

Міністерство освіти і науки України
Східноукраїнський національний університет
імені Володимира Даля

Методичні вказівки
до виконання контрольної роботи

**«АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ
ТА ОСНОВИ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО АНАЛІЗУ»
частина 1
«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ. ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ»**

(для студентів заочної форми навчання спеціальності 226)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
Фармації, виробництва та технологій
протокол №5 від 15.12.2023 р.

Київ 2023

УДК 543

Методичні вказівки до виконання контрольної роботи з дисципліни “Аналітична хімія та основи фармацевтичного. Частина 1. Теоретичні основи аналітичної хімії. Якісний аналіз” (для студентів заочної форми навчання спеціальності 226 – Фармація, промислова фармація) / Укладачі: О.І. Захарова, Н.І. Пономаренко. - Київ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2023 – 70 с.

Методичне видання спрямоване на вивчення і засвоєння студентами самостійно та на підставі лекційного матеріалу дисципліни “Аналітична хімія та основи фармацевтичного аналізу» (розділи Якісний аналіз та Теоретичні основи аналітичної хімії). Методична розробка містить стислі теоретичні відомості, довідникові дані, приклади розв’язання типових задач та завдання контрольної роботи для студентів заочної форми навчання.

Укладачі:

О.І. Захарова, к.х.н., доцент
Н.І. Пономаренко, к.фарм.н., доцент

Рецензент:

В.Ю., Тарасов, д.т.н., професор

ЗМІСТ

| | |
|--|-----------|
| Вступ | |
| 1. Теоретичні основи аналітичної хімії | 4 |
| 1.1. Способи виразу концентрації розчинів | 4 |
| 1.2. Протолітичні рівноваги в розчинах кислот та основ | 12 |
| 1.3. Рівноваги в буферних розчинах | 15 |
| 1.4. Рівноваги в розчинах солей, які гідролізують | 19 |
| 1.5. Реакції іонного обміну | 24 |
| 1.6. Рівноваги в гетерогенних системах | 26 |
| 1.7. Рівноваги в окисно-відновних реакціях | 20 |
| 2. Якісний аналіз | 33 |
| 3. Додатки | |
| Таблиця 1 - Найважливіші фізичні сталі | 37 |
| Таблиця 2 - Формули для розрахунку рН | 38 |
| Таблиця 3 - Густина водних розчинів кислот та основ | 38 |
| Таблиця 4 - Константи іонізації важливіших кислот | 45 |
| Таблиця 5 - Константи іонізації важливіших основ | 54 |
| Таблиця 6 - Кислотно-основні індикатори | 55 |
| Таблиця 7 - Добуток розчинності | 56 |
| Таблиця 8 - Стандартні електродні потенціали (E°) при 25 °С | 59 |
| 4. Література | 68 |

Вступ

Аналітична хімія є фундаментальною хімічною дисципліною підготовки бакалаврів спеціальності 226 «Фармація, промислова фармація», яка пов'язує дисципліни фундаментального циклу із спеціальними. З одного боку, аналітична хімія є складовою частиною хімії і тому має тісний зв'язок з такими дисциплінами, як неорганічна, органічна, фізична і колоїдна хімії, а також широко використовує знання фізики, математики, обчислювальної техніки та ін. З другого боку, аналітична хімія відіграє суттєву роль у професійній підготовці фахівця з технології фармацевтичних препаратів, тому що дає знання та вміння, необхідні для засвоєння спеціальних дисциплін. Вона є не тільки основою вивчення методів технологічного контролю виробництва, контролю якості продукції, а й інструментом подальшого вдосконалення технологічних процесів, створення нових продуктів та засобом екологічного виховання майбутніх фахівців. Це відповідає вимогам до якості знань та вмінь особи, яка здобуває освітній рівень бакалавра.

Предметом аналітичної хімії є теорія та практика хімічного аналізу. Вивчення дисципліни передбачає такі види навчальних занять: лекції, лабораторні заняття, самостійну роботу, індивідуальну творчу роботу студентів під керівництвом викладача.

Метою вивчення дисципліни є оволодіння сучасними методами аналізу речовин та їх застосування для вирішення конкретних практичних завдань.

Вивчення аналітичної хімії відбувається в два етапи. Перший етап – це теоретичні основи аналітичної хімії та якісний аналіз, якій ґрунтується на хімічних реакціях. Первинні знання є базою для опанування другого етапу – кількісного аналізу, якій складається з класичного хімічного та сучасного інструментального аналізу.

Дана методична розробка призначена для студентів заочної форми навчання, які тільки починають вивчати аналітичну хімію. Методичні вказівки до виконання контрольної роботи містять стисли теоретичні відомості, приклади розв'язання та оформлення завдань, необхідний довідниковий матеріал, завдання контрольної роботи.

Студенти заочної форми навчання у III семестрі виконують контрольну роботу, яка складається з 7 завдань розрахункового характеру та одим комплексним завданням з якісного аналізу. Завдання контрольної роботи наведені в кінці кожного розділу, номер варіанту співпадає з номером завдання.

1. Теоретичні основи аналітичної хімії

1.1. Способи виразу концентрації розчинів

Масова частка розчиненої речовини $\omega(X)$ – це відношення маси розчиненої речовини $m(X)$ до маси розчину m_p :

$$\omega(X) = \frac{m(X)}{m_p} \cdot 100\% \quad (1)$$

Масову частку виражають у частках одиниці або у відсотках (% - сота частка одиниці).

Якщо масова частка натрію хлориду в розчині дорівнює 20%, це означає, що розчин масою 100 г містить 20 г натрію хлориду.

Молярна концентрація розчиненої речовини $c(X)$ – це кількість розчиненої речовини, що міститься в 1 дм³ (1 л) розчину. Молярна концентрація розчиненої речовини обчислюється як відношення кількості розчиненої речовини $\nu(X)$, до об'єму V розчину (розмірність – моль/дм³, або моль/л):

$$c(X) = c_M = \frac{\nu(X)}{V} = \frac{m(X)}{M(X) \cdot V} \quad (2)$$

де $\nu(X)$ або $n(X)$ – кількість речовини (моль); V – об'єм (дм³ або л).

Назви розчинів з різною молярною концентрацією розчиненої речовини:

$c = 1$ моль/дм³, або 1 М – одномолярний розчин;

$c = 0,1$ моль/дм³, або 0,1 М - децимолярний розчин;

$c = 0,01$ моль/дм³, або 0,01 М - сантимольярний розчин;

$c = 0,001$ моль/дм³, або 0,001 М - мілімолярний розчин.

На практиці також широко використовують **молярну концентрацію речовини еквівалента в розчині (c_H)**. Вона є відношенням кількості речовини еквівалента в розчині $\nu(X)$ до об'єму цього розчину (розмірність моль/дм³, або моль/л):

$$c_H(X) = \frac{\nu_{екв}(X)}{V} = \frac{m(X)}{M_E(X) \cdot V} \quad (3)$$

Якщо розчин містить 1 моль речовини еквівалента в 1 л, то його називають нормальним. Замість позначення одиниці вимірювання моль/дм³, або моль/л, можна використовувати скорочення «н» або «N». При використанні цих скорочень, необхідно вказувати $f_{екв}$. Наприклад, 0,1 N КІО₃ ($f_{екв}=1/6$) або 0,1 N (1/6 КІО₃).

Переваги використання розчинів з нормальною концентрацією полягають у тому, що розчини з однаковими нормальними концентраціями реагують в однакових об'ємах.

Якщо нормальні концентрації відрізняються, то вірне рівняння:

$$c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2 \quad (4)$$

Титр розчину - це виражена у грамах маса розчиненої речовини, що міститься в 1 см³ (1 мл) розчину. Титр $T(X)$ обчислюють як відношення маси розчиненої речовини $m(X)$ до об'єму розчину (розмірність г/см³, або г/мл):

$$T(X) = \frac{m(X)}{V} = \frac{c_H(X) \cdot M_E(X)}{1000} \quad (5)$$

Титр титранту за визначуваною речовиною (або умовний титр) $T(Y/X)$ – виражена в грамах маса визначуваної речовини X , що еквівалентна 1 мл титранту Y з теоретичною молярною концентрацією речовини еквівалента (розмірність г/см³, або г/мл):

$$T(T / X) = \frac{c_H(T) \cdot M_E(X)}{1000} \quad (6)$$

Приклади розв'язання типових задач

Приклад 1. Яку масу калій фосфату і який об'єм води потрібно взяти для приготування розчину масою 250 г з масовою часткою K_3PO_4 8 %?

Розв'язок. З формули (1) визначаємо масу речовини:

$$m(X) = m_{p-ny} \cdot \omega(X)$$

Отже, маса солі, яка потрібна для приготування розчину, складає $m(K_3PO_4) = 250 \cdot 0,08 = 20$ (г).

Маса розчину складається з маси речовини та маси розчинника. Знаходимо масу води, необхідну для приготування розчину:

$$m(H_2O) = m_{p-ny} - m(K_3PO_4) = 250 - 20 = 230 \text{ (г)}.$$

Прийнявши густину води такою, що дорівнює 1 г/см³ (в одиницях СІ її виражають у кг/м³, а в позасистемних одиницях – г/см³, або г/мл), визначаємо об'єм води:

$$V(H_2O) = \frac{m_{p-ny}}{\rho_{p-ny}} = \frac{230}{1} = 230 \text{ см}^3.$$

Приклад 2. Яку масу кристалогідрату $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ і який об'єм води потрібно взяти для приготування розчину кальцій хлориду масою 500 г з масовою часткою $CaCl_2$ 5 %?

Розв'язок. Спочатку з формули (1) визначаємо масу безводного кальцій хлориду $CaCl_2$, що міститься в 500 г розчину з масовою часткою 5 %:

$$m(CaCl_2) = 500 \cdot 0,05 = 25 \text{ (г)}.$$

Далі проводимо перерахунок на кристалогідрат, враховуючи, що $M(CaCl_2) = 111$ г/моль, а $M(CaCl_2 \cdot 6H_2O) = 219$ г/моль.

$$111 \text{ г } CaCl_2 - 219 \text{ г } CaCl_2 \cdot 6H_2O;$$

$$25 \text{ г } CaCl_2 - x \text{ г } CaCl_2 \cdot 6H_2O;$$

$$x = \frac{219 \cdot 25}{111} = 49,32 \text{ г.}$$

Отже, для приготування 500 г розчину з масовою часткою безводної солі 5 % потрібно взяти 49,3 г кристалогідрату $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Визначаємо масу води:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_{p\text{-ну}} - m(\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 500 - 49,32 = 450,68 \text{ г.}$$

Об'єм води складає $450,68 \text{ см}^3$, оскільки густина води ρ дорівнює 1 г/см^3 .

Приклад 3. Визначити об'єм концентрованої нітратної кислоти HNO_3 ($\omega(\text{HNO}_3) = 65\%$) і води, необхідні для приготування розчину масою 500 г з масовою часткою HNO_3 15 %.

Розв'язок. Визначаємо масу HNO_3 , яка має міститись у 500 г розчину з масовою часткою HNO_3 0,15 з формули (1):

$$m(\text{HNO}_3) = 500 \cdot 0,15 = 75 \text{ (г)}.$$

Така сама маса HNO_3 має міститись і в розчині m_1 з масовою часткою 0,65. Тому

$$m_1 = \frac{m(\text{HNO}_3)}{\omega_1(\text{HNO}_3)} = \frac{75}{0,65} = 115,38 \text{ г.}$$

За довідними даними густина 65 %-вого розчину HNO_3 складає $1,39 \text{ г/см}^3$. Визначимо об'єм концентрованої кислоти :

$$V_1 = \frac{m_1}{\rho} = \frac{115,38}{1,39} = 83,00 \text{ см}^3,$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 500 - 115,38 = 384,62 \text{ г, що становить } 384,62 \text{ см}^3.$$

Приклад 4. У лабораторії є розчин з масовою часткою натрій гідроксиду $\omega_1 = 30\%$, густина якого $\rho_1 = 1,33 \text{ г/см}^3$. Який об'єм цього розчину потрібно взяти для приготування 250 см^3 розчину з масовою часткою NaOH $\omega_2 = 14\%$ і густиною $\rho_2 = 1,15 \text{ г/см}^3$?

Розв'язок. Масу розчину натрій гідроксиду, який потрібно приготувати, знаходимо за формулою:

$$m_{p\text{-ну}} = V_{p\text{-ну}} \cdot \rho_{p\text{-ну}}$$

$$m_{p\text{-ну}}(\text{NaOH}) = 250 \cdot 1,15 = 287,5 \text{ г.}$$

Визначаємо масу розчиненої речовини в цьому розчині:

$$m(\text{NaOH}) = 287,5 \cdot 0,14 = 40,25 \text{ (г)}.$$

Така сама маса натрій гідроксиду має міститись у вихідному розчині масою m_1 з масовою часткою лугу 0,3:

$$m_1 = \frac{m(\text{NaOH})}{\omega_1(\text{NaOH})} = \frac{40,25}{0,3} = 134,17 \text{ г.}$$

Обчислимо об'єм розчину натрій гідроксиду з масовою часткою 0,3:

$$V_{1p\text{-ну}} = \frac{m_1}{\rho_1} = \frac{134,17}{1,33} = 100,88 \text{ см}^3.$$

Отже, потрібно виміряти мензуркою $100,88 \text{ см}^3$ розчину натрій гідроксиду ($\omega_1=0,3$), перелити його в мірну колбу місткістю 250 см^3 , довести об'єм розчину дистильованою водою до мітки на колбі й перемішати.

Можна також визначити об'єм води, який становитиме

$$V(\text{H}_2\text{O}) = V_{p-ny} - V_{I p-ny} = 250 - 100,88 = 149,12 \text{ (см}^3\text{)}.$$

Потім треба виміряти мензуркою цей об'єм води і змішати його в колбі з натрій гідроксидом об'ємом $100,88 \text{ см}^3$.

Приклад 5. До розчину масою 250 г з масовою часткою розчиненої речовини 10% долили 150 г води. Яка масова частка розчиненої речовини в отриманому розчині?

Розв'язок. Обчислюємо вміст речовини у вихідному розчині:

$$m_{pеч} = 250 \cdot 0,1 = 25 \text{ г.}$$

Визначаємо загальну масу отриманого розчину:

$$m_{I p-ny} = m_{p-ny} + m(\text{H}_2\text{O}) = 250 + 150 = 400 \text{ г.}$$

Оскільки до розчину добавляють тільки воду, то маса розчиненої речовини в отриманому розчині буде такою самою, як і у вихідному, отже:

$$\omega_1 = \frac{m_{pеч}}{m_1} = \frac{25}{400} = 0,0625, \text{ або } 6,25 \%$$

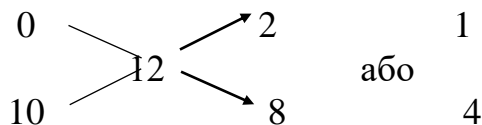
Приклад 6. Дано два розчини з масовою часткою натрій хлориду 10% і 20% . Яку масу кожного розчину потрібно взяти для одержання розчину масою 300 г з масовою часткою солі 12% ?

Розв'язок. Задачі такого типу розв'язують за правилом змішування, суть якого полягає ось у чому.

Записуємо масові частки вихідних розчинів одну під одною, а правіше, по діагоналі – масову частку речовини в розчині, який потрібно приготувати:

$$\begin{array}{ccc} 20 & & 12 \\ & & 10 \\ & & 10 \end{array}$$

Віднімаємо числа, як показано на схемі, і записуємо результат:



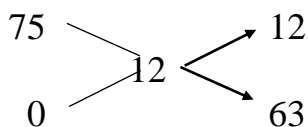
Числа 1 і 4 показують співвідношення, в якому потрібно взяти вихідні розчини. Розчину з масовою часткою 20% потрібно одну частину за масою, а з масовою часткою 10% – 4 частини, тобто їх треба змішати у співвідношенні $1 : 4$.

Розчин, який треба приготувати має складатись з 5 частин, причому на одну частину припадає $300 : 5 = 60 \text{ (г)}$. Отже, розчину з масовою часткою 20% потрібно 60 г , а другого – 240 г ($60 \cdot 4 = 240$).

