</sup>Cu<sub>2</sub>O, <sup>+3</sup>Cu<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;
- алгебраїчна сума ступенів окиснення атомів у хімічній сполуці завжди дорівнює нулю, а в складному йоні – заряду йона.

Існують елементи для яких характерний тільки один ступінь окиснення. Але в більшості випадків елементи мають декілька ступенів окиснення: вищий, нижчий і проміжні. Наприклад, для Мангану характерні ступені окиснення 0, +2, +4, +6, +7: <sup>0</sup>Mn, <sup>+2</sup>Mn(OH)<sub>2</sub>, <sup>+4</sup>K<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>, <sup>+6</sup>K<sub>2</sub>MnO<sub>4</sub>, <sup>+7</sup>KMnO<sub>4</sub>.

Нижчий ступінь окиснення визначає відновні властивості елементу, вищий – окисні, а проміжний вказує на двоїсту природу елементу.

Ступінь окиснення одного з елементів можна визначити за ступенем окиснення інших елементів, виходячи з того, що молекула в цілому є



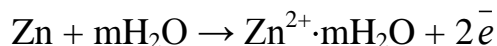
## Окисно-відновний потенціал

**Електродний потенціал** – це різниця потенціалів, яка виникає на межі розділу фаз «метал-розчин» при зануренні електроду (металічної пластини, дроту) в розчин електроліту, за рахунок утворення подвійного електричного шару.

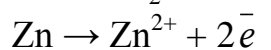
На межі метал-розчин встановлюється рівновага:



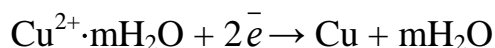
Для активних металів (Mg, Zn, Fe та ін.), у яких невелика енергія йонізації і суттєва енергія гідратації, позитивні йони металів в гідратованому вигляді переходять в розчин, а пластинка заряджається негативно за рахунок надлишку електронів:



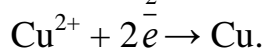
або спрощено



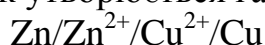
Для неактивних металів (Cu, Ag, Hg та ін.), у яких низька енергія гідратації і значна енергія йонізації, йони металу будуть розряджатися на поверхні електроду, забираючи з електроду електрони, внаслідок чого електрод буде заряджатися позитивно:



або спрощено



Негативно і позитивно заряджені електроди будуть притягувати з розчину протийони. Таким чином, утворюється подвійний електричний шар, який характеризує певну різницю потенціалів на межі "метал-розчин". Якщо з'єднати обидва електроди через гальванометр, то він зафіксує в системі електричний струм. Так утворюється гальванічний елемент:



Цю різницю потенціалів безпосередньо виміряти неможливо. Тому її визначають непрямым шляхом відносно стандартних електродів, потенціал яких відомий (наприклад, водневого, каломельного, хлорсрібного та ін.). Водневий електрод (рисунок 8.1) – це платиновий дротик, на який нанесені дрібнодисперсні частинки Pt, занурений у водний розчин  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $[\text{H}^+] = 1$  моль/л), через який пропускають водень (стандартні умови:  $T = 298\text{K}$ ,  $P = 101\text{kPa}$ ). Платинова пластинка активний поглинач водню, тому Pt-електрод поводить себе як водневий. Потенціал водневого електроду за стандартних умов  $E^0_{2\text{H}^+/\text{H}_2}$

$= -0,059\text{pH}$ , тому якщо  $[\text{H}^+]$  у водному розчині  $\text{H}_2\text{SO}_4$  складає 1 моль/л, то  $\text{pH} = 0$  і  $E^0_{2\text{H}^+/\text{H}_2} = 0$ ; при  $\text{pH} = 7$   $E^0_{2\text{H}^+/\text{H}_2} = -0,059 \cdot 7 = -0,41\text{ В}$ .

Для вимірювання електродних потенціалів металів складають гальванічний елемент (ГЕ) із металічного електроду, наприклад, цинкового і водневого електроду.

За алгебраїчним значенням стандартного електродного (редокс- потенціалу) можна встановити напрямок окисно-відновної реакції. Для цього потрібно порівняти значення стандартних  $E^0$ , знайти окиснювач (той, якому відповідає

більший  $E^0$ ) і відновник (з меншим значенням  $E^0$ ), величина  $\Delta E^0$  повинна мати позитивне значення ( $\Delta E^0 > 0$ ).

Наприклад, реакція  $\text{Cu}^0 + \text{Zn}^{2+} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{Zn}$  буде відбуватися в зворотному напрямку, тому що  $E^0_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}^0} = -0,76 \text{ В}$ , а  $E^0_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^0} = +0,34 \text{ В}$ .

Тобто  $\text{Cu}^{2+}$  – окисник, а  $\text{Zn}^{2+}$  – відновник. Дійсно  $\Delta E^0 = 0,34 - (-0,76) = +1,1 \text{ В} > 0$ .

Якщо умови реакції відрізняються від стандартних,  $E$  знаходять за рівнянням Нернста

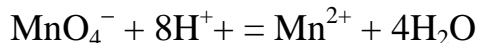
$$E = E^0 + \frac{2,3RT}{nF} \lg a_{\text{Me}^{z+}},$$

де  $E^0$  – стандартний електродний потенціал, В;  $R$  – універсальна газова стала,  $8,31 \text{ Дж}/(\text{К} \cdot \text{моль})$ ;  $T$  – абсолютна температура, К;  $n$  – число електронів, які віддає відновник або приймає окисник;  $F$  – число Фарадея,  $96\,500 \text{ Кл}$ .

Врахувавши, що  $\frac{2,3RT}{F} = 0,059$  :

$$E = E^0 + \frac{0,059}{n} \lg a_{\text{Me}^{z+}} \quad \text{або} \quad E = E^0 + \frac{2,3RT}{nF} \lg \frac{a_{\text{окисн.}}}{a_{\text{відн.}}}$$

Величина  $E$  залежить від значення рН розчину (концентрації  $\text{H}^+$ -йонів). Наприклад, для реакції:



$$E_{\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}} = E^0 + \frac{0,059}{5} \lg \frac{[\text{MnO}_4^-][\text{H}^+]^8}{[\text{Mn}^{2+}]}$$

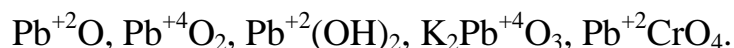
Величина  $E$  залежить також від  $T$  за рівнянням Нернста-Петерса:

$$E = E^0 + 2 \cdot 10^{-4} \frac{T}{n} \lg \frac{a_{\text{окисн.}}}{a_{\text{відн.}}}$$

### 3.1 Приклади розв'язання завдань

#### *Визначити ступінь окиснення*

**Приклад.** Визначити ступінь окиснення Плюмбуму у сполуках:  $\text{PbO}$ ,  $\text{PbO}_2$ ,  $\text{Pb(OH)}_2$ ,  $\text{K}_2\text{PbO}_3$ ,  $\text{PbCrO}_4$ .