Зазначимо, що при використанні правила змішування в деяких задачах воду можна розглядати як розчин з масовою часткою розчиненої речовини, що дорівнює нулю.

Приклад 7. Визначити об'єм розчину фосфатної кислоти з масовою часткою H_3PO_4 75 %, яку потрібно долити до $1,5 \text{ дм}^3$ води, щоб приготувати розчин з масовою часткою кислоти 12 %.

Розв'язок. Записуємо масові частки кислоти, як показано на схемі в попередньому прикладі, враховуючи, що вміст кислоти в чистій воді дорівнює нулю:



Отже,
$$\frac{m(75\%)}{m(H_2O)} = \frac{12}{63},$$

звідки,
$$m(75\%) = \frac{1500 \cdot 12}{63} = 285,7 \text{ г.}$$

Визначаємо об'єм розчину з масовою часткою 75 %, використовуючи табличні дані, які пов'язують густину і масову частку розчину ($\rho(H_3PO_4) = 1,58 \text{ г/см}^3$), отже:

$$V_{p-ny} = \frac{m}{\rho} = \frac{285,7}{1,58} = 180,82 \text{ см}^3.$$

Приклад 8. Який об'єм розчину з масовою часткою сульфатної кислоти 9,3 % (густина $1,05 \text{ г/см}^3$) потрібен для приготування $0,35 \text{ М}$ розчину H_2SO_4 об'ємом 400 см^3 ?

Розв'язок. Визначаємо кількість речовини H_2SO_4 , необхідної для приготування розчину за формулою:

$$v(H_2SO_4) = c_M \cdot V_{\text{д-іо}} = 0,35 \text{ моль/дм}^3 \cdot 0,4 \text{ дм}^3 = 0,14 \text{ моль.}$$

Знаходимо масу розчиненої речовини:

$$m(H_2SO_4) = v \cdot M(X) = 0,14 \text{ моль} \cdot 98 \text{ г/моль} = 13,72 \text{ г.}$$

Визначаємо масу розчину з масовою часткою кислоти 9,3 %, в якому міститься 13,72 г кислоти:

$$m_{p-ny} = \frac{m(H_2SO_4)}{\omega(H_2SO_4)} = \frac{13,72}{0,093} = 147,53 \text{ г,}$$

або за пропорцією

$$\begin{array}{rcl} 100 \text{ г р-ну} & - & 9,3 \text{ г } H_2SO_4 \\ x \text{ г р-ну} & - & 13,72 \text{ г } H_2SO_4 \end{array}$$

$$x = 147,53 \text{ г.}$$

Визначаємо об'єм розчину:

$$V_{p-ny} = \frac{m_{p-ny}}{\rho_{p-ny}} = \frac{147,53}{1,06} = 139,18 \text{ см}^3$$

Приклад 9. Який об'єм концентрованої хлоридної кислоти ($\rho = 1,198 \text{ г/см}^3$) потрібен для приготування розчину об'ємом 2 дм^3 з молярною концентрацією еквівалента $0,1 \text{ моль/дм}^3$?

Розв'язок. Визначаємо масу хлоридної кислоти, використовуючи формулу (3):

$$m(X) = c_H(X) \cdot V_{p-ny} \cdot M_E(X), \text{ звідки}$$

$$m(HCl) = 0,1 \cdot 2 \cdot 36,5 = 7,3 \text{ (г)}.$$

За даними таблиці (3) знаходимо масову частку вихідного розчину ω за даною в умові густиною (це розчин з масовою часткою HCl 40 %) і обчислюємо масу цього розчину:

$$m_{p-ny} = \frac{m(X)}{\omega(X)} = \frac{7,3}{0,4} = 18,25 \text{ г}.$$

Обчислюємо об'єм вихідного розчину кислоти, який треба взяти для приготування заданого розчину:

$$V_{p-ny} = \frac{m_{p-ny}}{\rho_{p-ny}} = \frac{18,25}{1,148} V_{p-ny} = 15,23 \text{ см}^3.$$

Приклад 10. Визначити молярність і молярну концентрацію еквівалента розчину, в якому масова частка сульфатної кислоти становить 12 % ($\rho = 1,08 \text{ г/см}^3$).

Розв'язок. Знаходимо молярність і молярну масу еквівалента кислоти, використовуючи формули (2) та (3):

$$M(H_2SO_4) = 98 \text{ г/моль}, M_E(H_2SO_4) = 98 : 2 = 49 \text{ г/моль};$$

$$c_M(H_2SO_4) = \frac{12 \cdot 1,08 \cdot 10}{98} = 1,32 \text{ (моль/дм}^3\text{)};$$

$$c_H(H_2SO_4) = \frac{12 \cdot 1,08 \cdot 10}{49} = 2,64 \text{ (моль/дм}^3\text{)}.$$

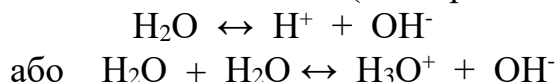
ЗАВДАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

1. Визначити відсоткову масову частку речовини у розчині, отриманого в результаті розчинення 90 г речовини в 180 см^3 води?
2. Скільки грамів Na_2SO_3 буде потрібно для приготування 5 дм^3 8 %-вого розчину, густина якого $1,05 \text{ г/см}^3$?
3. Скільки грамів HCl міститься в 250 см^3 10 %-вого розчину, густина якого $1,05 \text{ г/см}^3$?
4. Скільки грамів $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ треба розчинити в 250 см^3 води для одержання розчину, що містить 5 % безводної солі?
5. Яку кількість $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ і води треба взяти для приготування 3 кг розчину, що містить 4 % безводної солі?
6. Скільки моль $MnSO_4 \cdot 5H_2O$ необхідно додати до 100 моль води для одержання розчину, що містить 20 % безводної солі?
7. Скільки води необхідно додати до 200 см^3 20 %-вого розчину H_2SO_4 (густина $1,14 \text{ г/см}^3$), щоб одержати 5 %-вий розчин?
8. Скільки грамів KCl треба додати до 450 г 8 %-вого розчину тієї ж солі для одержання 12 %-вого розчину?
9. До 950 см^3 води додали 50 см^3 48 %-вого розчину H_2SO_4 (густина $1,38 \text{ г/см}^3$). Обчислити масову частку H_2SO_4 в отриманому розчині.

10. Який об'єм (дм³) 2,5 %-вого розчину NaOH (густина 1,03 г/см³), можна приготувати з 80 см³ 35 %-вого розчину (густина 1,38 г/см³).
11. Чому дорівнює молярна концентрація розчину, що містить у 3 дм³ 175,5г повареної солі?
12. Обчислити молярну концентрацію розчину, що містить у 2 дм³ 34,8 г K₂SO₄.
13. Скільки грамів NaOH необхідно взяти для приготування 125 см³ 0,15 М розчину?
14. Який об'єм 70 %-вого розчину H₂SO₄ (густина 1,622 г/см³) треба взяти для приготування 25,00 см³ 2 М розчину?
15. Скільки грамів HNO₃ міститься в 200 см³ 0,1 М розчину?
16. Скільки води треба додати до 200 см³ 1 н. розчину NaOH, щоб одержати 0,05 н. розчин?
17. До якого об'єму необхідно упарити 3,5 дм³ 0,04 н. розчину KOH для одержання 0,1 н. розчину?
18. До якого об'єму треба розбавити водою 2,4 дм³ 1,6 н. розчин HCl для одержання 0,25 н. розчину?
19. Скільки грамів HNO₃ міститься у 300 см³ 0,2 н. розчину?
20. Скільки см³ 0,1 н. розчину H₃PO₄ можна приготувати з 80 см³ 0,75 н. розчину?
21. Обчислити масу наважки Na₂HPO₄·12H₂O, яку необхідно взяти для приготування 1,0 дм³ 10 %-вого розчину, якщо густина такого розчину дорівнює 1,09 г/см³.
22. Який об'єм води треба додати до 600 см³ 0,5 М розчину NaOH для одержання 10 %-вого розчину?
23. Скільки см³ 95,6 %-вої сульфатної кислоти (густина 1,84 г/см³) необхідно додати до 1,00 дм³ 40 %-вого розчину (густина 1,037 г/см³) для одержання 50 %-вого розчину кислоти (густина 1,40 г/см³).
24. Скільки см³ розчину (густина 1,3г/см³) з масовою часткою сульфатної кислоти, 39,2% необхідно додати до 1200 см³ 0,16 н. розчину щоб одержати 0,2 н. розчин?
25. Скільки води необхідно додати до 200 см³ 20 %-вого розчину H₂SO₄ (густина 1,14 г/см³), щоб одержати 10 %-вий розчин?
26. Розрахувати масу броміду калію, необхідну для приготування 200 см³ 0,3 М розчину.
27. У якому об'ємі 0,1 М розчину сульфатної кислоти міститься 2,452 г речовини?
28. Яка масова частка карбонату натрію у 0,5 н. розчині (густина 1,026 г/см³)?
29. Знайти масу Na₂SO₄·10H₂O і об'єм води, необхідні для приготування 50 г 14,2 %-вого розчину сульфату натрію.
30. З 450 г 10 %-вого розчину видалили випарюванням 150 г води. Яка масова частка розчиненої речовини у новому розчині?

1.2. Протолітичні рівноваги в розчинах кислот та основ

У практиці аналітичної хімії найчастіше мають справи з водними розчинами кислот, основ чи солей, які є електролітами. У водних розчинах на поведінку кислот і основ впливає іонізація (автопротоліз) води:



Константа рівноваги цього процесу $K_w = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-14}$ – іонний добуток води за 25 °С.

Концентрація іонів гідрогену характеризує кислотність розчину. Кислотність середовища позначають водневим показником рН.

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]; \quad \text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] \quad (7)$$

У чистій воді $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-7}$ моль/дм³; $-\lg[\text{H}^+] = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg 10^{-7} = 7$;
Для води і розбавлених водних розчинів виконується рівність:

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14 \quad (8)$$

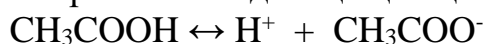
У розведених водних розчинах сильних одноосновних кислот і речовин, водні розчини яких мають властивості сильних кислот, рівноважна молярна концентрація іонів H^+ дорівнює молярній концентрації кислоти:

$$[\text{H}^+] = c(\text{HA}), \text{ тобто}$$
$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg c(\text{HA}) \quad (10)$$

У розведених водних розчинах сильних основ рівноважна молярна концентрація іонів OH^- дорівнює молярній концентрації сильної основи:

$$[\text{OH}^-] = c(\text{KtOH}), \quad \text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg c(\text{KtOH}), \text{ тобто}$$
$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 + \lg c(\text{KtOH}) \quad (11)$$

Реакції у водних розчинах слабких кислот і основ – це реакції між іонами. Будучи оборотним, процес дисоціації слабких кислот і основ характеризується константою рівноваги (константою дисоціації або іонізації). Наприклад, константа електролітичної дисоціації ацетатної кислоти:



$$K = \frac{[\text{CH}_3\text{COO}^-] \cdot [\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]}$$

де:

$[\text{H}^+]$ і $[\text{CH}_3\text{COO}^-]$ – рівноважні молярні концентрації катіонів і аніонів,
 $[\text{CH}_3\text{COOH}]$ – рівноважна молярна концентрація недисоційованих молекул електроліту.

За рівнянням дисоціації: $[\text{H}^+] = [\text{CH}_3\text{COO}^-]$, отже

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_a \cdot c} \quad (12)$$

Розрахунок рН у розчинах слабких кислот проводять за рівнянням:

$$\text{pH} = 1/2 \text{p}K_a - 1/2 \lg c_k \quad (13)$$

Розрахунок рН у розчинах слабких основ проводять за рівнянням:

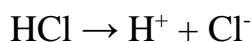
$$\text{pH} = 14 - 1/2 \text{p}K_b + 1/2 \lg c_{\text{осн}} \quad (14)$$

де: $\text{p}K = -\lg K$ – силовий показник слабкої кислоти або основи.

Приклади розв'язання задач

Приклад 11. Розрахувати рН розчину 0,05 моль/л хлоридної кислоти.

Розв'язок. Хлоридна кислота - сильний електроліт, тому у водних розчинах дисоціює повністю:



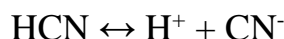
Отже, $[\text{H}^+] = [\text{Cl}^-] = 0,05$ моль/л.

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 0,05 = 1,31.$$

Відповідь: рН = 1,31

Приклад 12. Розрахувати $[\text{H}^+]$, рН в 0,4 %-вому розчині ціанатної кислоти.

Розв'язок. Ціанатна кислота – слабкий електроліт, тому у водних розчинах вона дисоціює не повністю відповідно рівнянню:



Константа рівноваги цього процесу називається константою дисоціації і дорівнює $K_a = 5,0 \cdot 10^{-10}$.

Отже у даному випадку концентрація іонів гідрогену залежить від константи дисоціації та концентрації кислоти (рівняння 12 та 13):

$$[\text{H}^+] = \sqrt{K_a \cdot c}, \text{ або } \text{pH} = 1/2\text{p}K_a - 1/2\lg c$$

Для переведення масової відсоткової частки $w, \%$ в молярну концентрацію користуються формулою:

$$C = \frac{10 \cdot w \cdot \rho}{M} = \frac{10 \cdot 0,4 \cdot 1}{27,02} = 0,143 \text{ моль/л}$$

Приймаємо $\rho = 1 \text{ г/см}^3$ унаслідок малої концентрації розчину HCN.

Розрахуємо $[\text{H}^+]$ та рН розчину:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{0,143 \cdot 5,0 \cdot 10^{-10}} = 8,06 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$$

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg(8,06 \cdot 10^{-6}) = 5,06.$$

Відповідь: рН = 5,06, $[\text{H}^+] = 8,06 \cdot 10^{-6}$ моль/л.

Приклад 13. Розрахувати $[\text{H}^+]$ і $[\text{OH}^-]$ в розчині, рН якого дорівнює 9,15.

Розв'язок. Згідно з визначенням $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+]$, тоді

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-9,15} = 7,08 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л.}$$

З іонного добутку води $K_w = [\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-14}$, розрахуємо $[\text{OH}^-]$:

$$[\text{OH}^-] = K_w / [\text{H}^+] = 10^{-14} / (7,08 \cdot 10^{-10}) = 1,41 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

Відповідь: $[\text{H}^+] = 7,08 \cdot 10^{-10}$ моль/л, $[\text{OH}^-] = 1,41 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

ЗАВДАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

1-30. Розрахуйте рН і концентрацію водневих іонів:

- а) 0,01 М водного розчину бензойної кислоти;
б) розчину, який містить у 500 см³ 2 г NaOH.
- а) 0,5 М водного розчину оцтової кислоти;
б) розчину, який отриманого розведенням водою 200 см³ 12 %-вого розчину КОН до 1 літра.

3. а) 0,1 М водного розчину форміатної кислоти;
б) розчину, який отримано при змішуванні 100 см³ 0,2 М розчину HCl зі 100 см³ 0,1 М розчину KOH.
4. а) 0,001 М водного розчину ціанової кислоти;
б) 0,2 н. водного розчину амоніаку.
5. а) 0,05 М розчину дихлороцтової кислоти;
б) розчину, що містить 0,56 г KOH в одному літрі.
6. а) 0,03 М розчину мурашиної кислоти;
б) 0,01 н. розчину калію гідроксиду.
7. а) 0,002 М розчину нітратної кислоти;
б) розчину, який утворюється при змішуванні 70 см³ 0,2 н. розчину NaOH з 30 см³ 0,4 н. розчину HCl.
8. а) 0,05 М розчину метиламіну;
б) розчину, який містить у 750 см³ 4,5 г оцтової кислоти.
9. а) 0,05 М розчину карбонатної кислоти, враховуючи перший ступінь дисоціації;
б) 0,01 н. водного розчину амоніаку.
10. а) 0,03 М водного розчину сірководню;
б) розчину, який містить у 500 см³ 2 г NaOH.
11. а) 0,02 М розчину нітритної кислоти;
б) 0,2 %-вого розчину гідроксиду барію.
12. а) 0,03 М розчину ортофосфорної кислоти;
б) розчину, який містить у 200 см³ 1,12 г KOH.
13. а) 0,04 М розчину флуоридної кислоти;
б) розчину, який отримано розведенням водою 100 см³ 10 %-вого розчину KOH до одного літру.
14. а) 0,017 М розчину сульфатної кислоти;
б) 0,1 н. розчину NaOH.
15. а) 0,2 М розчин бензоатної кислоти;
б) 0,1 н. розчину KOH, ступінь дисоціації якого 90 %.
16. а) 0,06 М розчину селенатної кислоти;
б) 10 см³ 0,01 н. розчину KOH, який розбавили водою до 100 см³.
17. а) 0,04 М розчину телуратної кислоти;
б) 0,1 М розчину NaOH, ступінь дисоціації якого 84 %.
18. а) 0,1 н. розчину хлоридної кислоти;
б) при змішуванні 10 см³ 0,15 н. розчину NaOH і 10 см³ 0,2 н. розчину HCl.
19. а) розчину, отриманого розведенням водою 10 см³ 5 %-вого розчину сульфатної кислоти до 100 см³;
б) при змішуванні 10 см³ 0,07 н. розчину KOH і 15 см³ 0,05 н. розчину HCl.
20. а) розчину 0,23 % форміатної кислоти (густина прийняти рівній одиниці);
б) 0,5 %-вого розчину KOH.
21. а) розчину, який містить у 750 см³ 4,5 г етанової кислоти.

- б) 5 М розчину HCl.
22. а) 0,002 н. розчину нітратної кислоти;
б) 0,5 %-вого розчину NH₄OH.
23. а) 0,005 н. розчину хлоридної кислоти;
б) 0,2 н. розчину NH₄OH.
24. а) розчину, отриманого розведенням водою 10 см³ 49 %-вого розчину нітратної кислоти до 500 см³;
б) 0,1 н. розчину KOH.
25. а) розчину, 200 см³ якого містить 1,2 г оцтової кислоти;
б) 0,1 н. розчину сульфатної кислоти.
26. а) розчину, отриманого розведенням водою 200 мл 12 %-вого розчину нітратної кислоти до 2 літрів;
б) 0,5 н. розчину NaOH.
27. а) розчину мурашиної кислоти, 100 см³ якого містить 0,46 г кислоти;
б) 0,5 %-вого розчину HCl.
28. а) 0,01 н. розчину бензойної кислоти ($K_a = 6,6 \cdot 10^{-5}$);
б) розчину, який містить 0,98 г сульфатної кислоти в одному літрі.
29. а) 6 %-вого розчину оцтової кислоти;
б) розчину, який отримано змішуванням 80 см³ 0,6 %-вого розчину NH₄OH і 50 см³ води..
30. а) розчину, у 100 см³ якого розчинено 0,56 г KOH;
б) 0,01 М водного розчину амоніаку.

1.3. Рівноваги в буферних розчинах

Для забезпечення сталого значення рН у хімічних і біологічних системах використовують буферні розчини. Буферний розчин перешкоджає зміні рН, яка може траплятися при розведенні розчину або при додаванні до нього сильної кислоти чи сильної основи.

Буферні розчини – це суміш слабкої кислоти і солі цієї кислоти, або суміш слабкої основи і солі цієї основи, або суміш розчинів солей багатьох основних кислот різного ступеня заміщення.

Наприклад:

Ацетатна буферна суміш - CH₃COOH + CH₃COONa

Амоніачна буферна суміш – NH₄OH + NH₄Cl

Фосфатна буферна суміш – NaH₂PO₄ + Na₂HPO₄

Величина рН, за якої проявляється буферна дія суміші, залежить від співвідношення у буферному розчині концентрацій спряжених кислоти і основи, від константи іонізації слабкої кислоти чи основи, які входять до складу суміші.

Якщо буферний розчин є сумішшю слабкої кислоти і солі цієї кислоти, то рН розраховують за формулою:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = \text{pK}_a - \lg \frac{c_{\text{кисл}}}{c_{\text{соли}}} \quad (15)$$

Якщо буферний розчин є сумішшю слабкої основи і солі цієї основи, то pH розраховують за формулою:

$$\text{pH} = 14 - \text{pK}_b + \lg \frac{c_{\text{осн}}}{c_{\text{соли}}} \quad (16)$$

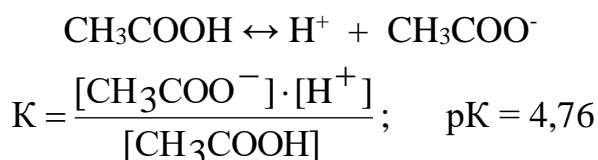
Якщо буферний розчин є сумішшю розчинів солей багато основних кислот різного ступеня заміщення, то pH розраховують за формулою:

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = \text{pK}_a - \lg \frac{c_{\text{кисл}}}{c_{\text{соли}}} \quad (17)$$

Приклади розв'язання задач

Приклад 14. Розрахувати pH ацетатної буферної суміші, яка містить у 1 дм³ розчину 0,2 моль кожного з компонентів. Як зміниться pH при додаванні до 1 дм³ суміші: а) 0,01 моль HCl; б) 0,01 моль NaOH.

Розв'язок. До складу ацетатної буферної суміші входить ацетатна кислота і натрію ацетат. Ацетатна кислота – слабкий електроліт і дисоціює за рівнянням:



Натрію ацетат – сильний електроліт, дисоціює повністю:



У присутності однойменних іонів рівновага дуже зміщена ліворуч, тобто концентрацію кислоти можна прийняти рівною її початковій концентрації:

$$[\text{CH}_3\text{COOH}] = c_{\text{кислоти}}.$$

Унаслідок того, що ацетатна кислота – слабкий електроліт, то майже всі CH₃COO⁻ - іони утворюються внаслідок дисоціації солі:

$$[\text{CH}_3\text{COO}^-] = c_{\text{соли}}.$$

Визначаємо [H⁺]:

$$[\text{H}^+] = K \cdot \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

Визначаємо pH ацетатної буферної суміші за формулою (15):

$$c_{\text{кисл}} = c_{\text{соли}} = 0,2 \text{ моль/дм}^3;$$

$$pH_1 = 4,76 - \lg \frac{0,2}{0,2} = 4,76$$

Якщо до 1 дм³ суміші додати 0,01 моль HCl, то внаслідок реакції між HCl і CH₃COONa концентрація ацетатної кислоти зросте до 0,21 моль/дм³, а концентрація CH₃COO⁻ іонів знизиться до 0,19 моль/дм³.

$$\text{Тоді: } pH_2 = 4,76 - \lg \frac{0,21}{0,19} = 4,72$$

Якщо до 1 дм³ суміші додати 0,01 моль NaOH, то внаслідок взаємодії NaOH і CH₃COOH концентрація [CH₃COO⁻]- іонів зросте до 0,21 моль/дм³, а концентрація ацетатної кислоти знизиться до 0,19 моль/дм³.

$$\text{Тоді: } pH_3 = 4,76 - \lg \frac{0,19}{0,21} = 4,80$$

Відповідь: pH₁ = 4,76; pH₂ = 4,72; pH₃ = 4,80.

Приклад 15. Розрахувати буферну ємність ацетатної буферної суміші, яка містить у 1 л розчину по 1 молю кожного з компонентів.

Розв'язок. Кількісно буферну ємність визначають як кількість речовини сильної кислоти або основи, яку необхідно додати до 1 л розчину, щоб змінити його рН на одиницю.

За даними задачі співвідношення $c_{\text{кисл}}/c_{\text{соли}}=1$, тому $pH=pK=4,76$.

1) Щоб зменшити рН на одиницю, тобто збільшити концентрацію гідроген-іонів в 10 разів, необхідно додати до розчину таку кількість моль кислоти, щоб співвідношення $c_{\text{кисл}}/c_{\text{соли}}=10$.

При збільшенні кількості моль кислоти на x , кількість моль солі зменшується також на x . Таким чином, можна скласти рівняння:

$$\frac{1+x}{1-x} = 10; \text{ звідки } x = 9:11 = 0,818 \text{ моль/л.}$$

Для перевірки правильності нашого рішення розрахуємо концентрацію гідроген-іонів та рН розчину після додавання 0,818 моль хлоридної кислоти:

$$[H^+] = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{1,818}{0,182} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л, } pH=3,76; \Delta pH=1.$$

2) Розрахуємо кількість лугу для збільшення рН розчину на одиницю. У цьому випадку до розчину треба додати стільки моль лугу, щоб співвідношення $c_{\text{кисл}}/c_{\text{соли}} = 0,1$. Додавання y моль лугу зменшить кількість кислоти, та збільшить кількість солі у суміші на y моль:

$$\frac{1-y}{1+y} = 0,1; \text{ звідки } y = 0,818 \text{ моль/л.}$$

При перевірці рішення знаходимо:

$$[H^+] = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{0,182}{1,818} = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л, } pH=5,76; \Delta pH=1.$$

Відповідь: Буферна ємність 1 л даної ацетатної буферної суміші складає 0,818 моль хлоридної кислоти та 0,818 моль лугу.

ЗАВДАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

1-30. Визначити $[H^+]$ і рН буферного розчину. Написати рівняння реакцій взаємодії його з невеликими кількостями сильних кислот і основ. Пояснити дію буферного розчину по регулюванню $[H^+]$ і $[OH^-]$ у водному розчині при додаванні кислот і лугів.

1. Суміш рівних об'ємів 0,5 М розчину KH_2PO_4 і 0,5 М розчину K_2HPO_4 .
2. Суміш рівних об'ємів 0,1 М розчину $HCOOH$ і 1 н. розчину $HCOONa$.
3. Суміш рівних об'ємів 0,5 М розчину CH_3COOH і 0,5 М розчину CH_3COONa .
4. Суміш рівних об'ємів 1 М розчину $HCOOH$ і 1 М розчину $HCOOK$.
5. Суміш рівних об'ємів 0,5 М розчину NH_4OH і 0,5 М розчину NH_4Cl .
6. Суміш рівних об'ємів 1 М розчину KH_2PO_4 і 1 М розчину K_2HPO_4 .
7. Суміш 25 cm^3 0,2 М розчину CH_3COOH і 15 cm^3 0,1 М розчину CH_3COONa .
8. Розчину, який утворюється при додаванні 23 г $HCOOH$ і 21 г $HCOOK$ до 2 dm^3 води.
9. Суміш 100 cm^3 0,0375 М розчину CH_3COOH і 0,102 г CH_3COONa .
10. Суміш 50 cm^3 0,1 М розчину KH_2PO_4 і 25 cm^3 0,2 М розчину K_2HPO_4 .
11. Суміш 30 cm^3 0,1 М розчину Na_2CO_3 і 15 cm^3 0,1 М розчину $NaHCO_3$.
12. Суміш 70 cm^3 0,2 М розчину KH_2Cit і 30 cm^3 0,1 М розчину K_2HCit , де Cit^{3-} - аніон лимонної кислоти.
13. Суміш 30 cm^3 0,1 М розчину оцтової кислоти і 50 cm^3 0,3 М розчину ацетату натрію.
14. Суміш 25 cm^3 0,03 М розчину фтороводневої кислоти і 40 cm^3 0,2 М розчину калію фториду.
15. Суміш 40 cm^3 0,2 М розчину ціанової кислоти і 10 cm^3 0,02 М розчину ціанату натрію.
16. Суміш 20 cm^3 0,05 М розчину азотистої кислоти і 40 cm^3 0,02 М розчину натрію нітриту.
17. Суміш 10 cm^3 0,2 М розчину пропіонової кислоти і 70 cm^3 2 М розчину пропіонату калію.
18. Суміш 50 cm^3 0,5 М розчину монохлороцтової кислоти і 200 cm^3 0,5 М розчину монохлороцетату калію.
19. Суміш рівних об'ємів 1 М розчинів $HCOOH$ і $HCOOK$.
20. Суміш рівних об'ємів 1 М водних розчинів амоніаку і хлористого амонію.
21. Суміш рівних об'ємів 0,2 М розчину $HCOOH$ і 0,2 М розчину $HCOOK$.
22. Суміш 50 cm^3 1 М розчину CH_3COOH і 100 cm^3 0,1 М розчину $NaOH$.
23. Суміш рівних об'ємів 1 н. розчину CH_3COOH і 0,1 н. розчину CH_3COONa .
24. Суміш рівних об'ємів 0,1 М розчинів NH_4OH і NH_4Cl .
25. Суміш рівних об'ємів 0,1 н. розчину NH_4OH і 1 н. розчину NH_4NO_3 .
26. Суміш 1 н. розчину $HCOOH$ і 0,1 н. розчину $NaOH$ однакового об'єму.

27. Суміш 100 см³ 0,1 М розчину НСООН і 50 см³ 0,1 М розчину NaOH.
 28. Суміш рівних об'ємів 1 М розчину КН₂РО₄ і 1 М розчину К₂НРО₄.
 29. Суміш 25 см³ 0,2 М розчину СН₃СООН і 15 см³ 0,1 М розчину СН₃СООNa).
 30. Розчину, який утворюється при додаванні 10 г НСООН і 10 г НСООК до 1 дм³ води.

1.4. Рівноваги в розчинах солей, які гідролізують

Гідроліз – це взаємодія іонів розчиненої речовини з водою, що може приводити до зміни значення рН розчину.

Реакції гідролізу використовуються у якісному аналізі як характерні реакції відкриття ряду катіонів і аніонів, для регулювання рН і рОН розчинів тощо.

Залежно від складу солей є такі типи реакцій гідролізу:

- гідроліз солі, яка при дисоціації у водному розчині утворює катіон сильної основи та аніон слабкої кислоти (гідроліз за аніоном);
- гідроліз солі, яка при дисоціації у водному розчині утворює катіон слабкої основи та аніон сильної кислоти (гідроліз за катіоном);
- гідроліз солі, яка при дисоціації у водному розчині утворює катіон слабкої основи та аніон слабкої кислоти (гідроліз за катіоном і аніоном).

Сіль, яка при дисоціації у водному розчині утворює катіон сильної основи та аніон сильної кислоти, не піддається гідролізу.

Кількісно гідроліз, як оборотний процес, можна характеризувати двома величинами: ступенем (h) і константою гідролізу (K_Г).

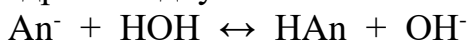
Ступінь гідролізу (h) - це відношення молярної концентрації солі, що гідролізувала, до загальної молярної концентрації солі у цьому розчині:

$$h = \frac{c_{\text{Гідр}}}{c_{\text{заг}}} \quad (18)$$

Константою гідролізу (K_Г) називається відношення добутку молярних концентрацій речовин продуктів гідролізу до молярної концентрації речовин негідролізованих іонів солі у розчині.

Перший тип гідролізу солей

Загальна форма запису рівняння реакції гідролізу солі типу Kt⁺An⁻, коли гідроліз відбувається за аніоном:



Константу гідролізу та ступінь гідролізу розраховують за формулами:

$$\hat{E}_a = \frac{\hat{E}_w}{K_a} \quad (19)$$

$$h = \sqrt{\frac{K_a}{\tilde{n}_{\text{ніє}^3}}} = \sqrt{\frac{\hat{E}_w}{K_a \cdot \tilde{n}_{\text{ніє}^3}}} \quad (20)$$

$$\text{pH} = 1/2 \text{pK}_w + 1/2 \text{pK}_a + 1/2 \lg c_{\text{солі}} \quad (21)$$

Другий тип гідролізу солей

Загальна форма запису рівняння реакції гідролізу солі типу Kt^+An^- , коли гідроліз відбувається за катіоном:



Константу гідролізу та ступінь гідролізу розраховують за формулами:

$$K_r = \frac{K_w}{K_b} \quad (22)$$

$$h = \sqrt{\frac{K_r}{c_{\text{соли}}}} = \sqrt{\frac{K_w}{K_b \cdot c_{\text{соли}}}} \quad (23)$$

$$pH = \frac{1}{2} pK_w - \frac{1}{2} pK_b - \frac{1}{2} \lg c_{\text{соли}} \quad (24)$$

Третій тип гідролізу солей

Загальна форма запису рівняння реакції гідролізу солі типу Kt^+An^- , коли гідроліз відбувається за катіоном і аніоном:



Константу гідролізу та ступінь гідролізу розраховують за формулами:

$$K_a = \frac{K_w}{K_a \cdot K_b} \quad (25)$$

$$\frac{h}{1-h} = \sqrt{K_r} \quad (26)$$

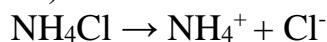
$$pH = \frac{1}{2} pK_w + \frac{1}{2} pK_a - \frac{1}{2} pK_b \quad (27)$$

Приклади розв'язання задач

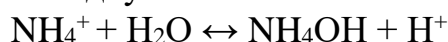
Приклад 16.