### Окисно-відновний потенціал

**Приклад.** Обчислити оксеред-потенціал пари  $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$  в розчині за умови:  
 $[\text{MnO}_4^-] = 0,027$  моль/дм<sup>3</sup>;  $[\text{Mn}^{2+}] = 0,013$  моль/дм<sup>3</sup> і  $\text{pH} = 6,56$ .

Дано:

$\text{pH} = 6,56$

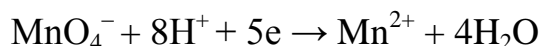
$\varphi^\circ (\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}) = 1,51$  В

$[\text{MnO}_4^-] = 0,027$  моль/дм<sup>3</sup>

$[\text{Mn}^{2+}] = 0,013$  моль/дм<sup>3</sup>

$\varphi(\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}) - ?$

Розв'язання



1. Знайдемо молярну концентрацію  $\text{H}^+$ :

$$\text{H}^+ = 10^{-\text{pH}} = 10^{-6,56} = 2,75 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}$$

2. Знайдемо редокс потенціал  $\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}$ :

$$\begin{aligned} \varphi(\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}) &= \varphi^\circ (\text{MnO}_4^- / \text{Mn}^{2+}) + \frac{0,059}{n e} \lg \frac{[\text{MnO}_4^-] \cdot [\text{H}^+]^8}{[\text{Mn}^{2+}]} \\ &= 1,51 + \frac{0,059}{5} \lg \frac{2,7 \cdot 10^{-2} \cdot (2,75 \cdot 10^{-7})^8}{1,3 \cdot 10^{-2}} = 0,89 \text{ В} \end{aligned}$$

**Відповідь:** 0,89 В.

### 3.2.1 Завдання для самостійного виконання.

#### Визначити ступінь окиснення:

1. сульфуру у сполуках:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_2$ ,  $\text{CS}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ,  $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ ,  $\text{MgS}$ .
2. мангану у сполуках:  $\text{MnO}$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{MnO}_3$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_7$ ,  $\text{K}_2\text{MnO}_3$ ,  $\text{K}_2\text{MnO}_4$ ,  $\text{KMnO}_4$ .
3. хрому у сполуках:  $\text{CrO}$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CrO}_3$ ,  $\text{KCrO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Mg}(\text{CrO}_2)_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{S}_3$ .
4. бром у сполуках:  $\text{HBr}$ ,  $\text{KBrO}$ ,  $\text{KBrO}_3$ ,  $\text{KBrO}_4$ ,  $\text{AlBr}_3$ ,  $\text{Br}_2\text{O}$ ,  $\text{BrO}_2\text{F}$ .
5. фосфору у сполуках:  $\text{PH}_3$ ,  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_2$ ,  $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ .
6. феруму у сполуках:  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{KFeO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{FeO}_4$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_2$ .
7. нітрогену у сполуках:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NaNO}_2$ .
8. хлору у сполуках:  $\text{HCl}$ ,  $\text{HClO}$ ,  $\text{HClO}_2$ ,  $\text{HClO}_3$ ,  $\text{HClO}_4$ ,  $\text{Cl}_2\text{O}$ ,  $\text{ClO}_2$ ,  $\text{Cl}_2\text{O}_7$ .
9. йоду у сполуках:  $\text{KI}$ ,  $\text{KIO}$ ,  $\text{KIO}_3$ ,  $\text{KIO}_4$ ,  $\text{I}_2\text{O}_5$ ,  $\text{ICl}$ ,  $\text{I}_2$ .



10. арсену у сполуках:  $\text{AsH}_3$ ,  $\text{HAsO}_2$ ,  $\text{H}_3\text{AsO}_3$ ,  $\text{HAsO}_3$ ,  $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ,  $\text{H}_4\text{As}_2\text{O}_7$ ,  $\text{AsCl}_5$ .
11. селену у сполуках:  $\text{H}_2\text{Se}$ ,  $\text{SeO}_2$ ,  $\text{SeO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SeO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SeO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{Se}$ ,  $\text{CSe}_2$ ,  $\text{BaSe}$ .
12. ніколу у сполуках:  $\text{NiO}$ ,  $\text{Ni(OH)}_2$ ,  $\text{Ni}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ni(OH)}_3$ ,  $\text{Ni(ClO}_4)_2$ ,  $\text{Ni(CN)}_2$ ,  $\text{NiSO}_4$ .
13. плюмбуму у сполуках:  $\text{PbO}$ ,  $\text{PbO}_2$ ,  $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Pb(OH)}_2$ ,  $\text{K}_2\text{PbO}_3$ ,  $\text{PbCrO}_4$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ .
14. стибію у сполуках:  $\text{Sb}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_5$ ,  $\text{Sb}_2\text{O}_4$ ,  $\text{NaSbO}_2$ ,  $\text{Na}_3\text{SbO}_4$ ,  $\text{SbOCl}$ ,  $\text{KSbO}_3$ .
15. фосфору у сполуках:  $\text{PH}_3$ ,  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{PCl}_3$ ,  $\text{PCl}_5$ ,  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{Ca(H}_2\text{PO}_4)_2$ .
16. нітрогену у сполуках:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{H}_4$ ,  $\text{NH}_2\text{OH}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{Fe(NO}_3)_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{KNO}_2$ .
17. титану у сполуках:  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{TiO}_3$ ,  $\text{Ti}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Na}_4\text{TiO}_4$ ,  $\text{Ti(OH)}_3$ ,  $\text{TiH}_2$ ,  $\text{TiOCl}_2$ ,  $\text{Ti(SO}_4)_2$ .
18. магнію у сполуках:  $\text{MgO}$ ,  $\text{MgO}_2$ ,  $\text{Mg(ClO}_4)_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{MgH}_2$ ,  $(\text{MgOH})_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Mg(HCO}_3)_2$ ,  $[\text{Mg(H}_2\text{O)}_6]\text{SO}_4$ .
19. кобальту у сполуках:  $\text{CoO}$ ,  $\text{Co}_2\text{O}_3$ ,  $[\text{Co}_2(\text{CO})_8]$ ,  $[\text{Co(NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$ ,  $\text{CoCl}_3$ ,  $\text{Co(OH)}_3$ ,  $\text{Na}_2[\text{Co(CN)}_4]$ .
20. молібдену у сполуках:  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{Mo}$ ,  $\text{K}_2\text{MoO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{MoS}_4$ ,  $\text{MoS}_3$ ,  $\text{MoOF}_4$ ,  $\text{PbMoO}_4$ .