Розрахувати константу гідролізу і pH розчину амонію хлориду з молярною концентрацією 0,1 моль/л.

Розв'язок. NH_4Cl – сіль, яка утворена катіоном слабкої основи ($K_{\text{осн}}=1,76 \cdot 10^{-5}$) і аніоном сильної кислоти.



Гідроліз відбувається за катіоном:



Для солей такого типу скористаємося рівнянням (22):

$$K_r = \frac{K_w}{K_{NH_4OH}} = \frac{10^{-14}}{1,76 \cdot 10^{-5}} = 5,68 \cdot 10^{-10}$$

Розрахуємо ступінь гідролізу солі (23):

$$h = \sqrt{\frac{K_r}{C_{\text{NH}_4\text{Cl}}}} = \sqrt{\frac{5,68 \cdot 10^{-10}}{10^{-1}}} = 7,4 \cdot 10^{-5}.$$

Значення рН розрахуємо за формулою (24):

$$\text{pH} = 7 - \frac{1}{2} \text{p} K_b - \frac{1}{2} \lg c_{\text{соли}}.$$

Підставимо числові значення величин у рівняння:

$$\text{pH} = 7 - 2,38 + 0,5 = 5,12.$$

Відповідь: $K_r = 5,68 \cdot 10^{-10}$; $\text{pH} = 5,12$.

ЗАВДАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

1. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: хлорид амонію, ортофосфат натрію, ацетат заліза (III). Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину амонію хлориду з молярною концентрацією 0,01 моль/л.
2. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: карбонат амонію, хлорид олова (II), ацетат натрію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину ацетату натрію з молярною концентрацією 0,1 моль/л.
3. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: хлорид амонію, сульфід натрію, ацетат заліза, хлорид калію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину ацетату заліза з молярною концентрацією 0,12 моль/л.
4. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: карбонат амонію, хлорид олова, ортофосфат натрію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину ортофосфату натрію з молярною концентрацією 0,05 моль/л.
5. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: хлорид натрію, нітрат цинку, алюмінат натрію, ціанід амонію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину ціаніду амонію з молярною концентрацією 0,3 моль/л.
6. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: карбонат натрію, сульфат цинку, ацетат алюмінію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину ацетату алюмінію з молярною концентрацією 0,2 моль/л.
7. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: нітрат барію, ацетат калію, сульфат амонію, сульфат міді. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук?

- Розрахувати константу гідролізу і рН розчину сульфату амонію з молярною концентрацією 0,01 моль/л.
8. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: сульфід амонію, хлорид свинцю, ацетат калію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину ацетату калію з молярною концентрацією 0,02 моль/л.
 9. Складіть молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: карбонат натрію, хлорид заліза (III), ацетат амонію, нітрит калію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину нітриту калію з молярною концентрацією 0,001 моль/л.
 10. Складіть молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: нітрат барію, ацетат кальцію, сульфід амонію, сульфат міді. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину ацетату кальцію з молярною концентрацією 0,03 моль/л.
 11. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: сульфід калію, нітрит натрію, карбонат калію, ацетат калію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину сульфід калію з молярною концентрацією 0,009 моль/л.
 12. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: сульфід амонію, нітрат алюмінію, карбонат кальцію, нітрат свинцю. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину нітрату свинцю з молярною концентрацією 0,01 моль/л.
 13. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: хлорид алюмінію, фосфат калію, сульфід натрію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз наведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину сульфід натрію з молярною концентрацією 0,001 моль/л.
 14. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: хлорид олова, сульфід натрію, сульфат калію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину ацетату натрію з молярною концентрацією 0,015 моль/л.
 15. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: нітрат натрію, хлорид сурми, сульфід калію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину ацетату кальцію з молярною концентрацією 0,5 моль/л.
 16. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: хлорид заліза, карбонат натрію, нітрат калію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як

- зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину хлориду заліза з молярною концентрацією 0,005 моль/л.
17. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: нітрат натрію, ацетат алюмінію, хлорид амонію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину ацетату амонію з молярною концентрацією 0,003 моль/л.
 18. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: хлорид вісмуту, фосфат натрію, сульфід натрію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину фосфату натрію з молярною концентрацією 0,01 моль/л.
 19. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: карбонат калію, нітрат свинцю, хлорид натрію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як знизити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину ацетату натрію з молярною концентрацією 0,004 моль/л.
 20. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: сульфід амонію, нітрит натрію, хлорид заліза. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину нітриту натрію з молярною концентрацією 0,04 моль/л.
 21. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: карбонат амонію, нітрат ртуті, хлорид калію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину карбонату натрію з молярною концентрацією 0,007 моль/л.
 22. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: ацетат заліза, нітрат амонію, сульфат алюмінію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину ацетату заліза з молярною концентрацією 0,008 моль/л.
 23. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: хлорид хрому, гідрокарбонат амонію, нітрат срібла. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину нітрату срібла з молярною концентрацією 0,08 моль/л.
 24. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: сульфат хрому, хлорид барію, бромід натрію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину броміду натрію з молярною концентрацією 0,001 моль/л.

25. Складіть молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: нітрит калію, нітрит кальцію, хлорат амонію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину хлорату амонію з молярною концентрацією 0,061 моль/л.
26. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: сульфат амонію, перхлорат кальцію, йодид калію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину йодиду калію з молярною концентрацією 0,16 моль/л.
27. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: сульфід калію, сульфід калію, фосфат натрію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину фосфату натрію з молярною концентрацією 0,13 моль/л.
28. Складіть молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: сульфід барію, карбонат калію, арсенат натрію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину сульфиду барію з молярною концентрацією 0,012 моль/л.
29. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: гідросульфід калію, перхлорат натрію, ціанід амонію. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину ціаніду амонію з молярною концентрацією 0,02 моль/л.
30. Скласти молекулярні та іонні рівняння гідролізу солей: гідросульфід натрію, сульфат цинку, нітрат міді. Яка реакція розчинів цих сполук? Як зменшити чи підсилити гідроліз приведених сполук? Розрахувати константу гідролізу і рН розчину сульфу цинку з молярною концентрацією 0,002 моль/л.

1.5. Реакції іонного обміну

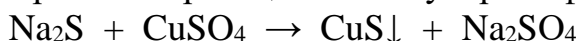
Умовами перебігу реакцій іонного обміну є утворення:

- 1) молекул малорозчинних сполук;
- 2) молекул слабких електролітів, у тому числі й молекул води;
- 3) летких та газоподібних сполук;
- 4) стійких комплексів.

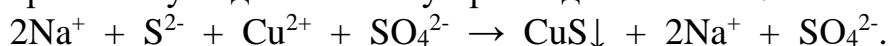
Приклади розв'язання задач

Приклад 17. Складіть рівняння реакції, що відбувається у водному розчині між сульфідом натрію і сульфатом міді (II) в молекулярній, іонній і скороченій іонній формах.

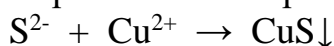
Розв'язок. Складаємо рівняння реакції в молекулярній формі:



Складаємо рівняння реакції в іонній формі, зображаючи формули розчинних сильних електролітів у вигляді іонів, на які вони дисоціюють практично повністю, а формули решти речовин тих, що випадають в осад, виділяють у вигляді газу, або слабких електролітів, залишаємо без змін. Під час складання іонного рівняння необхідно використовувати таблицю розчинності речовин у воді. У нашому прикладі матимемо:



Виключаємо з правої і лівої частин рівняння однакові кількості однойменних іонів і записуємо рівняння в скороченій іонній формі:



ЗАВДАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

1-30. Скласти іонні і молекулярні рівняння реакцій взаємодії у водних розчинах наступних сполук:

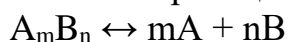
1. а) $\text{FeCl}_3 + \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \rightarrow$
б) $\text{Na}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
в) $\text{Pb}(\text{OH})_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
2. а) $\text{CaCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$
б) $\text{FeCl}_3 + \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \rightarrow$
в) $\text{SrCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow$
3. а) $\text{Bi}(\text{OH})_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
б) $\text{Sn}(\text{OH})_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
в) $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + \text{KI}(\text{над.}) \rightarrow$
4. а) $\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow$
б) $\text{AlPO}_4 + \text{NaOH}(\text{над.}) \rightarrow$
в) $\text{CoCl}_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow$
5. а) $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH} \rightarrow$
б) $\text{CaCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow$
в) $\text{BaCl}_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$
6. а) $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow$
б) $\text{CoCl}_2 + \text{NH}_4\text{SCN}(\text{над.}) \rightarrow$
в) $\text{FeCl}_3 + \text{NH}_4\text{SCN} \rightarrow$
7. а) $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NaOH} \rightarrow$
б) $\text{KCl} + \text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] \rightarrow$
в) $\text{CuSO}_4 + \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \rightarrow$
8. а) $\text{BaCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow$
б) $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NaOH} \rightarrow$
16. а) $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 + (\text{NH}_4)_2\text{S} \rightarrow$
б) $\text{CrPO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow$
в) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{K}_2\text{CrO}_4 \rightarrow$
17. а) $\text{MgNH}_4\text{PO}_4 + \text{HCl} \rightarrow$
б) $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{NH}_3(\text{над.}) \rightarrow$
в) $\text{Sn}(\text{OH})_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
18. а) $\text{Bi}(\text{OH})_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
б) $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + \text{KI} \rightarrow$
в) $\text{FeCl}_3 + \text{NaOH} \rightarrow$
19. а) $\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow$
б) $\text{AlPO}_4 + \text{NaOH}(\text{над.}) \rightarrow$
в) $\text{CoCl}_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow$
20. а) $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow$
б) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{HCl} \rightarrow$
в) $\text{Ag}_2\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow$
21. а) $\text{Cu} + \text{HNO}_3 \rightarrow$
б) $\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{HCl} \rightarrow$
в) $\text{CoCl}_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow$
22. а) $\text{Bi}_2\text{S}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
б) $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH} \rightarrow$
в) $\text{CaCO}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow$
23. а) $\text{BaCl}_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$
б) $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_3(\text{над.}) \rightarrow$

- в) $Zn(NO_3)_2 + H_2S \rightarrow$
9. а) $AgNO_3 + NH_3$ (над.) \rightarrow
 б) $SrCO_3 + CH_3COOH \rightarrow$
 в) $Zn + HCl \rightarrow$
10. а) $FeCl_3 + K_4[Fe(CN)_6] \rightarrow$
 б) $Pb(OH)_2 + NaOH \rightarrow$
 в) $CuSO_4 + NH_3$ (над.) \rightarrow
11. а) $As_2S_3 + (NH_4)_2S \rightarrow$
 б) $BaCO_3 + CH_3COOH \rightarrow$
 в) $AgNO_3 + KI \rightarrow$
12. а) $Al(NO_3)_3 + (NH_4)_2S \rightarrow$
 б) $Na_2SnO_2 + HCl$ (над.) \rightarrow
 в) $HgI_2 + KI$ (над.) \rightarrow
13. а) $BaCO_3 + HCl \rightarrow$
 б) $BaCl_2 + K_2Cr_2O_7 + H_2O \rightarrow$
 в) $NH_4Cl + NaOH \rightarrow$
14. а) $FeCl_3 + K_4[Fe(CN)_6] \rightarrow$
 б) $Na_2S + H_2SO_4 \rightarrow$
 в) $Pb(OH)_2 + HNO_3 \rightarrow$
15. а) $SrCO_3 + CH_3COOH \rightarrow$
 б) $FeCl_3 + NaOH \rightarrow$
 в) $BaCO_3 + HCl \rightarrow$
- в) $FeCl_3 + NH_4SCN \rightarrow$
24. а) $Cd(NO_3)_2 + NH_3$ (над.) \rightarrow
 б) $Pb(NO_3)_2 + H_2S \rightarrow$
 в) $NH_4Cl + NaOH \rightarrow$
25. а) $Cu + HNO_3 \rightarrow$
 б) $CaCO_3 + CH_3COOH \rightarrow$
 в) $Co(NO_3)_2 + NH_3$ (над.) \rightarrow
26. а) $NH_4Cl + NaOH \rightarrow$
 б) $FeCl_3 + K_4[Fe(CN)_6] \rightarrow$
 в) $Bi_2S_3 + HNO_3 \rightarrow$
27. а) $Sn(OH)_2 + NaOH \rightarrow$
 б) $FeCl_3 + NH_4SCN \rightarrow$
 в) $AlPO_4 + NaOH$ (над.) \rightarrow
28. а) $SrCO_3 + CH_3COOH \rightarrow$
 б) $NH_4Cl + NaOH \rightarrow$
 в) $BaCl_2 + K_2Cr_2O_7 + H_2O \rightarrow$
29. а) $CaCO_3 + CH_3COOH \rightarrow$
 б) $Mg(OH)_2 + HCl \rightarrow$
 в) $Bi(OH)_3 + HNO_3 \rightarrow$
30. а) $BaCO_3 + HCl \rightarrow$
 б) $NH_4Cl + NaOH \rightarrow$
 в) $Na_2S + H_2SO_4 \rightarrow$

1.6. Рівноваги в гетерогенних системах

Особливістю гетерогенних хімічних процесів є те, що вони є рівноважними і тверда фаза не входить у вираз константи рівноваги реакцій.

Константа рівноваги узагальненої реакції осадження-розчинення



має вигляд:

$$K_S^o = a_A^m \cdot a_B^n = DP^o \quad (28)$$

Добуток розчинності визначається природою речовини та полярністю розчинника і залежить від температури. Значення цієї важливої аналітичної константи для деяких малорозчинних електролітів за температури 25 °С наведено у табл. 7.

Умови утворення і випадання осаду під час проведення аналітичних реакцій: **осад малорозчинного сильного електроліту утворюється тоді, коли після змішування розчинів реагентів добуток молярних концентрацій речовин катіонів і аніонів буде більшим, ніж ДР осаду: $ID > DP$ осаду.**

Наприклад, осад барій сульфату буде випадати тоді, коли $[Ba^{2+}] \cdot [SO_4^{2-}] > DP_{BaSO_4}$ – розчин пересичений, переважає процес осадження.

Якщо $[Ba^{2+}][SO_4^{2-}] = DP_{BaSO_4}$ - динамічна рівновага.

І якщо $[Ba^{2+}][SO_4^{2-}] < DP_{BaSO_4}$ – розчин ненасичений, переважає процес розчинення осаду.

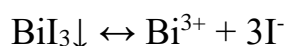
За величиною DP можна визначити розчинність малорозчинних електролітів у воді та в розчинах, що містять інші електроліти. Із загального виразу DP (рівняння 28) для речовини A_mB_n дістають формулу для визначення розчинності S , вираженої в молях на дециметр кубічний:

$$S = \sqrt[m+n]{\frac{K_s}{m^m \cdot n^n}} = \sqrt[m+n]{\frac{DP}{m^m \cdot n^n}} \quad (29)$$

Приклади розв'язання задач

Приклад 18. За значенням добутку розчинності (DP) розрахувати розчинність BiI_3 (г/л) у воді і розчині KI з молярною концентрацією 0,01 моль/л.

Розв'язок. У насиченому розчині бісмут (III) йодиду встановлюється рівновага:



Припустимо, що в 1 л насиченого розчину міститься S моль BiI_3 . Рівноважні концентрації іонів у розчині відповідно складають:

$$[Bi^{3+}] = S, \quad [I^-] = 3S.$$

Добуток розчинності $DP(BiI_3) = 8,1 \cdot 10^{-19} = [Bi^{3+}] \cdot [I^-]^3$

Підставимо значення рівноважних концентрацій і одержимо:

$$DP(BiI_3) = S \cdot (3S)^3 = 27S^4$$

Отже, S дорівнює:

$$S = \sqrt[4]{\frac{DP(BiI_3)}{27}} = \sqrt[4]{\frac{8,1 \cdot 10^{-19}}{27}} = 1,32 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

Розчинність $P(BiI_3)$, г/л, дорівнює:

$$P(BiI_3) = S \cdot M(BiI_3) = 1,32 \cdot 10^{-5} \cdot 589,68 = 7,78 \cdot 10^{-3} \text{ г/л.}$$

2) Для визначення розчинності BiI_3 в розчині KI , який має концентрацію $c(KI) = 0,01$ моль/л, необхідно врахувати зміщення рівноваги реакції розчинення BiI_3 ліворуч. Позначимо кількість BiI_3 в 1 л його насиченого розчину – X . Рівноважна концентрація йодид-іонів $[I^-]$ обумовлена дисоціацією сильного електроліту KI і розчинністю осаду BiI_3 :

$$[I^-] = c(KI) + 3X.$$

Тоді рівняння (3) перетворюється:

$$DP(BiI_3) = X \cdot (c(KI) + 3X)^3 \quad (i)$$

Припустимо, що $c(KI)$ значно перевищує $3X(BiI_3)$, тоді $(c(KI) + 3X) \approx c(KI)$.

Рівняння (i) спрощується:

$$DP(BiI_3) = X \cdot c^3(KI) \quad (ii)$$

Отже

$$X = \frac{DP(BiI_3)}{c^3(KI)} \quad (iii)$$

Підставимо в рівняння (iii) числові значення і одержимо:

$$X = \frac{8,1 \cdot 10^{-19}}{(0,01)^3} = 8,1 \cdot 10^{-13} \text{ моль/л.}$$

Розчинність в г/л дорівнює: $8,1 \cdot 10^{-13} \cdot 589,68 = 4,77 \cdot 10^{-10} \text{ г/л.}$

Відповідь: Розчинність солі BiI_3 у воді $7,78 \cdot 10^{-3} \text{ г/л}$, а в $0,01 \text{ М}$ розчині KI – $4,77 \cdot 10^{-10} \text{ г/л}$.

Приклад 19. За величиною добутку розчинності BiI_3 розрахувати, яка маса осаду BiI_3 буде втрачена за рахунок розчинності при промиванні його 250 мл дистильованої води.

Розв'язок. За даними попередньої задачі, розчинність BiI_3 у воді $P(\text{BiI}_3) = 7,78 \cdot 10^{-3} \text{ г/л}$. Для промивання осаду використовують 250 мл води, тоді маса BiI_3 , втрачена за рахунок розчинності, дорівнює:

$$Y = 7,78 \cdot 10^{-3} \cdot 250 : 1000 = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ г.}$$

Відповідь: За рахунок розчинності при промиванні буде втрачено $1,9 \cdot 10^{-3} \text{ г}$ осаду.

ЗАВДАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

1. Розрахувати скільки грамів аргентум хлориду розчиниться: а) у 500 см^3 води; б) у 100 см^3 $0,1 \text{ М}$ розчину хлориду калію.
2. Чи випаде осад плюмбум хлориду ($\text{ДР} = 2,4 \cdot 10^{-4}$) при змішуванні $0,5 \text{ н.}$ розчину плюмбум нітрату з рівним об'ємом: а) $0,05 \text{ н.}$ розчину хлоридної кислоти; б) $0,5 \text{ н.}$ розчину хлоридної кислоти.
3. Розрахувати розчинність барію хромату в г/дм^3 у воді та у $0,1 \text{ М}$ розчині K_2CrO_4 .
4. Розрахувати скільки грамів PbSO_4 залишиться в розчині, якщо розчинити $0,284 \text{ г}$ Na_2SO_4 у 200 см^3 насиченого розчину PbSO_4 .
5. Розрахувати добуток розчинності аргентум йодиду, якщо його розчинність при $25 \text{ }^\circ\text{C}$ дорівнює $2,865 \cdot 10^{-6} \text{ г/дм}^3$.
6. Розрахувати розчинність CaC_2O_4 у грамах на літр: а) у воді, б) у розчині, що містить у 100 см^3 $0,12 \text{ г}$ $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$.
7. У скільки разів розчинність BaSO_4 у $0,01 \text{ М}$ розчині K_2SO_4 менша за його розчинність у чистій воді?
8. Розрахувати скільки грамів AgCl може розчинитися: а) у 200 см^3 води; б) у 200 см^3 $0,01 \text{ М}$ розчину NaCl .
9. У скільки разів розчинність оксалату кальцію ($\text{ДР} = 2,57 \cdot 10^{-9}$) у $0,01 \text{ М}$ розчині оксалату амонію менша у порівнянні з його розчинністю в чистій воді?
10. Чи утвориться осад CdS при пропусканні сірководню крізь насичений розчин карбонату кадмію, якщо ДР карбонату кадмію дорівнює $2,5 \cdot 10^{-74}$?

11. Чи випаде осад MnS з $0,001\text{ M}$ розчину $Mn(NO_3)_2$, якщо створити концентрацію сульфід-іонів у цьому розчині, рівну 10^{-15} моль/дм³? Відповідь підтвердити відповідним розрахунком.
12. Чи випаде осад $CaCO_3$ при змішуванні рівних об'ємів $0,001\text{ M}$ розчинів $CaCl_2$ і Na_2CO_3 ? Відповідь підтвердити відповідним розрахунком.
13. Розрахувати скільки грамів хромату свинцю може розчинитися: а) у 500 см^3 води; б) у 500 см^3 $0,01\text{ M}$ розчину хромату натрію.
14. За даними про добутки розчинності п्लомбум сульфату і п्लомбум йодиду обчислити їх розчинність у моль/дм³ і г/дм³. Чому сіль з меншим значенням ДР має більшу розчинність?
15. У скільки разів розчинність оксалату кальцію ($ДР=2,57\cdot 10^{-9}$) у $0,01\text{ M}$ розчині оксалату амонію менша за його розчинність у воді?
16. Обчислити розчинність п्लомбум хромату в г/дм³: а) у воді; б) у $0,1\text{ M}$ розчині хромату калію.
17. Розчинність кальцію карбонату дорівнює $1,3\cdot 10^{-4}$ моль/дм³, а п्लомбум броміду $2,7\cdot 10^{-2}$ моль/дм³. Знайдіть добутки розчинності цих солей.
18. Розрахувати розчинність CaC_2O_4 у г/дм³: а) у воді; б) у розчині, що містить у 100 см^3 $0,124\text{ г}$ $(NH_4)_2C_2O_4$.
19. У скільки разів розчинність $BaSO_4$ у $0,01\text{ M}$ розчині K_2SO_4 менша за його розчинність в чистій воді?
20. Визначити концентрацію Ag^+ і $C_2O_4^{2-}$ у насиченому розчині аргентум оксалату за даними про добуток розчинності $Ag_2C_2O_4$.
21. Визначити добуток розчинності $AgBr$, якщо концентрація його насиченого розчину дорівнює $5,3\cdot 10^{-7}$ моль/дм³.
22. Визначити добуток розчинності $Ag_2C_2O_4$, якщо розчинність дорівнює $3,27\cdot 10^{-3}$.
23. Чи випаде осад при змішуванні 10 см^3 $0,02\text{ н.}$ розчину $CaCl_2$ з 5 см^3 $0,1\text{ н.}$ розчину K_2CrO_4 ?
24. Розчин містить іони барію і стронцію, концентрації яких дорівнюють (у моль/дм³): $[Ba^{2+}]=0,0003$ і $[Sr^{2+}]=1$. Який осад буде випадати з розчину першим при поступовому додаванні розчину K_2CrO_4 ?
25. При якій найменшій концентрації $NaCl$ можна перетворити осад $AgBr$ в осад $AgCl$?
26. Написати математичний вираз ДР хлориду срібла, сульфату кальцію, сульфідіду міді.
27. Чи випаде осад, якщо до 100 см^3 $0,001\text{ н.}$ розчину $PbCl_2$ додати 1 см^3 $0,001\text{ M}$ розчину H_2SO_4 ?
28. Чи випаде осад, якщо до 100 см^3 $0,001\text{ н.}$ розчину $CaCl_2$ додати одну краплю H_2SO_4 (густина $1,080$)?
29. Визначити розчинність оксалату магнію за ДР.
30. Скільки моль Ag^+ міститься в 1 дм^3 насиченого розчину речовин: $AgCl$, $AgBr$, AgI ?

1.7. Рівноваги в окисно – відновних реакціях

Окисно – відновні реакції мають велике значення в практиці аналітичної хімії. Зокрема, вони використовуються в якісному аналізі для виявлення та відокремлення окремих катіонів і аніонів, розчинення різних речовин чи для маскуванню іонів.

Кількісне трактування закономірностей окисно-відновних реакцій у розчинах електролітів ґрунтується на обчисленні стандартної зміни енергії Гіббса реакції. Значення енергії Гіббса є критерієм можливості і глибини проходження окисно-відновної реакції в заданому напрямі. За величиною енергії Гіббса можна зробити висновок про напрям проходження окисно-відновних реакцій.

Якщо $\Delta G < 0$, то реакція самочинно проходить тільки в прямому напрямі; якщо $\Delta G > 0$ – у зворотному напрямі; при $\Delta G=0$ – система перебуває в стані рівновагі.

Зв'язок ΔG з константою рівноваги виражається рівнянням:

$$\Delta G^0 = -RT \lg K_p.$$

Окисно-відновні властивості речовини визначаються за їх хімічною активністю. Остання виражається через окисно-відновний (редокс) потенціал, який є стандартний $E^0_{\text{Ox/Red}}$ і реальний $E_{\text{Ox/Red}}$. Реальний окисно-відновний потенціал виражається рівнянням Нернста:

$$E_{\text{Ox/Red}} = E^0_{\text{Ox/Red}} + \frac{RT}{nF} \cdot \lg \frac{c(\text{Ox})}{c(\text{Red})} \quad (30)$$

Значення стандартних окисно-відновних потенціалів дозволяють зробити висновок про можливість проходження реакції за стандартних і реальних умов: якщо різниця стандартних або реальних окисно-відновних потенціалів (електрорушійна сила – ЕРС) вихідних речовин реакції позитивна, то можливе проходження реакції в напрямі утворення продуктів реакції.

$$\text{ЕРС} = E_{\text{Ox}}^0 - E_{\text{Red}}^0 \quad (31)$$

Константа рівноваги окисно-відновної реакції визначається за формулою:

$$\lg K = \frac{(E_{\text{Ox}}^0 - E_{\text{Red}}^0) \cdot n}{0,059} \quad (32)$$

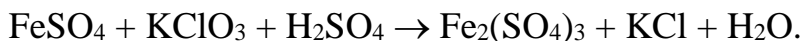
Редокс пара з більшим стандартним окисно-відновним потенціалом є окисником по відношенню до редокс пари з меншим стандартним окисно-відновним потенціалом. Наприклад, пара $\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}$ по відношенню до пари $\text{Br}_2/2\text{Br}^-$ буде окисником, оскільки $E^0(\text{MnO}_4^-/\text{Mn}^{2+}) = +1,51 \text{ В}$, а $E^0(\text{Br}_2/2\text{Br}^-) = +1,087 \text{ В}$.

Приклади розв'язання задач

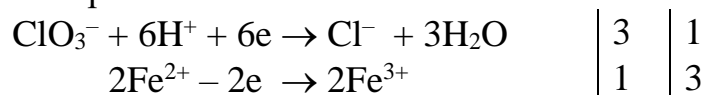
Приклад 20. Скласти електронно-іонні схеми і закінчити рівняння реакції окиснення ферум (II) сульфату бертолетовою сіллю у кислотному середовищі.

Розв'язок.

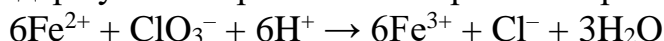
1. Складаємо схему реакції, вказавши формули вихідних речовин та продуктів:



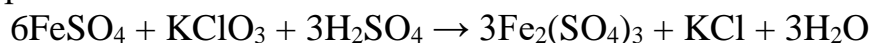
2. Записуємо схеми напівреакцій процесу відновлення і окиснення, враховуючи те, що в розчині сильні електроліти перебувають в стані іонів, і збалансовуємо електрони:



3. Додаємо ліву і праву частини напівреакцій, і помноживши друге рівняння на число 3, одержуємо скорочене іонне рівняння реакції:

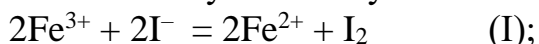


Якщо потрібно записати це рівняння в молекулярній формі, то дописуємо відповідне число катіонів та аніонів і перевіряємо число атомів в обох частинах рівняння:

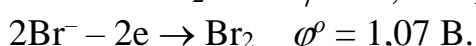
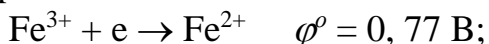


Приклад 21. Пояснити, чому за стандартних умов іони Fe(III) можуть окиснити іони Йоду I⁻, проте не окиснюють іонів Бромиду Br⁻.

Розв'язок. Записуємо схему можливих реакцій між цими іонами:



Знаходимо значення стандартних окисно-відновних потенціалів напівреакцій окиснення і відновлення (див. табл. 8 у додатках):



Обчислюємо значення ЕРС першої і другої реакцій за рівнянням (31):

$$E^\circ_{(\text{I})} = 0,77 - 0,54 = 0,23 \text{ (В)};$$

$$E^\circ_{(\text{II})} = 0,77 - 1,07 = -0,30 \text{ (В)}.$$

На основі одержаних даних робимо висновок. У першій реакції значення $E^\circ > 0$, отже вона буде відбуватися. Електрорушійна сила другої реакції має від'ємне значення $E^\circ < 0$. Це вказує на те, що іони Fe³⁺ у складі будь-якої солі не здатні окиснювати бромід-іони до вільного брому.

ЗАВДАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

1-30. Скласти рівняння окисно-відновних реакцій. Вкажіть окислювач і відновник. Виписати табличні значення величин стандартних потенціалів

відповідних окисно-відновних пар, розрахувати ЕРС та визначити напрям перебігу реакцій.