### 3.2.2 Завдання для самостійного виконання

#### Окисно-відновний потенціал

1. Чи можна хром(III) сульфат  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  окиснити нітратною(V) кислотою до дихроматної кислоти  $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ?  $E_0(\text{NO}_3/\text{NO}) = 0,96 \text{ В}$ .

В: Ні.

2. Чи буде проходити процес розчинення срібла в розведеній сульфатній(VI) кислоті? Дайте пояснення.

В: Ні.

3. Розрахувати окс.ред-потенціал пари  $\text{MnO}_4^{2-} / \text{Mn}^{2+}$  у розчині за умови:

$[\text{MnO}_4^{2-}] = 0,1 \text{ моль/дм}^3$ ,  $[\text{Mn}^{2+}] = 0,01 \text{ моль/дм}^3$  і  $\text{pH} = 7$ .

В: + 0,86 В.

4. Чи буде взаємодіяти натрій сульфат(IV)  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  з  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$   $E_0(\text{Hg}_2\text{Cl}_2/\text{Hg}) = 0,268 \text{ В}$ ;  $E_0(\text{SO}_4^{2-} / \text{H}_2\text{SO}_3) = 0,17 \text{ В}$ . ?

В: Так.

5. З якими солями (KCl, KBr і KI) і в якому середовищі буде реагувати  $\text{NaNO}_2$  у водному розчині?

В: з KI у кислому середовищі.

6. Чи можна провести реакцію окиснення дихром трисульфату  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  до діамоній дихромату  $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ , діючи діамоній гексаоксопероксодисульфатом  $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ?

В: Так.

7. У якому напрямі буде проходити реакція взаємодії редокс-пар  $\text{MnO}_2/\text{Mn}^{2+}$  і  $\text{NO}_3^-/\text{NO}$ ? Написати рівняння реакції і обчислити  $\Delta E_0$ .

В: 0,27 В.

8. Чи буде проходити реакція між  $\text{SnCl}_2$  і  $\text{FeCl}_3$ ,  $\text{SnCl}_2$  і  $\text{Br}_2$ ? Напишіть рівняння окисно-відновних реакцій.

В: Так.

9. Обчислити окред-потенціал пари  $\text{Br}_2/2\text{Br}^-$  у розчині за умови:  $[\text{Br}_2] = 0,21$  моль/дм<sup>3</sup>;  $[\text{Br}^-] = 0,012$  моль/дм<sup>3</sup>.

В: 1,18 В.

10. Обчислити окред-потенціал пари  $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$  в розчині за умови:  $[\text{MnO}_4^-] = 1$  моль/дм<sup>3</sup>,  $[\text{Mn}^{2+}] = 1$  моль/дм<sup>3</sup> і  $[\text{H}^+] = 10^{-1}$  моль/дм<sup>3</sup>.

В: +1,416 В.

11. Обчислити окред-потенціал пари  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}$  в розчині за умови: що  $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] = 0,22$  моль/дм<sup>3</sup>,  $[\text{Cr}^{3+}] = 0,32$  моль/дм<sup>3</sup> і  $[\text{H}^+] = 0,5$  моль/дм<sup>3</sup>?

В: 1,29 В.

12. Обчислити окред-потенціал системи  $\text{AsO}_4^{3-}/\text{AsO}_3^{3-}$  при  $[\text{AsO}_4^{3-}] = 2$  моль/дм<sup>3</sup>,  $[\text{AsO}_3^{3-}] = 2$  моль/дм<sup>3</sup>, pH = 1.  $E_0(\text{AsO}_4^{3-}/\text{AsO}_3^{3-}) = 0,559$  В.

В: 0,50 В.

13. Обчислити окред-потенціал пари  $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$  в розчині за умови:  $[\text{MnO}_4^-] = 0,027$  моль/дм<sup>3</sup>;  $[\text{Mn}^{2+}] = 0,013$  моль/дм<sup>3</sup> і pH = 6,56.

В. 0,89 В.

14 Визначити, чи буде проходити оксеред-реакція при змішуванні розчинів калій перманганату  $\text{KMnO}_4$  і калій броміду  $\text{KBr}$ , якщо  $[\text{MnO}_4^-] = 1 \text{ моль/дм}^3$ ,  $[\text{Mn}^{2+}] = 1 \text{ моль/дм}^3$ ,  $[\text{H}^+] = 10^{-3} \text{ моль/дм}^3$ .

В. Так.

15 Знайти оксеред-потенціал пари  $\text{Sn}^{4+}/\text{Sn}^{2+}$ , якщо  $[\text{Sn}^{4+}] = 0,2 \text{ моль/дм}^3$ ,  $[\text{Sn}^{2+}] = 0,002 \text{ моль/дм}^3$ .

В: 0,209 В.

16. Обчислити окисно-відновний потенціал пари  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/2\text{Cr}^{3+}$  у розчині за умови:  $[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}] = 0,2 \text{ моль/дм}^3$ ;  $[\text{Cr}^{3+}] = 0,01 \text{ моль/дм}^3$ ;  $[\text{H}^+] = 0,001 \text{ моль/дм}^3$ .

В: 0,95 В

17. Обчислити потенціал водневого електрода в 0,5 М розчині натрій ацетату.

В. -0,545 В.

18. Обчислити оксеред-потенціал пари  $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$  в розчині за умови:  $[\text{MnO}_4^-] = 0,027 \text{ моль/дм}^3$ ;  $[\text{Mn}^{2+}] = 0,013 \text{ моль/дм}^3$  і  $\text{pH} = 6,56$ .

В. 0,89 В.

19. Чи можна хром(III) сульфат  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  окиснити нітратною(V) кислотою до дихроматної кислоти  $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ?  $E_0(\text{NO}_3/\text{NO}) = 0,96 \text{ В}$ .

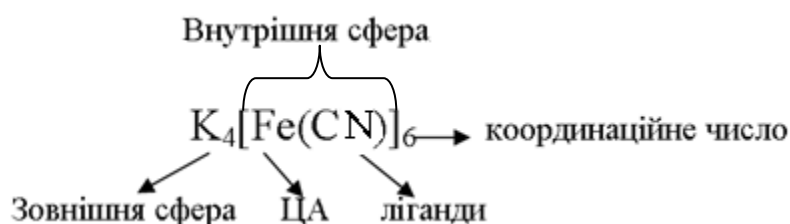
В: Ні.

20. З якими солями ( $\text{KCl}$ ,  $\text{KBr}$  і  $\text{KI}$ ) і в якому середовищі буде реагувати  $\text{NaNO}_2$  у водному розчині?

В: з  $\text{KI}$  у кислому середовищі.

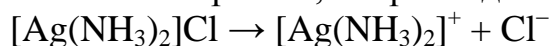
#### Тема 4. Комплексні сполуки

Існують сполуки, склад яких записується не зовсім звичайними формулами, наприклад,  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ,  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ . Для них характерний ряд своєрідних властивостей, тому ці сполуки виділяють в окремий клас і називають координаційними (комплексними) сполуками.