1. a) $\text{Ni(OH)}_2 + \text{Br}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
б) $\text{Al} + \text{KNO}_3 + \text{KOH} \rightarrow$
в) $\text{Mn(NO}_3)_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$
2. a) $\text{Cr(NO}_3)_3 + \text{PbO}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
б) $\text{K}_2\text{S} + \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$
в) $\text{NaNO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
3. a) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{I}_2 \rightarrow$
б) $\text{PbS} + \text{HNO}_3 \rightarrow$
в) $\text{Mn(NO}_3)_2 + \text{NaBiO}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
4. a) $\text{HgS} + \text{HNO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$
б) $\text{Ni(OH)}_2 + \text{Br}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
в) $\text{Bi}_2\text{S}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
5. a) $\text{Ag}_2\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow$
б) $\text{CoS} + \text{CH}_3\text{COOH} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow$
в) $\text{Co(OH)}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
6. a) $\text{Na}_2\text{S} + \text{NaNO}_2 + \text{HCl} \rightarrow$
б) $\text{SnCl}_2 + \text{HgCl}_2 \rightarrow$
в) $\text{Mn(NO}_3)_2 + \text{PbO}_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
7. a) $\text{Na}_2\text{SnO}_2 + \text{Bi(OH)}_3 \rightarrow$
б) $\text{Cr(NO}_3)_3 + (\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$
в) $\text{Na}_2\text{S} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
8. a) $\text{NaCrO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
б) $\text{Mn(NO}_3)_2 + \text{Br}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
в) $\text{CdS} + \text{HNO}_3 \rightarrow$
9. a) $\text{FeSO}_4 + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
б) $\text{Mn(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow$
в) $\text{CoS} + \text{HNO}_3 \rightarrow$
10. a) $\text{MnS} + \text{HNO}_3 \rightarrow$
б) $\text{CrCl}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{KOH} \rightarrow$
в) $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
11. a) $\text{MnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
б) $\text{KI} + \text{Cl}_2 \rightarrow$
в) $\text{Ag}_2\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow$
12. a) $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
б) $\text{HgS} + \text{HNO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$
в) $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$
13. a) $\text{Cu} + \text{Hg(NO}_3)_2 \rightarrow$
б) $\text{KBr} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
в) $\text{K}_2\text{S} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
14. a) $\text{CoCl}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{KOH} \rightarrow$
б) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{I}_2 \rightarrow$
в) $\text{FeCl}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$

15. a) $\text{KI} + \text{CuSO}_4 \rightarrow$
 б) $\text{MnO}_2 + \text{HCl}$ (конц.) \rightarrow
 в) $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$
16. a) $\text{KMnO}_4 + \text{KBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
 б) $\text{Na}_2\text{SnO}_2 + \text{Bi}(\text{OH})_3 \rightarrow$
 в) $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + \text{PbO}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
17. a) $\text{K}_2\text{S} + \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$
 б) $\text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
 в) $\text{NaNO}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
18. a) $\text{Ni}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
 б) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{I}_2 \rightarrow$
 в) $\text{PbS} + \text{HNO}_3 \rightarrow$
19. a) $\text{Zn} + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$
 б) $\text{Mn}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaBiO}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
 в) $\text{NaNO}_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
20. a) $\text{MnO}_2 + \text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
 б) $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{Br}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
 в) $\text{NiS} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{HCl} \rightarrow$
21. a) $\text{KI} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4$
 б) $\text{CoS} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow$
 в) $\text{Ag}_2\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow$
22. a) $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{I}_2 \rightarrow$
 б) $\text{HgS} + \text{HNO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$
 в) $\text{Co}(\text{OH})_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
23. a) $\text{Bi}_2\text{S}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
 б) $\text{Na}_2\text{S} + \text{PbO}_2 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
 в) $\text{Na}_2\text{SnO}_2 + \text{Bi}(\text{OH})_3 \rightarrow$
24. a) $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + (\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$
 б) $\text{Na}_2\text{S} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
 в) $\text{NaCrO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
25. a) $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{Br}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$
 б) $\text{CdS} + \text{HNO}_3 \rightarrow$
 в) $\text{FeSO}_4 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
26. a) $\text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow$
 б) $\text{Sb}_2\text{S}_3 + \text{HNO}_3$ (конц.) \rightarrow
 в) $\text{KI} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
27. a) $\text{FeSO}_4 + \text{KMnO}_4 \rightarrow$
 б) $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KMnO}_4 \rightarrow$
 в) $\text{FeCl}_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \rightarrow$
28. a) $\text{HgS} + \text{HCl} + \text{HNO}_3 \rightarrow$
 б) $\text{KMnO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$
 в) $\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HNO}_3 \rightarrow$
29. a) $\text{Zn} + \text{HNO}_3 \rightarrow$
 б) $\text{KBr} + \text{MnO}_2 + \dots \rightarrow \text{Br}_2 + \text{MnSO}_4 + \dots$

- в) $KI + K_2Cr_2O_7 + \dots \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + S + \dots$
30. а) $CrCl_3 + H_2O_2 + KOH \rightarrow$
- б) $SO_2 + K_2Cr_2O_7 + \dots \rightarrow Cr_2(SO_4)_3 + \dots$
- в) $HCl + KMnO_4 + H_2SO_4$

2. Якісний аналіз

Основним завданням якісного аналізу є ідентифікація (виявлення) атомів, іонів або молекул, що містяться в досліджуваному зразку. Це можна зробити як за допомогою хімічних реакцій (*якісних реакцій*), так і за фізичними властивостями частинок. Тому методи якісного аналізу поділяють на хімічні, фізичні та фізико-хімічні.

Хімічні методи засновані на проведенні різних хімічних реакцій – осадження, комплексоутворення, окиснення-відновлення тощо.

Для аналізу складного зразка або суміші, склад якої невідомий, застосовують *систематичний метод аналізу*. В основі цього методу лежить класифікація катіонів і аніонів на аналітичні групи.

Аналітична група – це така група катіонів, яка з певним реактивом дає подібні аналітичні реакції. Існує кілька класифікацій катіонів на аналітичні групи. Кожна класифікація заснована на хімічних властивостях катіонів і пов'язана з положенням відповідних елементів у періодичній системі та їх електронною будовою.

Сульфідна класифікація, яку ще широко використовують у практиці, ґрунтується на неоднаковій розчинності карбонатів і сульфідів металів у воді і кислотах (табл. 2.1). Аналіз катіонів із застосуванням цього методу має істотні недоліки, найголовнішим з яких є робота з сірководнем H_2S , який є токсичним.

Таблиця 2.1 - *Розподіл катіонів на аналітичні групи за сульфідною класифікацією*

| Група | Катіони | Груповий реактив | Сполуки, що утворюються | Групова характеристика сполук |
|-------|--|---|--|---|
| I | $K^+, Na^+, Li^+, NH_4^+, Mg^{2+}$ | Немає | - | Сульфіди, карбонати*, хлориди та гідроксиди* розчиняються у воді |
| II | $Ba^{2+}, Sr^{2+}, Ca^{2+}$ | $(NH_4)_2CO_3$ $NH_3 \cdot H_2O + NH_4Cl$, pH=9,25 | Карбонати $BaCO_3$, $SrCO_3$, $CaCO_3$ | Карбонати не розчиняються у воді |
| III | $Fe^{2+}, Fe^{3+}, Cr^{3+}, Al^{3+}, Mn^{2+}, Ni^{2+}, Zn^{2+}, Co^{2+}$ | $(NH_4)_2S$ $NH_3 \cdot H_2O + NH_4Cl$, pH=9,25 | Сульфіди або гідроксиди ($Al(OH)_3$, $Cr(OH)_3$) | Сульфіди не розчиняються у воді**, але розчиняються в розведених кислотах |

| | | | | |
|---|---|----------------------------------|----------|---|
| IV | Cu ²⁺ , Hg ²⁺ , Bi ³⁺ , Sn ²⁺ , Sn (IV), Sb(III), Sb (V), As(III), As (V) | H ₂ S, HCl, pH=0,5 | Сульфіди | Сульфіди не розчиняються у воді і розведених кислотах |
| V | Ag ⁺ , Pb ²⁺ , Hg ₂ ²⁺ | HCl | Хлориди | Хлориди не розчиняються у воді і розведених кислотах |
| *- за винятком Mg ²⁺ **- сульфіди Cr ³⁺ , Al ³⁺ розкладаються водою | | | | |

Амоніачно-фосфатна класифікація ґрунтується на використанні різної розчинності фосфатів металів у воді, кислотах (сильних і слабких), лугах та водному розчині амоніаку. Має обмежене застосування.

Кислотно-лужна класифікація ґрунтується на різній розчинності у воді хлоридів, сульфатів металів, а також на відмінності у властивостях їхніх гідроксидів. Кислотно-лужний метод аналізу на сьогодні є найбільш розповсюдженим методом, згідно з яким катіони поділяють на шість аналітичних груп. Груповим реактивом у цьому методі є розбавлені розчини хлоридної та сульфатної кислот, розчин натрій або калій гідроксиду, а також водний розчин амоніаку (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 - Розподіл катіонів на аналітичні групи за кислотно-лужною класифікацією

| Група | Катіони | Груповий реактив | Сполуки, що утворюються | Групова характеристика |
|-------|--|---|--|--|
| 1 | K ⁺ , Na ⁺ , Li ⁺ , NH ₄ ⁺ | Немає | — | Хлориди, сульфати й гідроксиди розчиняються у воді |
| 2 | Ag ⁺ , Pb ²⁺ , Hg ₂ ²⁺ | 2 M розчин HCl | Осад AgCl, PbCl ₂ , Hg ₂ Cl ₂ | Хлориди не розчиняються у воді та кислотах |
| 3 | Ba ²⁺ , Sr ²⁺ , Ca ²⁺ | 1 M розчин H ₂ SO ₄ | Осад BaSO ₄ , SrSO ₄ , CaSO ₄ | Сульфати не розчиняються (важко розчиняються) у воді, кислотах і лугах |
| 4 | Zn ²⁺ , Al ³⁺ , Cr ³⁺ , Sn ²⁺ , Sn ^{IV} , | Надлишок 3 M розчину NaOH | Розчин [Zn(OH) ₄] ²⁻ , [Al(OH) ₄] ⁻ , [Cr(OH) ₆] ³⁻ , [Sn(OH) ₄] ²⁻ , [Sn(OH) ₆] ²⁻ , | Гідроксиди розчиняються в надлишку натрій гідроксиду (амфотерні) |

| | | | | |
|---|---|---|--|--|
| | As ^{III} , As ^V | | AsO ₃ ³⁻ , AsO ₄ ³⁻ | властивості) |
| 5 | Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Mg ²⁺ , Mn ²⁺ , Bi ³⁺ , Sb ³⁺ , Sb ^V | 3 М розчин NaOH | Осад Fe(OH) ₂ , Fe(OH) ₃ , Mg(OH) ₂ , Mn(OH) ₂ , Bi(OH) ₃ , Sb(OH) ₃ , H[Sb(OH) ₆] | Гідроксиди не розчиняються в надлишку амоніаку і лугах |
| 6 | Cu ²⁺ , Hg ²⁺ , Co ²⁺ , Cd ²⁺ , Ni ²⁺ | Надлишок розчину амоніаку (ω = 25 %) | [Cu(NH ₃) ₄] ²⁺ , [Hg(NH ₃) ₄] ²⁺ , [Co(NH ₃) ₆] ²⁺ , [Ni(NH ₃) ₆] ²⁺ | Гідроксиди розчиняються в надлишку амоніаку з утворенням аміакатів |

ЗАВДАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

1. Які системи якісного аналізу катіонів мають найбільш практичне використання?
2. Вказати, що лежить в основі поділу катіонів на аналітичні групи за кислотно-основною системою. До якої групи катіонів за кислотно-основною системою відноситься катіон **B** (див. табл.)? Охарактеризувати катіони цієї аналітичної групи.
3. Що є груповим реактивом на катіони цієї аналітичної групи? Написати реакцію катіону **B** з груповим реагентом. Назвати осаджену сіль за систематичною номенклатурою.
4. Навести приклади специфічних реакцій катіона **B**, написати рівняння реакцій, вказати умови їх проведення.
5. Присутність яких катіонів заважає визначенню катіона **B**? Навести приклади визначення катіона **B** у суміші катіонів, що заважають його відкриттю.
6. Навести схему аналізу суміші катіонів за кислотно-основною класифікацією (табл. 2.3), написати рівняння реакцій, вказати умови їх проведення.

Таблиця 2.3 - Вихідні дані до завдання з якісного аналізу

| варіант | Катіон B | Суміш катіонів |
|---------|------------------------------|---|
| 1. | K ⁺ | NH ₄ ⁺ , Fe ²⁺ , Zn ²⁺ , Ca ²⁺ , Hg ²⁺ , Cr ³⁺ |
| 2. | Na ⁺ | Mg ²⁺ , Ba ²⁺ , Fe ³⁺ , Al ³⁺ , Cu ²⁺ |
| 3. | NH ₄ ⁺ | Na ⁺ , Ca ²⁺ , Fe ³⁺ , Sr ²⁺ , Pb ²⁺ , Cd ²⁺ |
| 4. | Mg ²⁺ | K ⁺ , Ba ²⁺ , Zn ²⁺ , Co ²⁺ , Bi ³⁺ , Ag ⁺ |
| 5. | Ca ²⁺ | Na ⁺ , Fe ³⁺ , Ag ⁺ , Co ²⁺ , Cr ³⁺ , Bi ³⁺ |
| 6. | Ba ²⁺ | Ba ²⁺ , Al ³⁺ , Pb ²⁺ , Na ⁺ , NH ₄ ⁺ , Cd ²⁺ |
| 7. | Al ³⁺ | Mg ²⁺ , Al ³⁺ , Fe ³⁺ , Sr ²⁺ , Pb ²⁺ , Mn ²⁺ |
| 8. | Zn ²⁺ | Na ⁺ , Fe ³⁺ , Zn ²⁺ , Co ²⁺ , Sr ²⁺ , Ag ⁺ |

| | | |
|-----|----------------------|--|
| 9. | Ni^{2+} | NH_4^+ , Ba^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , $[\text{Hg}_2]^{2+}$ |
| 10. | Cr^{3+} | Mg^{2+} , Co^{2+} , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} , Ag^+ |
| 11. | Fe^{2+} | Mg^{2+} , Al^{3+} , Pb^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} |
| 12. | Fe^{3+} | Ba^{2+} , Fe^{3+} , K^+ , Ca^{2+} , Bi^{3+} , Cu^{2+} |
| 13. | Mn^{2+} | K^+ , Ca^{2+} , Ba^{2+} , Ni^{2+} , Bi^{3+} , Ag^+ |
| 14. | Cu^{2+} | NH_4^+ , Pb^{2+} , Fe^{2+} , Ni^{2+} , Mn^{2+} , Ag^+ |
| 15. | Cd^{2+} | Mg^{2+} , K^+ , Sr^{2+} , Al^{3+} , Zn^{2+} , Bi^{3+} |
| 16. | Hg^{2+} | Na^+ , Ba^{2+} , Ca^{2+} , Co^{2+} , Al^{3+} , Cd^{2+} |
| 17. | Bi^{3+} | NH_4^+ , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} , Cr^{3+} , $[\text{Hg}_2]^{2+}$ |
| 18. | Sn^{2+} | Mg^{2+} , NH_4^+ , Fe^{3+} , Ni^{2+} , Ag^+ , Sn^{2+} |
| 19. | Ag^+ | Co^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Al^{3+} , Cu^{2+} , Hg^{2+} |
| 20. | Pb^{2+} | NH_4^+ , Pb^{2+} , Ni^{2+} , Ca^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} |
| 21. | $[\text{Hg}_2]^{2+}$ | NH_4^+ , K^+ , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , $[\text{Hg}_2]^{2+}$ |
| 22. | Sr^{2+} | Na^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} , Bi^{3+} , Hg^{2+} , Cr^{3+} |
| 23. | Ba^{2+} | K^+ , Sr^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , Sn^{2+} , Ag^+ |
| 24. | Fe^{3+} | NH_4^+ , Fe^{3+} , Al^{3+} , Cu^{2+} , Ca^{2+} , Ag^+ |
| 25. | Al^{3+} | Na^+ , Sr^{2+} , Bi^{3+} , Fe^{2+} , Cd^{2+} , Ag^+ |
| 26. | Ca^{2+} | Na^+ , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Hg^{2+} , Co^{2+} , Sn^{2+} |
| 27. | Ag^+ | NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Bi^{3+} , Cr^{3+} , Ag^+ |
| 28. | Pb^{2+} | NH_4^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{2+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} |
| 29. | Mg^{2+} | Na^+ , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Ag^+ |
| 30. | Cr^{3+} | K^+ , Bi^{3+} , Zn^{2+} , Co^{2+} , Cd^{2+} , $[\text{Hg}_2]^{2+}$ |

ДОДАТКИ

Таблиця 1

НАЙВАЖЛИВІШІ ФІЗИЧНІ СТАЛІ

| Величина | Значення | Розмірність |
|--|--|---------------------------------|
| Абсолютний нуль температури | -273,15 | $^{\circ}\text{C}$ |
| Потрійна точка води | 0,01 | $^{\circ}\text{C}$ |
| Максимальна щільність води | 999,973 | $\text{кг}/\text{м}^3$ |
| Щільність сухого повітря при нормальних умовах | 1,2929 | $\text{кг}/\text{м}^3$ |
| Нормальні умови | $T=273,15^{\circ}\text{C}$, $P=101325 \text{ Па}$ | |
| Гравітаційна стала, γ | $6,6720(41) \cdot 10^{-11}$ | $\text{Н м}^2/\text{кг}^2$ |
| Електрична стала, ϵ | $8,85418782(7) \cdot 10^{-12}$ | $\text{Ф}/\text{м}$ |
| Стала Фарадея, F | $9,648456(27) \cdot 10^4$ | $\text{Кл}/\text{моль}$ |
| Прискорення вільного падіння, g | 9,80665 | $\text{м}/\text{с}^2$ |
| Стала Больцмана, k | $1,380662(44) \cdot 10^{-23}$ | $\text{Дж}/\text{К}$ |
| Число Авогадро, N_A | $6,0220943(61) \cdot 10^{23}$ | $1/\text{моль}$ |
| Універсальна газова стала, R | 8,31441(26) | $\text{Дж}/\text{моль}\text{К}$ |
| Об'єм одного моля ідеального газу при нормальних умовах, V_0 | 0,02241383(70) | $\text{м}^3/\text{моль}$ |
| Атомна одиниця маси, а.о.м. | $1,6605655(86) \cdot 10^{-27}$ | Кг |
| Елементарний заряд, e | $1,6021892(46) \cdot 10^{-19}$ | Кл |
| Швидкість світла у вакуумі, c | 299792458(1,2) | $\text{м}/\text{с}$ |

Цифри в дужках означають погрішність визначення величини в останніх знаках.