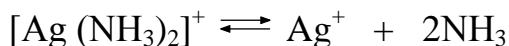
Таким чином, координаційними або комплексними називаються такі сполуки, що містять у своєму складі одну або більше координаційних сфер (комплексів). Вони здатні до існування як в кристалічному, так і в розчиненому стані.

Йони зовнішньої сфери з'єднані з внутрішньою сферою (комплексом) йонним зв'язком, тому в водних розчинах комплексні солі дисоціюють практично повністю як сильні електроліти, наприклад:



Цей процес називається первинною дисоціацією (вона відбувається миттєво і до кінця).

Внутрішня сфера КС також здатна розпадатися на комплексоутворювач і ліганди, наприклад:



Цей процес називають вторинною дисоціацією, який аналогічний дисоціації слабких електролітів. Він підкоряється закону дії маси, може відбуватися ступінчасто і характеризується константою рівноваги:

$$K_{\text{нест}} = \frac{[\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2}{[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+};$$

$$pK_{\text{нест}} = -\lg K_{\text{нест}}$$

Ця константа є мірою стійкості комплексу: чим менше стійкий комплекс, тим більша концентрація  $\text{Ag}^+$  і  $\text{NH}_3$  (для даного випадку), тим більше числове значення константи (K), яку називають константою нестійкості.

#### 4.1 Приклади розв'язання завдань

**Приклад 1.** За якої концентрації  $\text{Cl}^-$  -іона почне випадати осад  $\text{AgCl}$  із розчину  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$  з  $C_M = 0,1$ , який містить 1 моль надлишку  $\text{NH}_3$  на 1 л розчину?  $D_P \text{AgCl} = 1,2 \times 10^{-10}$ .

Дано:	Розв'язання
$C_M([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3) = 0,3$ моль/л	$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3 \leftrightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ + \text{NO}_3^-$
$[\text{NH}_3] = 1$ моль/л	$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ \leftrightarrow \text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3$
$K_H([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+) = 5,89 \cdot 10^{-8}$	$\text{AgCl} \leftrightarrow \text{Ag}^+ + \text{Cl}^-$
$\text{ДР}(\text{AgCl}) = 1,2 \cdot 10^{-10}$	1. Знайдемо молярну концентрацію
$[\text{Cl}^-] - ?$	$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ :

$$[[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+] = C_M([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3) = 0,3 \text{ моль/л}$$

2. Знайдемо молярну концентрацію  $\text{Ag}^+$ :

$$[\text{Ag}^+] = \frac{K_H([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+) \cdot [[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+]}{[\text{NH}_3]^2} = \frac{5,89 \cdot 10^{-8} \cdot 0,3}{1} = 1,77 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л}$$

3. Знайдемо молярну концентрацію  $\text{Cl}^-$ :

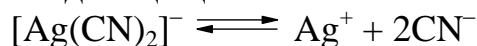
$$\text{Cl}^- = \frac{\text{ДР AgCl}}{[\text{Ag}^+]} = \frac{1,2 \cdot 10^{-10}}{1,77 \cdot 10^{-8}} = 1,76 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$$

Осад  $\text{AgCl}$  почне випадати при  $[\text{Cl}^-] > 1,76 \times 10^{-2}$  моль/л.

**Відповідь:**  $> 1,76 \times 10^{-2}$  моль/л.

**Приклад 2.** Константа нестійкості  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ -іона складає  $1,0 \cdot 10^{-21}$ . Обчислити концентрацію  $\text{Ag}^+$ -іонів у розчині  $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$  з  $C_M = 0,05$ , який містить, крім того,  $0,01$  моль/л  $\text{KCN}$ .

**Розв'язування:** Вторинна дисоціація комплексного іона протікає за рівнянням:



За наявності надлишку  $\text{CN}^-$ -іонів, утворених внаслідок дисоціації  $\text{KCN} \rightarrow \text{K}^+ + \text{CN}^-$ , ця рівновага зміщена вліво настільки, що кількістю  $\text{CN}^-$ -іонів, які утворюються при вторинній дисоціації, можна знехтувати. Тоді  $[\text{CN}^-] = C_{\text{KCN}} = 0,01$  моль/л. З тієї ж причини рівноважна концентрація  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ -іонів може бути прирівняна до загальної концентрації комплексної сполуки –  $0,05$  моль/л.

За умовою задачі:

$$K_{\text{нест.}} = [\text{Ag}^+][\text{CN}^-]^2 / [\text{Ag}(\text{CN})_2]^- = 1,0 \cdot 10^{-21}$$

Звідси виражаємо концентрацію  $\text{Ag}^+$ -іонів:  $[\text{Ag}^+] = 1,0 \cdot 10^{-21} \cdot [\text{Ag}(\text{CN})_2]^- / [\text{CN}^-]^2 = 1,0 \cdot 10^{-21} \cdot 0,05 / (0,01)^2 = 5 \cdot 10^{-19}$  моль/л.

**Відповідь:**  $5 \cdot 10^{-19}$  моль/л.

#### 4.2 Завдання для самостійного виконання

1. Чи відбудеться утворення осаду нерозчинного аргентум (I) галогеніду, якщо до 1 л розчину  $K_2[Ag(CN)_3]$  з  $C_M = 0,01$ , який містить надлишок 0,02 моль KCN, додати 0,1 моль KI? Константа нестійкості  $[Ag(CN)_3]^{2-}$ -іона дорівнює  $1,0 \cdot 10^{-22}$ .  $DP_{AgI} = 1,0 \cdot 10^{-16}$ .

Відповідь: ні.

2. Константа нестійкості  $[Cd(CN)_4]^{2-}$ -іона складає  $1,4 \cdot 10^{-17}$ . Обчислити концентрацію  $Cd^{2+}$ -іонів у розчині  $K_2[Cd(CN)_4]$  з  $C_M = 0,1$ , який містить у надлишку 0,1 моль/л KCN.

Відповідь:  $1,4 \cdot 10^{-14}$  моль/л.

3. Чи випаде осад аргентум (I) галогеніду при додаванні до 1 л розчину  $[Ag(NH_3)_2]NO_3$  з  $C_M = 0,1$ , який містить 1 моль/л  $NH_3$ : а)  $1,0 \cdot 10^{-5}$  моль KBr; б)  $1,0 \cdot 10^{-5}$  моль KI?  $DP_{AgBr} = 6,0 \cdot 10^{-13}$ ;  $DP_{AgI} = 1,1 \cdot 10^{-16}$

Відповідь: а) ні, б) так.

4. Яка маса  $Ag^+$ -іонів міститься в 0,5 л розчину  $Na_3[Ag(S_2O_3)_2]$  з  $C_M = 0,1$ , який містить, крім того, 0,1 моль/л  $Na_2S_2O_3$ ?

Відповідь:  $5,9 \cdot 10^{-11}$  г.

5. Обчислити концентрацію  $Cd^{2+}$ -іонів у розчині  $K_2[Cd(CN)_4]$  з  $C_M = 0,1$ , який містить, крім того, 6,5 г/л KCN.

Відповідь:  $1,4 \cdot 10^{-14}$  моль/л.

6. Обчислити концентрацію  $Ag^+$ -іонів у розчині  $[Ag(NH_3)_2]NO_3$  з  $C_M = 0,1$ , який містить у надлишку 0,1 моль/л  $NH_3$ .

Відповідь:  $6,8 \cdot 10^{-7}$  моль/л.

7. Скільки  $Ag^+$ -іонів міститься у 1 л розчину  $K_2[Ag(CN)_3]$  з  $C_M = 0,05$ , який містить, крім того, 0,95 моль KCN? Ступінь дисоціації KCN вважати рівним 0,75. Константа нестійкості  $[Ag(CN)_3]^{2-}$ -іона складає  $1,0 \cdot 10^{-22}$ .

Відповідь:  $\approx 8$ .

8. Обчислити концентрацію  $Ag^+$ -іонів у розчині  $[Ag(NH_3)_2]NO_3$  з  $C_M = 0,5$ , який містить у надлишку 0,05 моль/л  $NH_3$ . Константа нестійкості  $[Ag(NH_3)_2]^+$ -іона складає  $6,8 \cdot 10^{-8}$ .

Відповідь:  $\approx 1,36 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

9. Константа нестійкості  $[Ag(CN)_2]^-$ -іона складає  $1,0 \cdot 10^{-21}$ . Обчислити концентрацію  $Ag^+$ -іонів у розчині  $K[Ag(CN)_2]$  з  $C_M = 0,05$ , який містить, крім того, 0,01 моль KCN в 1 л розчину.

Відповідь:  $5,0 \cdot 10^{-19}$  моль/л.

10. Константа нестійкості  $[Ag(S_2O_3)_2]^{3-}$ -іона складає  $1,0 \cdot 10^{-13}$ . Скільки грамів  $Ag^+$ -іонів міститься у 1 л розчину  $Na_3[Ag(S_2O_3)_2]$  з  $C_M = 0,1$ , до

якого додано, крім того, 25 г  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ? Скільки  $\text{Ag}^+$ -іонів містить 1 л вказаного розчину?

Відповідь:  $\approx 1,1 \cdot 10^{-10}$  г;  $6,6 \cdot 10^{13}$   $\text{Ag}^+$ -іонів.

11. Константа нестійкості  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ -іона складає  $6,8 \cdot 10^{-8}$ . Яка концентрація  $\text{Ag}^+$ -іонів у розчині  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$  з  $C_M = 0,08$ , який містить, крім того, 0,8 моль  $\text{NH}_3$ ? Скільки грамів  $\text{NaCl}$  необхідно додати до 1 л цього розчину до початку випадіння осаду  $\text{AgCl}$ ?  $DP_{\text{AgCl}} = 1,2 \cdot 10^{-10}$ .

Відповідь:  $8,5 \cdot 10^{-9}$  моль/л;  $\approx 0,82$  г.

12. Чи відбудеться осадження нерозчинного осаду  $\text{HgS}$  при додаванні до 1 л розчину  $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$  з  $C_M = 0,001$ , який містить 0,05 моль  $\text{KI}$ , такої кількості  $\text{S}^{2-}$ -іонів (моль/л), яке міститься у 1 л насиченого розчину  $\text{CdS}$ ? Константа нестійкості  $[\text{HgI}_4]^{2-}$ -іона дорівнює  $5,0 \cdot 10^{-31}$ .  $DP_{\text{CdS}} = 3,6 \cdot 10^{-29}$ ,  $DP_{\text{HgS}} = 4,0 \cdot 10^{-53}$ .

Відповідь: так.

13. За якої концентрації  $\text{Cl}^-$ -іона почне випадати осад  $\text{AgCl}$  із розчину  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$  з  $C_M = 0,1$ , який містить 1 моль надлишку  $\text{NH}_3$  на 1 л розчину?  $DP_{\text{AgCl}} = 1,2 \cdot 10^{-10}$ .

Відповідь:  $> 1,76 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

14. Чи відбудеться випадіння нерозчинного аргентум (I) галогеніду при додаванні до 1 л розчину  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$  з  $C_M = 0,01$ , який містить 1 моль в надлишку  $\text{NH}_3$ : а)  $1,0 \cdot 10^{-6}$  моль  $\text{Br}^-$ -іона; б)  $1,0 \cdot 10^{-4}$  моль  $\text{I}^-$ -іона?  $DP_{\text{AgBr}} = 4,0 \cdot 10^{-13}$ ,  $DP_{\text{AgI}} = 1,0 \cdot 10^{-16}$ .

Відповідь: а) ні, б) так.

15. Константа нестійкості  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ -іона складає  $1,0 \cdot 10^{-21}$ . Обчислити концентрацію  $\text{Ag}^+$ -іонів у розчині  $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$  з  $C_M = 0,08$ , який містить, крім того, 0,03 моль  $\text{KCN}$  у 1 л розчину.

Відповідь:  $8,9 \cdot 10^{-20}$  моль/л.

16. Скільки моль  $\text{NH}_3$  повинно бути у надлишку в 1 л розчину  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$  з  $C_M = 0,1$ , щоб при додаванні 1,5 г  $\text{KCl}$  до цього розчину не визвало випадання осаду  $\text{AgCl}$ ?  $DP_{\text{AgCl}} = 1,2 \cdot 10^{-10}$ .

Відповідь:  $\geq 1,06$  моль.

17. Скільки моль аміаку повинно міститися у 1 л розчину  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$  з  $C_M = 0,1$ , щоб при додаванні 7,5 г  $\text{KCl}$  до 1 л розчину не відбулося випадання  $\text{AgCl}$ ?  $DP_{\text{AgCl}} = 1,2 \cdot 10^{-10}$ .

Відповідь:  $\geq 2,3$  моль.

18. Яка концентрація  $\text{Ag}^+$ -іонів у розчині  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$  з  $C_M = 0,08$ , який містить 1 моль/л аміаку? Скільки грамів  $\text{NaCl}$  можна додати до 1 л цього розчину до початку випадання осаду  $\text{AgCl}$ ?  $DP_{\text{AgCl}} = 1,2 \cdot 10^{-10}$ .

Відповідь:  $[\text{Ag}^+] = 5,4 \cdot 10^{-9}$  моль/л; не більше 1,3 г  $\text{NaCl}$ .