Таблиця 2

Формули для розрахунку рН

| Електроліт | Приклад | Формула для розрахунку рН |
|--|---|--|
| Сильна кислота | HNO_3 | $-\lg C_{\text{кисл}}$ |
| Сильна основа | NaOH | $14 + \lg C_{\text{осн}}$ |
| Слабка кислота | HCN | $1/2 \text{pK}_{\text{кисл}} - 1/2 \lg C_{\text{кисл}}$ |
| Слабка основа | NH_4OH | $14 - 1/2 \text{pK}_{\text{осн}} + 1/2 \lg C_{\text{осн}}$ |
| Суміш слабкої кислоти та її солі | $\text{HCN} + \text{NaCN}$ | $\text{pK}_{\text{кисл}} - \lg (C_{\text{кисл}} / C_{\text{соли}})$ |
| Суміш слабкої основи та її солі | $\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$ | $14 - \text{pK}_{\text{осн}} + \lg (C_{\text{осн}} / C_{\text{соли}})$ |
| Сіль слабкої основи та сильної кислоти | $\text{NH}_4\text{OH} + \text{HCl}$ | $7 - 1/2 \text{pK}_{\text{осн}} - 1/2 \lg C_{\text{соли}}$ |
| Сіль слабкої кислоти та сильної основи | $\text{HCN} + \text{NaOH}$ | $7 + 1/2 \text{pK}_{\text{кисл}} + 1/2 \lg C_{\text{соли}}$ |
| Сіль слабкої основи та слабкої кислоти | NH_4CN | $7 + 1/2 \text{pK}_{\text{кисл}} - 1/2 \text{pK}_{\text{осн}}$ |

Таблиця 3

Густина водних розчинів кислот та основ

| Нітратна кислота | | | |
|------------------|--------------|--------|-------|
| ρ, г/мл | Концентрація | | |
| | % | моль/л | г/л |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,000 | 0,3296 | 0,0523 | 3,295 |
| 1,005 | 1,255 | 0,2001 | 12,61 |
| 1,010 | 2,164 | 0,3468 | 21,85 |
| 1,015 | 3,073 | 0,4950 | 31,19 |
| 1,020 | 3,982 | 0,6445 | 40,61 |
| 1,025 | 4,883 | 0,7943 | 50,05 |
| 1,030 | 5,784 | 0,9454 | 59,57 |
| 1,035 | 6,661 | 1,094 | 68,93 |
| 1,040 | 7,530 | 1,243 | 78,32 |
| 1,045 | 8,398 | 1,393 | 87,77 |
| 1,050 | 9,259 | 1,543 | 97,22 |

| | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| 1,055 | 10,12 | 1,694 | 106,7 |
| Продовження таблиці 3 | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,060 | 10,97 | 1,845 | 116,3 |
| 1,065 | 11,81 | 1,997 | 125,8 |
| 1,070 | 12,65 | 2,148 | 135,3 |
| 1,080 | 14,31 | 2,453 | 154,6 |
| 1,085 | 15,13 | 2,605 | 164,1 |
| 1,090 | 15,95 | 2,759 | 173,8 |
| 1,095 | 16,76 | 2,913 | 183,5 |
| 1,100 | 17,58 | 3,068 | 193,3 |
| 1,105 | 18,39 | 3,224 | 203,1 |
| 1,110 | 19,19 | 3,381 | 213,0 |
| 1,115 | 20,00 | 3,539 | 223,0 |
| 1,120 | 20,79 | 3,696 | 232,9 |
| 1,125 | 21,59 | 3,854 | 242,8 |
| 1,130 | 22,38 | 4,012 | 252,8 |
| 1,135 | 23,16 | 4,171 | 262,8 |
| 1,140 | 23,94 | 4,330 | 272,8 |
| 1,145 | 24,71 | 4,489 | 282,9 |
| 1,150 | 25,48 | 4,649 | 292,9 |
| 1,155 | 26,24 | 4,810 | 303,1 |
| 1,160 | 27,00 | 4,970 | 313,2 |
| 1,165 | 27,76 | 5,132 | 323,4 |
| 1,170 | 28,51 | 5,293 | 333,5 |
| 1,175 | 29,25 | 5,455 | 343,7 |
| 1,180 | 30,00 | 5,618 | 354,0 |
| 1,185 | 30,74 | 5,780 | 364,2 |
| 1,190 | 31,47 | 5,943 | 374,5 |
| 1,195 | 32,21 | 6,110 | 385,0 |
| 1,200 | 32,94 | 6,273 | 395,3 |
| 1,205 | 33,68 | 6,440 | 405,8 |
| 1,210 | 34,41 | 6,607 | 416,3 |
| 1,215 | 35,16 | 6,778 | 427,1 |
| 1,220 | 35,93 | 6,956 | 438,3 |
| 1,225 | 36,70 | 7,135 | 449,6 |

| | | | |
|--------------------------|-------|--------|-------|
| 1,230 | 37,48 | 7,315 | 460,9 |
| Продовження таблиці 3 | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,235 | 38,25 | 7,497 | 472,4 |
| 1,240 | 39,02 | 7,679 | 483,8 |
| 1,245 | 39,80 | 7,861 | 495,5 |
| 1,250 | 40,58 | 8,049 | 507,2 |
| 1,255 | 41,36 | 8,237 | 519,0 |
| 1,260 | 42,14 | 8,426 | 530,9 |
| 1,265 | 42,92 | 8,616 | 542,9 |
| 1,270 | 43,70 | 8,808 | 555,0 |
| 1,275 | 44,48 | 9,001 | 567,2 |
| 1,285 | 46,06 | 9,394 | 591,9 |
| 1,290 | 46,85 | 9,590 | 604,3 |
| 1,295 | 47,63 | 9,789 | 616,8 |
| 1,300 | 48,42 | 9,990 | 629,5 |
| 1,305 | 49,21 | 10,19 | 642,1 |
| 1,310 | 50,00 | 10,39 | 654,7 |
| Сульфатна кислота | | | |
| 1,000 | 0,261 | 0,0266 | 2,608 |
| 1,005 | 0,986 | 0,1010 | 9,906 |
| 1,010 | 1,731 | 0,1783 | 17,49 |
| 1,015 | 2,485 | 0,2595 | 25,45 |
| 1,020 | 3,242 | 0,3372 | 33,07 |
| 1,025 | 4,000 | 0,4180 | 41,99 |
| 1,030 | 4,746 | 0,4983 | 48,87 |
| 1,035 | 5,493 | 0,5796 | 56,85 |
| 1,040 | 6,237 | 0,6613 | 64,86 |
| 1,045 | 6,956 | 0,7411 | 72,69 |
| 1,050 | 7,704 | 0,8250 | 80,92 |
| 1,055 | 8,415 | 0,9054 | 88,80 |
| 1,060 | 9,129 | 0,9856 | 96,67 |
| 1,065 | 9,843 | 1,066 | 104,6 |
| 1,070 | 10,56 | 1,152 | 113,0 |
| 1,075 | 11,26 | 1,235 | 121,1 |
| 1,080 | 11,96 | 1,317 | 129,2 |

| | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| 1,085 | 12,66 | 1,401 | 137,4 |
| Продовження таблиці 3 | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,090 | 13,36 | 1,484 | 145,6 |
| 1,095 | 14,04 | 1,567 | 153,7 |
| 1,100 | 14,73 | 1,652 | 162,0 |
| 1,105 | 15,41 | 1,735 | 170,2 |
| 1,110 | 16,08 | 1,820 | 178,5 |
| 1,115 | 16,76 | 1,905 | 186,8 |
| 1,120 | 17,43 | 1,990 | 195,2 |
| 1,125 | 18,09 | 2,075 | 203,5 |
| 1,130 | 18,76 | 2,161 | 211,9 |
| 1,135 | 19,42 | 2,247 | 220,4 |
| 1,140 | 20,08 | 2,334 | 228,9 |
| 1,145 | 20,73 | 2,420 | 237,4 |
| 1,150 | 21,38 | 2,507 | 245,9 |
| 1,155 | 22,03 | 2,594 | 254,4 |
| 1,160 | 22,67 | 2,681 | 263,0 |
| 1,165 | 23,31 | 2,768 | 271,6 |
| 1,170 | 23,95 | 2,857 | 280,2 |
| 1,175 | 24,58 | 2,945 | 288,8 |
| 1,180 | 25,21 | 3,033 | 297,5 |
| 1,185 | 25,84 | 3,122 | 306,2 |
| 1,190 | 26,47 | 3,211 | 314,9 |
| 1,195 | 27,10 | 3,302 | 323,9 |
| 1,200 | 27,72 | 3,391 | 332,6 |
| 1,205 | 28,33 | 3,481 | 341,4 |
| 1,210 | 28,95 | 3,572 | 350,3 |
| 1,215 | 29,57 | 3,663 | 359,3 |
| 1,220 | 30,18 | 3,754 | 368,2 |
| 1,225 | 30,79 | 3,846 | 377,2 |
| 1,230 | 31,40 | 3,938 | 386,2 |
| 1,235 | 32,01 | 4,031 | 395,4 |
| 1,240 | 32,61 | 4,123 | 404,4 |
| 1,245 | 33,22 | 4,216 | 413,5 |
| 1,250 | 33,82 | 4,310 | 422,7 |

| | | | |
|-------------------------|-------|-------|-------|
| 1,255 | 34,42 | 4,404 | 431,9 |
| Продовження таблиці 3 | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,260 | 35,01 | 4,498 | 441,2 |
| 1,265 | 35,60 | 4,592 | 450,4 |
| 1,270 | 36,19 | 4,686 | 459,6 |
| 1,275 | 36,78 | 4,781 | 468,9 |
| 1,280 | 37,36 | 4,876 | 478,2 |
| 1,285 | 37,95 | 4,972 | 487,6 |
| 1,290 | 38,53 | 5,068 | 497,1 |
| 1,295 | 39,10 | 5,163 | 506,4 |
| 1,300 | 39,68 | 5,259 | 515,8 |
| 1,305 | 40,25 | 5,356 | 525,3 |
| 1,310 | 40,82 | 5,452 | 534,7 |
| 1,315 | 41,39 | 5,549 | 544,2 |
| 1,320 | 41,95 | 5,646 | 553,8 |
| 1,325 | 42,51 | 5,743 | 563,3 |
| 1,330 | 43,07 | 5,840 | 572,8 |
| 1,335 | 43,62 | 5,938 | 582,4 |
| 1,340 | 44,17 | 6,035 | 591,9 |
| 1,345 | 44,72 | 6,132 | 601,4 |
| 1,350 | 45,26 | 6,229 | 610,9 |
| 1,355 | 45,80 | 6,327 | 620,6 |
| 1,360 | 46,33 | 6,424 | 630,1 |
| 1,365 | 46,86 | 6,522 | 639,7 |
| 1,370 | 47,39 | 6,620 | 649,3 |
| 1,375 | 47,92 | 6,718 | 658,9 |
| 1,380 | 48,45 | 6,817 | 668,6 |
| 1,385 | 48,97 | 6,915 | 678,2 |
| 1,390 | 49,48 | 7,012 | 687,7 |
| 1,395 | 49,99 | 7,110 | 697,3 |
| 1,400 | 50,50 | 7,208 | 707,0 |
| Хлоридна кислота | | | |
| 1,000 | 0,360 | 0,099 | 3,60 |
| 1,005 | 1,360 | 0,375 | 13,65 |
| 1,010 | 2,364 | 0,655 | 23,87 |

| | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| 1,015 | 3,374 | 0,939 | 34,24 |
| Продовження таблиці 3 | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,020 | 4,388 | 1,227 | 44,74 |
| 1,025 | 5,408 | 1,520 | 55,42 |
| 1,030 | 6,433 | 1,817 | 66,25 |
| 1,035 | 7,464 | 2,118 | 77,22 |
| 1,040 | 8,490 | 2,421 | 88,27 |
| 1,045 | 9,510 | 2,725 | 99,35 |
| 1,050 | 10,52 | 3,029 | 110,4 |
| 1,055 | 11,52 | 3,333 | 121,5 |
| 1,060 | 12,51 | 3,638 | 132,6 |
| 1,065 | 13,50 | 3,944 | 143,8 |
| 1,070 | 14,49 | 4,253 | 155,1 |
| 1,075 | 15,48 | 4,565 | 166,4 |
| 1,080 | 16,47 | 4,878 | 177,8 |
| 1,085 | 17,45 | 5,192 | 189,3 |
| 1,090 | 18,43 | 5,509 | 200,9 |
| 1,095 | 19,41 | 5,829 | 212,5 |
| 1,100 | 20,39 | 6,150 | 224,2 |
| 1,105 | 21,36 | 6,472 | 236,0 |
| 1,110 | 22,33 | 6,796 | 247,8 |
| 1,115 | 23,29 | 7,122 | 259,7 |
| 1,120 | 24,25 | 7,449 | 271,6 |
| 1,125 | 25,22 | 7,782 | 283,7 |
| 1,130 | 26,20 | 8,118 | 296,0 |
| 1,135 | 27,18 | 8,459 | 308,4 |
| 1,140 | 28,18 | 8,809 | 321,2 |
| 1,145 | 29,17 | 9,159 | 333,9 |
| 1,150 | 30,14 | 9,505 | 346,6 |
| 1,155 | 31,14 | 9,863 | 359,6 |
| 1,160 | 32,14 | 10,22 | 372,8 |
| 1,165 | 33,16 | 10,59 | 386,3 |
| 1,170 | 34,18 | 10,97 | 399,9 |
| 1,175 | 35,20 | 11,34 | 413,6 |
| 1,180 | 36,23 | 11,73 | 427,7 |

| | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|
| 1,185 | 37,27 | 12,11 | 441,6 |
| Продовження таблиці 3 | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,190 | 38,32 | 12,50 | 455,8 |
| 1,195 | 39,37 | 12,90 | 470,5 |
| 1,198 | 40,00 | 13,14 | 479,1 |
| Калій гідроксид | | | |
| 1,000 | 0,197 | 0,035 | 1,964 |
| 1,005 | 0,743 | 0,133 | 7,463 |
| 1,010 | 1,295 | 0,233 | 13,07 |
| 1,015 | 1,84 | 0,333 | 18,68 |
| 1,020 | 2,38 | 0,433 | 24,30 |
| 1,025 | 2,93 | 0,536 | 30,07 |
| 1,030 | 3,48 | 0,639 | 35,85 |
| 1,035 | 4,03 | 0,744 | 41,75 |
| 1,040 | 4,58 | 0,848 | 47,58 |
| 1,045 | 5,12 | 0,954 | 53,53 |
| 1,050 | 5,66 | 1,06 | 59,48 |
| 1,060 | 6,74 | 1,27 | 71,26 |
| 1,070 | 7,82 | 1,49 | 83,60 |
| 1,080 | 8,89 | 1,71 | 95,95 |
| 1,090 | 9,96 | 1,94 | 108,9 |
| 1,100 | 11,03 | 2,16 | 121,2 |
| 1,110 | 12,08 | 2,39 | 134,1 |
| 1,120 | 13,14 | 2,62 | 147,0 |
| 1,130 | 14,19 | 2,86 | 160,5 |
| 1,140 | 15,22 | 3,09 | 173,4 |
| 1,150 | 16,26 | 3,33 | 186,8 |
| 1,160 | 17,29 | 3,58 | 200,9 |
| 1,170 | 18,32 | 3,82 | 214,3 |
| 1,180 | 19,35 | 4,07 | 228,4 |
| 1,190 | 20,37 | 4,32 | 242,4 |
| 1,200 | 21,38 | 4,57 | 256,4 |
| 1,210 | 22,38 | 4,83 | 271,0 |
| 1,220 | 23,38 | 5,08 | 285,0 |
| 1,230 | 24,37 | 5,34 | 299,6 |