19. Чи відбудеться утворення нерозчинного аргентум (I) сульфиду, якщо до 1 л розчину  $\text{K}_2[\text{Ag}(\text{CN})_3]$  з  $C_M = 0,01$ , який містить надлишок 0,02 моль  $\text{KCN}$ , додати 10 мл насиченого розчину  $\text{MnS}$ ? Константа нестійкості  $[\text{Ag}(\text{CN})_3]^{2-}$ -іона дорівнює  $1,0 \cdot 10^{-22}$ .  $DP_{\text{Ag}_2\text{S}} = 4,0 \cdot 10^{-50}$ ,  $DP_{\text{MnS}} = 1,4 \cdot 10^{-15}$ .

Відповідь: так.

20. За якої концентрації  $\text{S}^{2-}$ -іонів почне випадати нерозчинний осад  $\text{CdS}$  із розчину  $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$  з  $C_M = 0,05$ , який містить 0,1 моль  $\text{KCN}$  у 1 л розчину?  $DP_{\text{CdS}} = 3,6 \cdot 10^{-29}$ . Константа нестійкості  $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$ -іона дорівнює  $1,4 \cdot 10^{-17}$ .

Відповідь:  $> 5,0 \cdot 10^{-15}$  моль/л.



Додаток А

Таблиця А.1 – Стандартні електродні потенціали деяких систем у водних розчинах

Рівняння процесу	$E^{\circ}$ , В
<b>АРГЕНТУМ</b>	
$\text{Ag}^{2+} + e = \text{Ag}^{1+}$	2,00
<b>АЛЮМІНІЙ</b>	
$\text{Al}^{3+} + 3e = \text{Al}$	-1,66
<b>АРСЕН</b>	
$\text{AsO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{AsO}_2^{1-} + 4\text{OH}^{1-}$	-0,710
$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}^{1+} + 2e = \text{HAsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	0,560
<b>КАРБОН</b>	
$2\text{CO}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2e = \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	-0,490
$\text{CO}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2e = \text{HCOOH}$	-0,200
$\text{CO}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2e = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	-0,120
$\text{CO}_3^{2-} + 6\text{H}^{1+} + 4e = \text{C} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,475
<b>КАЛЬЦІЙ</b>	
$\text{Ca}^{2+} + 2e = \text{Ca}$	-2,866
<b>КАДМІЙ</b>	
$\text{Cd}^{2+} + 2e = \text{Cd}$	-0,403
<b>КОБАЛЬТ</b>	
$\text{Co}^{3+} + 3e = \text{Co}$	0,460
$\text{Co}^{3+} + e = \text{Co}^{2+}$	1,950
<b>ХЛОР</b>	
$2\text{ClO}^{1-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{Cl}_2 + 4\text{OH}^{1-}$	0,400
$\text{ClO}_3^{1-} + 3\text{H}_2\text{O} + 6e = \text{Cl}^{1-} + 6\text{OH}^{-}$	0,630
$\text{ClO}^{1-} + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{Cl}^{1-} + 2\text{OH}^{-}$	0,880
$\text{ClO}_4^{1-} + 2\text{H}^{1+} + 2e = \text{ClO}_3^{1-} + \text{H}_2\text{O}$	1,190
$\text{Cl}_2 + 2e = 2\text{Cl}^{1-}$	1,359
$\text{ClO}_4^{1-} + 8\text{H}^{1+} + 8e = \text{Cl}^{1-} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,380
$\text{ClO}_3^{1-} + 6\text{H}^{1+} + 6e = \text{Cl}^{1-} + 3\text{H}_2\text{O}$	1,450
<b>ХРОМ</b>	
$\text{Cr}^{3+} + 3e = \text{Cr}$	-0,740
$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{Cr}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^{1-}$	-0,130
$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}^{1+} + 3e = \text{CrO}_2^{1-} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,945
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^{1+} + 6e = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1,333
$\text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}^{1+} + 3e = \text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,477

Продовження таблиці А.1

<b>КУПРУМ</b>	
$\text{Cu}^{2+} + e = \text{Cu}^{1+}$	0,159
$\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}$	0,640
$\text{Cu}^{2+} + \Gamma^{-} + e = \text{CuI}$	0,860
<b>ФЛУОР</b>	
$\text{F}_2 + 2e = 2\text{F}^{1-}$	2,870
<b>ФЕРУМ</b>	
$\text{Fe}^{2+} + 2e = \text{Fe}$	-0,473
$\text{Fe}^{3+} + 3e = \text{Fe}$	-0,058
$\text{Fe}^{3+} + e = \text{Fe}^{2+}$	0,771
<b>ГІДРОГЕН</b>	
$\text{H}_2 + 2e = 2\text{H}^{1-}$	-2,250
$2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2 + 2\text{OH}^{1-}$	-0,828
$2\text{H}^{1+} (10^{-7} M) + 2e = \text{H}_2$	-0,414
$2\text{H}^{1+} + 2e = \text{H}_2$	0,000
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2e = 2\text{H}_2\text{O}$	1,770
<b>МЕРКУРІЙ</b>	
$\text{Hg}_2^{2+} + 2e = 2\text{Hg}$	0,792
$\text{Hg}^{2+} + 2e = \text{Hg}$	0,850
$2\text{Hg}^{2+} + 2e = \text{Hg}_2^{2+}$	0,907
<b>ЙОД</b>	
$\text{I}_2 + 2e = 2\text{I}^{1-}$	0,536
$\text{I}_3^{1-} + 2e = 3\text{I}^{1-}$	0,545
$\text{IO}_3^{1-} + 6\text{H}^{+} + 6e = \text{I}^{1-} + 3\text{H}_2\text{O}$	1,080
$2\text{IO}_3^{1-} + 12\text{H}^{+} + 10e = \text{I}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,190
$2\text{IO}_3^{1-} + 6\text{H}_2\text{O} + 10e = \text{I}_2 + 12\text{OH}^{1-}$	0,210
$\text{IO}_3^{1-} + 3\text{H}_2\text{O} + 6e = \text{I}^{1-} + 6\text{OH}^{1-}$	0,260
<b>МАГНІЙ</b>	
$\text{Mg}^{2+} + 2e = \text{Mg}$	-2,370
<b>МАНГАН</b>	
$\text{Mn}(\text{OH})_2 + 2e = \text{Mn} + 2\text{OH}^{1-}$	-1,550
$\text{Mn}^{2+} + 2e = \text{Mn}$	-1,170
$\text{MnO}_4^{1-} + e = \text{MnO}_4^{2-}$	0,558
$\text{MnO}_4^{1-} + 2\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^{1-}$	0,600
$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^{1+} + 2e = \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,230
$\text{MnO}_4^{1-} + 8\text{H}^{1+} + 5e = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,510

Продовження таблиці А.1

$Mn^{3+} + e = Mn^{2+}$	1,510
$MnO_4^{1-} + 4H^{1+} + 3e = MnO_2 + 2H_2O$	1,690
$MnO_4^{2-} + 4H^{1+} + 2e = MnO_2 + 2H_2O$	2,257
<b>НІТРОГЕН</b>	
$NO_2^{1-} + H_2O + e = NO + 2OH^{1-}$	-0,460
$NO_3^{1-} + 2H_2O + 3e = NO + 4OH^{1-}$	-0,140
$NO_3^{1-} + 7H_2O + 8e = NH_3 \cdot H_2O + 9OH^{1-}$	-0,120
$NO_3^{1-} + H_2O + 2e = NO_2^{1-} + 2OH^{1-}$	0,010
$2NO_2^{1-} + 4H_2O + 6e = N_2 + 8OH^{1-}$	0,410
$NO_3^{1-} + 2H^{1+} + e = NO_2 + H_2O$	0,800
$NO_3^{1-} + 10H^{1+} + 8e = NH_4^+ + 3H_2O$	0,870
$NO_3^{1-} + 4H^{1+} + 3e = NO + 2H_2O$	0,960
$HNO_2 + H^{1+} + e = NO + H_2O$	0,980
$2HNO_2 + 4H^{1+} + 4e = N_2O + 3H_2O$	1,290
$2HNO_2 + 6H^{1+} + 6e = N_2 + 4H_2O$	1,440
$2NO + 4H^{1+} + 4e = N_2 + 2H_2O$	1,680
$N_2O + 2H^{1+} + 2e = N_2 + H_2O$	1,770
<b>ОКСИГЕН</b>	
$O_3 + H_2O + 2e = O_2 + 2OH^{1-}$	0,020
$O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^{1-}$	0,401
$O_2 + 2H^{1+} + 2e = H_2O_2$	0,682
$O_2 + 4H^{1+} + 4e = 2H_2O$	1,229
$H_2O_2 + 2H^{1+} + 2e = 2H_2O$	1,770
$O_3 + 2H^{1+} + 2e = O_2 + H_2O$	2,070
<b>ПЛЮМБУМ</b>	
$Pb^{2+} + 2e = Pb$	-0,126
$PbO_2 + H_2O + 2e = PbO + 2OH^{1-}$	0,280
$Pb^{4+} + 4e = Pb$	0,770
$PbO_2 + 4H^{1+} + 2e = Pb^{2+} + 2H_2O$	1,455
$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^{1+} + 2e = PbSO_4 + 2H_2O$	1,690
$Pb^{4+} + 2e = Pb^{2+}$	1,694
<b>СУЛЬФУР</b>	
$SO_4^{2-} + H_2O + 2e = SO_3^{2-} + 2OH^{1-}$	-0,930
$2SO_4^{2-} + 5H_2O + 8e = S_2O_3^{2-} + 10OH^{1-}$	-0,760
$SO_3^{2-} + 3H_2O + 4e = S + 6OH^{1-}$	-0,660
$2SO_3^{2-} + 3H_2O + 4e = S_2O_3^{2-} + 6OH^{1-}$	-0,580

Продовження таблиці А.1

$S + 2e = S^{2-}$	-0,480
$S_4O_6^{2-} + 2e = 2S_2O_3^{2-}$	0,090
$S + 2H^{1+} + 2e = H_2S$	0,171
$SO_4^{2-} + 10H^{1+} + 8e = H_2S + 4H_2O$	0,310
$SO_4^{2-} + 8H^{1+} + 6e = S + 4H_2O$	0,360
$H_2SO_3 + 4H^{1+} + 4e = S + 3H_2O$	0,450
$S_2O_3^{2-} + 6H^{1+} + 4e = 2S + 3H_2O$	0,500
$S_2O_8^{2-} + 2e = 2SO_4^{2-}$	2,010
<b>СТИБІЙ</b>	
$Sb + 3H^{1+} + 3e = SbH_3$	-0,510
$SbO_3^{1-} + H_2O + 2e = SbO_2^{1-} + 2OH^{1-}$	-0,430
$Sb^{3+} + 3e = Sb$	0,200
$SbO_2^{1-} + 4H^{1+} + 3e = Sb + 2H_2O$	0,446
<b>СТАНУМ</b>	
$Sn(OH)_6^{2-} + 2e = HSnO_2^{1-} + 3OH^{1-} + H_2O$	-0,930
$SnCl_4^{2-} + 2e = Sn + 4Cl^{1-}$	-0,190
$Sn^{2+} + 2e = Sn$	-0,140
$SnO_2 + 4H^{1+} + 4e = Sn + 2H_2O$	-0,106
$Sn^{4+} + 4e = Sn$	0,010
$Sn^{4+} + 2e = Sn^{2+}$	0,150
<b>ЦИНК</b>	
$Zn^{2+} + 2e = Zn$	-0,764

## Додаток Б

**Таблиця Б.1 – Константи дисоціації деяких слабких електролітів у водних розчинах за 25 °С**

Електроліт		K	pK = -lgK
Амоній гідроксид NH <sub>3</sub> · H <sub>2</sub> O		1,8 · 10 <sup>-5</sup>	4,75
Боратна кислота H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	K1	5,8 · 10 <sup>-10</sup>	9,24
	K2	1,8 · 10 <sup>-13</sup>	12,75
	K3	1,6 · 10 <sup>-14</sup>	13,80
Гіпохлоритна кислота HClO		5,0 · 10 <sup>-8</sup>	7,30
Карбонатна кислота H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	K1	4,5 · 10 <sup>-7</sup>	6,35
	K2	4,7 · 10 <sup>-11</sup>	10,33
Нітритна кислота HNO <sub>2</sub>		4,0 · 10 <sup>-4</sup>	3,40
Ацетатна кислота CH <sub>3</sub> COOH		1,8 · 10 <sup>-5</sup>	4,75
Сульфатна кислота H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	K2	1,2 · 10 <sup>-2</sup>	1,92
Сульфітна кислота H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	K1	1,6 · 10 <sup>-2</sup>	1,80
	K2	6,3 · 10 <sup>-8</sup>	7,21
Сульфідна кислота H <sub>2</sub> S	K1	6,0 · 10 <sup>-8</sup>	7,22
	K2	1,2 · 10 <sup>-15</sup>	14,92
Форміатна кислота HCOOH		1,8 · 10 <sup>-4</sup>	3,75
Фосфатна кислота H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	K1	7,5 · 10 <sup>-3</sup>	2,12
	K2	6,3 · 10 <sup>-8</sup>	7,20
	K3	1,3 · 10 <sup>-12</sup>	11,89
Фторидна кислота HF		6,6 · 10 <sup>-4</sup>	3,18
Ціанідна кислота HCN		7,9 · 10 <sup>-10</sup>	9,24

## Додаток В

**Таблиця В.1 – Розчинність і добуток розчинності деяких важкорозчинних речовин при кімнатній температурі**

Формула речовини	Розчинність		Добуток розчинності
	у г / л	у моль / л	
$\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$	3,2	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$10,4 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-12}$
$\text{MgNH}_4\text{PO}_4$	$8,6 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-13}$
$\text{MgC}_2\text{O}_4$	1,03	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-5}$
$\text{BaCO}_3$	$1,76 \cdot 10^{-2}$	$8,9 \cdot 10^{-5}$	$8,0 \cdot 10^{-9}$
$\text{BaC}_2\text{O}_4$	$7,47 \cdot 10^{-2}$	$3,32 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$
$\text{BaCrO}_4$	$3,93 \cdot 10^{-3}$	$1,55 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-10}$
$\text{BaSO}_4$	$2,42 \cdot 10^{-3}$	$1,04 \cdot 10^{-5}$	$1,08 \cdot 10^{-10}$
$\text{CaCO}_3$	$6,9 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-9}$
$\text{CaC}_2\text{O}_4$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$5,07 \cdot 10^{-5}$	$2,57 \cdot 10^{-9}$
$\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$	3,04	$0,78 \cdot 10^{-2}$	$1,93 \cdot 10^{-6}$
$\text{SrCrO}_4$	1,22	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$
$\text{SrSO}_3$	$3,36 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-16}$
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-10}$	$3,8 \cdot 10^{-38}$
$\text{FeS}$	$5,3 \cdot 10^{-8}$	$6,0 \cdot 10^{-10}$	$3,7 \cdot 10^{-19}$
$\text{Mn}(\text{OH})_2$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-14}$
$\text{MnS}$	$3,2 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-15}$
$\text{ZnS}$	$3,3 \cdot 10^{-10}$	$3,5 \cdot 10^{-12}$	$1,2 \cdot 10^{-23}$
$\text{AgCl}$	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-5}$	$1,56 \cdot 10^{-10}$
$\text{AgBr}$	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-7}$	$7,7 \cdot 10^{-13}$
$\text{AgI}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-16}$
$\text{PbCl}_2$	4,45	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
$\text{PbI}_2$	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \cdot 10^{-9}$
$\text{PbSO}_4$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$
$\text{PbS}$	$7,9 \cdot 10^{-18}$	$3,3 \cdot 10^{-15}$	$1,1 \cdot 10^{-29}$
$\text{HgS}$	$1,5 \cdot 10^{-24}$	$6,3 \cdot 10^{-27}$	$4,0 \cdot 10^{-53}$
$\text{CdS}$	$8,64 \cdot 10^{-13}$	$6,0 \cdot 10^{-15}$	$3,6 \cdot 10^{-29}$

Додаток Г

Таблиця Г.1 – Константи нестійкості деяких комплексів

Схема дисоціації комплексного іону	Константа нестійкості
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+ \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + 2\text{NH}_3$	$6,8 \cdot 10^{-8}$
$[\text{Ag}(\text{NO}_2)_2]^- \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + 2\text{NO}_2^-$	$1,8 \cdot 10^{-3}$
$[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	$1,1 \cdot 10^{-13}$
$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^- \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + 2\text{CN}^-$	$1,1 \cdot 10^{-21}$
$[\text{HgCl}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{Cl}^-$	$8,5 \cdot 10^{-16}$
$[\text{HgBr}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{Br}^-$	$1,0 \cdot 10^{-21}$
$[\text{HgI}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{I}^-$	$1,5 \cdot 10^{-30}$
$[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{CN}^-$	$4,0 \cdot 10^{-42}$
$[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 4\text{NH}_3$	$7,6 \cdot 10^{-8}$
$[\text{CdI}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 4\text{I}^-$	$3,0 \cdot 10^{-7}$
$[\text{Cd}(\text{SCN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 4\text{SCN}^-$	$1,7 \cdot 10^{-2}$
$[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 4\text{CN}^-$	$1,4 \cdot 10^{-17}$
$[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_3$	$2,1 \cdot 10^{-13}$
$[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 4\text{CN}^-$	$5,0 \cdot 10^{-31}$
$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 4\text{NH}_3$	$1,9 \cdot 10^{-9}$
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 6\text{CN}^-$	$1,0 \cdot 10^{-35}$
$[\text{AlF}_6]^{3-} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 6\text{F}^-$	$1,4 \cdot 10^{-20}$
$[\text{FeF}_3] \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + 3\text{F}^-$	$8,7 \cdot 10^{-13}$
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + 3\text{CN}^-$	$1,0 \cdot 10^{-44}$

## РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

### Базова

1. Челябієва В. М. Аналітична хімія : навчальний посібник / В. М. Челябієва, О. І. Сиза, О. Л. Гуменюк. – Чернігів, 2015. – 199 с.
2. Більченко М.М. Аналітична хімія. Залачі та вправи: навчальний посібник / Більченко М.М., Пшеничний Р.М. – суми: Університетська книга, 2015. – 205с.
3. Циганок Л.П. Аналітична хімія. Хімічні методи аналізу: навчальний посібник / Л.П.Циганок, Т.О.Бубель, А.Б.Вишнікін, О.Ю.Вашкевич; За ред. проф. Л.П.Циганок – Дніпропетровськ: ДНУ ім. О.Гончара, 2014.– 252 с.
4. Челябієва, В. М. Загальна хімія: конспект лекцій / В. М. Челябієва. – Чернігів : ЧДТУ, 2011. – 140 с.
5. Теоретичні основи та способи розв'язання задач з аналітичної хімії: Навчальний посібник. / О. А. Бугаєвський, А. В. Дрозд, Л. П. Логінова, О. О. Решетняк, О. І. Юрченко; Заг. ред. О. А. Бугаєвський. – Х.: ХНУ, 2003. – 320 с. Чернігів : ЧДТУ, 2011. – 140 с.
6. Сегеда А. С. Збірник задач і вправ з аналітичної хімії. Кількісний аналіз / А. С. Сегеда. – Київ: Фітосоціоцентр, 2005. – 491 с.

### Допоміжна

1. Гороновский И.Т., Назаренко Ю.П., Некряч К.Ф. Краткий справочник по химии. – К.: Наукова думка, 1977
2. Краткий справочник физико-химических величин / Под редакцией К.П. Мищенко, А.А. Равделя. Л.: Химия, 1984.
3. Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии / Ю. Ю. Лурье. – М.: Химия, 1989. – 448 с.

### Інформаційні ресурси

1. Навчально-інформаційний портал НУ «Чернігівська політехніка» <https://eln.stu.cn.ua>
2. Наукова бібліотека НУ «Чернігівська політехніка» <http://library2.stu.cn.ua/>