| | | | |
|-------------------------|-------|--------|-------|
| 1,240 | 25,36 | 5,60 | 314,2 |
| Продовження таблиці 3 | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,250 | 26,34 | 5,87 | 329,4 |
| 1,260 | 27,32 | 6,13 | 344,0 |
| 1,270 | 28,89 | 6,40 | 359,1 |
| 1,280 | 29,25 | 6,67 | 374,3 |
| 1,290 | 30,21 | 6,95 | 390,0 |
| 1,300 | 31,15 | 7,22 | 405,1 |
| 1,310 | 32,09 | 7,49 | 420,3 |
| 1,320 | 33,03 | 7,77 | 436,0 |
| 1,330 | 33,97 | 8,05 | 451,7 |
| 1,340 | 34,90 | 8,33 | 467,7 |
| 1,350 | 35,82 | 8,62 | 483,7 |
| 1,360 | 36,73 | 8,90 | 499,4 |
| 1,370 | 37,65 | 9,19 | 515,7 |
| 1,380 | 38,56 | 9,48 | 531,9 |
| 1,390 | 39,46 | 9,78 | 548,8 |
| 1,400 | 40,37 | 10,07 | 565,0 |
| 1,410 | 41,26 | 10,37 | 581,9 |
| 1,420 | 42,15 | 10,67 | 598,7 |
| 1,430 | 43,04 | 10,97 | 615,5 |
| 1,440 | 43,92 | 11,28 | 632,9 |
| 1,450 | 44,79 | 11,58 | 649,7 |
| 1,460 | 45,66 | 11,88 | 666,6 |
| 1,470 | 46,53 | 12,19 | 684,0 |
| 1,480 | 47,39 | 12,50 | 701,4 |
| 1,490 | 48,25 | 12,82 | 719,3 |
| 1,500 | 49,10 | 13,13 | 736,7 |
| 1,510 | 49,95 | 13,45 | 754,7 |
| 1,520 | 50,80 | 13,76 | 772,1 |
| Натрій гідроксид | | | |
| 1,000 | 0,159 | 0,0398 | 1,592 |
| 1,005 | 0,602 | 0,151 | 6,040 |
| 1,010 | 1,04 | 0,264 | 10,56 |
| 1,020 | 1,94 | 0,494 | 19,76 |

| | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|
| 1,030 | 2,84 | 0,731 | 29,24 |
| Продовження таблиці 3 | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,040 | 3,74 | 0,971 | 38,84 |
| 1,050 | 4,65 | 1,222 | 48,88 |
| 1,060 | 5,56 | 1,474 | 58,96 |
| 1,070 | 6,47 | 1,731 | 69,24 |
| 1,080 | 7,38 | 1,992 | 79,68 |
| 1,090 | 8,28 | 2,257 | 90,28 |
| 1,100 | 9,19 | 2,527 | 101,1 |
| 1,110 | 10,10 | 2,802 | 112,1 |
| 1,120 | 11,01 | 3,082 | 123,3 |
| 1,130 | 11,92 | 3,367 | 134,7 |
| 1,140 | 12,83 | 3,655 | 146,2 |
| 1,150 | 13,73 | 3,947 | 157,9 |
| 1,160 | 14,64 | 4,244 | 169,8 |
| 1,170 | 15,54 | 4,545 | 181,8 |
| 1,180 | 16,44 | 4,850 | 194,0 |
| 1,190 | 17,34 | 5,160 | 206,4 |
| 1,200 | 18,25 | 5,476 | 219,0 |
| 1,210 | 19,16 | 5,796 | 231,8 |
| 1,220 | 20,07 | 6,122 | 244,9 |
| 1,230 | 20,98 | 6,451 | 258,0 |
| 1,240 | 21,90 | 6,788 | 271,5 |
| 1,250 | 22,82 | 7,129 | 285,2 |
| 1,260 | 23,73 | 7,475 | 299,0 |
| 1,270 | 24,64 | 7,824 | 313,0 |
| 1,280 | 25,56 | 8,178 | 327,1 |
| 1,290 | 26,48 | 8,539 | 341,6 |
| 1,300 | 27,41 | 8,906 | 356,2 |
| 1,310 | 28,33 | 9,278 | 371,1 |
| 1,320 | 29,26 | 9,656 | 386,2 |
| 1,330 | 30,20 | 10,04 | 401,6 |
| 1,340 | 31,14 | 10,43 | 417,2 |
| 1,350 | 32,10 | 10,83 | 433,2 |
| 1,360 | 33,06 | 11,24 | 449,6 |

| | | | |
|-----------------------|--------|--------|-------|
| 1,370 | 34,03 | 11,65 | 466,0 |
| Продовження таблиці 3 | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| 1,380 | 35,01 | 12,08 | 483,2 |
| 1,390 | 36,00 | 12,51 | 500,4 |
| 1,400 | 36,99 | 12,95 | 518,0 |
| 1,410 | 37,99 | 13,39 | 535,6 |
| 1,420 | 38,99 | 13,84 | 553,6 |
| 1,430 | 40,00 | 14,30 | 572,0 |
| 1,440 | 41,03 | 14,77 | 590,8 |
| 1,450 | 42,07 | 15,25 | 610,0 |
| 1,460 | 43,12 | 15,74 | 629,6 |
| 1,470 | 44,17 | 16,23 | 649,2 |
| 1,480 | 45,22 | 16,73 | 669,2 |
| 1,490 | 46,27 | 17,23 | 689,2 |
| 1,500 | 47,33 | 17,75 | 710,0 |
| 1,510 | 48,38 | 18,26 | 730,4 |
| Амоніак | | | |
| 0,998 | 0,0465 | 0,0273 | 0,46 |
| 0,996 | 0,512 | 0,299 | 5,1 |
| 0,994 | 0,977 | 0,570 | 9,7 |
| 0,992 | 1,43 | 0,834 | 14,2 |
| 0,990 | 1,89 | 1,10 | 18,7 |
| 0,988 | 2,35 | 1,36 | 23,3 |
| 0,986 | 2,82 | 1,63 | 27,8 |
| 0,984 | 3,30 | 1,91 | 32,5 |
| 0,982 | 3,78 | 2,18 | 37,1 |
| 0,980 | 4,27 | 2,46 | 41,8 |
| 0,978 | 4,76 | 2,73 | 46,4 |
| 0,976 | 5,25 | 3,01 | 51,2 |
| 0,974 | 5,79 | 3,29 | 55,9 |
| 0,972 | 6,25 | 3,57 | 60,7 |
| 0,970 | 6,75 | 3,84 | 65,3 |
| 0,968 | 7,26 | 4,12 | 70,0 |
| 0,966 | 7,77 | 4,41 | 75,1 |
| 0,964 | 8,29 | 4,69 | 79,9 |

| | | | |
|-------|------|------|------|
| 0,962 | 8,82 | 4,98 | 84,7 |
|-------|------|------|------|

Продовження таблиці 3

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------|-------|------|-------|
| 0,960 | 9,34 | 5,27 | 89,6 |
| 0,958 | 9,87 | 5,55 | 94,4 |
| 0,956 | 10,40 | 5,84 | 99,3 |
| 0,954 | 10,95 | 6,13 | 104,2 |
| 0,952 | 11,49 | 6,42 | 109,1 |
| 0,950 | 12,03 | 6,71 | 114,1 |
| 0,948 | 12,58 | 7,00 | 119,0 |
| 0,946 | 13,14 | 7,29 | 124,0 |
| 0,944 | 13,71 | 7,60 | 129,2 |
| 0,942 | 14,29 | 7,91 | 134,5 |
| 0,940 | 14,88 | 8,21 | 139,6 |
| 0,938 | 15,47 | 8,52 | 144,8 |
| 0,936 | 16,06 | 8,83 | 150,1 |
| 0,934 | 16,55 | 9,13 | 155,2 |

Таблиця 4

Константи іонізації важливіших кислот

| Назва | Формула | K_a | pK_a |
|---|---|----------------------|------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Адипинова K_1 | HOOC(CH ₂) ₄ COOH | $3,9 \cdot 10^{-5}$ | 4,41 |
| K_2 | | $3,9 \cdot 10^{-6}$ | 5,41 |
| Азотиста (нітритна) | HNO ₂ | $5,1 \cdot 10^{-4}$ | 3,29 |
| Азіводнева | HN ₃ | $2,0 \cdot 10^{-5}$ | 4,70 |
| Азотноватиста K_1 | H ₂ N ₂ O ₂ | $6,2 \cdot 10^{-8}$ | 7,21 |
| K_2 | | $2,9 \cdot 10^{-12}$ | 11,54 |
| Акрилова | CH ₂ =CHCOOH | $5,5 \cdot 10^{-5}$ | 4,26 |
| α -Амінопропіонова (α -Аланін) | CH ₃ CH(NH ₂)COOH | $1,3 \cdot 10^{-10}$ | 9,89 |
| β -Амінопропіонова (β -Аланін) | NH ₂ (CH ₂) ₂ COOH | $2,6 \cdot 10^{-11}$ | 10,58 |
| Амінооцтова (Гліцин) | NH ₂ CH ₂ COOH | $1,7 \cdot 10^{-10}$ | 9,77 |
| Аскорбиновая K_1 | H ₂ C ₆ H ₆ O ₆ | $9,1 \cdot 10^{-5}$ | 4,04 11,34 |

| | | | | |
|-----------------------------------|-------|----------------------|-----------------------|-------|
| | K_2 | | $4,6 \cdot 10^{-12}$ | |
| Продовження таблиці 4 | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | |
| Арсенатна | K_1 | | $5,6 \cdot 10^{-3}$ | 2,25 |
| | K_2 | H_3AsO_4 | $1,7 \cdot 10^{-7}$ | 6,77 |
| | K_3 | | $2,95 \cdot 10^{-12}$ | 11,53 |
| Арсенітна | | H_3AsO_3 | $5,9 \cdot 10^{-10}$ | 9,23 |
| Бензойна | | C_6H_5COOH | $6,3 \cdot 10^{-5}$ | 4,20 |
| Борна (орто-) | K_1 | | $7,1 \cdot 10^{-10}$ | 9,15 |
| | K_2 | H_3BO_3 | $1,8 \cdot 10^{-13}$ | 12,74 |
| | K_3 | | $1,6 \cdot 10^{-14}$ | 13,80 |
| Борна(тетра-) | K_1 | | $1,8 \cdot 10^{-4}$ | 3,74 |
| | K_2 | $H_2B_4O_7$ | $2,0 \cdot 10^{-8}$ | 7,70 |
| Бромноватиста (гипоброматна) | | $HBrO$ | $2,2 \cdot 10^{-9}$ | 8,66 |
| Валеріанова (норм.) | | $CH_3(CH_2)_3COOH$ | $1,4 \cdot 10^{-5}$ | 4,86 |
| Валеріанова (ізо-) | | $(CH_3)_2CHCH_2COOH$ | $1,7 \cdot 10^{-5}$ | 4,76 |
| Ванадатна (орто-) | K_1 | | $1,8 \cdot 10^{-4}$ | 3,74 |
| | K_2 | H_3VO_4 | $3,2 \cdot 10^{-10}$ | 9,5 |
| | K_3 | | $4,0 \cdot 10^{-15}$ | 14,4 |
| Винна | K_1 | | $9,1 \cdot 10^{-4}$ | 3,04 |
| | K_2 | $H_2C_4H_4O_6$ | $4,3 \cdot 10^{-5}$ | 4,37 |
| Вольфраматна | K_1 | | $6,3 \cdot 10^{-3}$ | 2,20 |
| | K_2 | H_2WO_4 | $2,0 \cdot 10^{-4}$ | 3,70 |
| Гексаціаноферратна | K_3 | | $5,6 \cdot 10^{-3}$ | 2,25 |
| | K_4 | $H_4Fe(CN)_6$ | $6,0 \cdot 10^{-5}$ | 4,22 |
| Галлова | | $C_6H_2(OH)_3COOH$ | $3,9 \cdot 10^{-5}$ | 4,41 |
| Германієва | K_1 | | $7,9 \cdot 10^{-10}$ | 9,10 |
| | K_2 | H_4GeO_4 | $2,0 \cdot 10^{-13}$ | 12,7 |
| Гидрогенсульфітна (дитіоніста) | K_1 | | $5,0 \cdot 10^{-1}$ | 0,30 |
| | K_2 | $H_2S_2O_4$ | $3,2 \cdot 10^{-3}$ | 2,50 |
| Гидрохинон | | $C_6H_4(OH)_2$ (1,4) | $1,1 \cdot 10^{-10}$ | 9,96 |
| Гликолева | | $CH_2(OH)COOH$ | $1,5 \cdot 10^{-4}$ | 3,88 |
| Глицеринова | | $CH_2(OH)CH(OH)COOH$ | $3,0 \cdot 10^{-4}$ | 3,52 |

| | | | | |
|-------------|-------|--|----------------------|-------|
| Глутамінова | K_1 | $\text{H}_2\text{C}_5\text{O}_4\text{H}_7\text{N}$ | $4,7 \cdot 10^{-5}$ | 4,33 |
| | K_2 | | $8,7 \cdot 10^{-11}$ | 10,06 |

Продовження таблиці 4

| 1 | | 2 | 3 | 4 |
|----------------------------|-------|--|----------------------|-------|
| Глутарова | K_1 | $\text{HOOC}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$ | $4,6 \cdot 10^{-5}$ | 4,34 |
| | K_2 | | $5,4 \cdot 10^{-6}$ | 5,27 |
| Глюконова | | $\text{CH}_2\text{OH}(\text{CHOH})_4\text{COOH}$ | $1,4 \cdot 10^{-4}$ | 3,86 |
| Димолибдатна | | $\text{H}_2\text{Mo}_2\text{O}_7$ | $9,55 \cdot 10^{-6}$ | 5,02 |
| Дихроматна | K_2 | $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ | $2,3 \cdot 10^{-2}$ | 1,64 |
| Дитіоновою | K_1 | $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_6$ | $6,3 \cdot 10^{-1}$ | 0,2 |
| | K_2 | | $4,0 \cdot 10^{-4}$ | 3,4 |
| Дихлороцтова | | CHCl_2COOH | $5,0 \cdot 10^{-2}$ | 1,30 |
| Етилендіамінтетра-оцтова | K_1 | $\text{H}_4\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_8\text{N}_2$ | $1,0 \cdot 10^{-2}$ | 2,00 |
| | K_2 | | $2,1 \cdot 10^{-3}$ | 2,67 |
| | K_3 | | $6,9 \cdot 10^{-7}$ | 6,16 |
| | K_4 | | $5,5 \cdot 10^{-11}$ | 10,26 |
| Йодна (періодатна) | K_1 | $\text{HIO}_4; \text{H}_5\text{IO}_6$ | $2,45 \cdot 10^{-2}$ | 1,61 |
| | K_2 | | $4,3 \cdot 10^{-9}$ | 8,33 |
| | K_3 | | $1,0 \cdot 10^{-15}$ | 15,0 |
| Йодновата (іодатна) | | HIO_3 | $1,7 \cdot 10^{-1}$ | 0,77 |
| Йодноватиста (гіпоіодитна) | | HIO | $2,3 \cdot 10^{-11}$ | 10,64 |
| Карбонатна | K_1 | $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | $4,5 \cdot 10^{-7}$ | 6,35 |
| | K_2 | | $4,8 \cdot 10^{-11}$ | 10,32 |
| Коричная (транс-) | | $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CHCOOH}$ | $3,7 \cdot 10^{-5}$ | 4,43 |
| Корична (цис-) | | $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CHCOOH}$ | $1,3 \cdot 10^{-4}$ | 3,88 |
| <i>m</i> -Крезол | | $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$ (1,3) | $8,1 \cdot 10^{-11}$ | 10,09 |
| <i>o</i> -Крезол | | $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$ (1,2) | $6,3 \cdot 10^{-11}$ | 10,20 |
| <i>p</i> -Крезол | | $\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{OH}$ (1,4) | $5,5 \cdot 10^{-11}$ | 10,26 |
| Лимонна | K_1 | $\text{H}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7$ | $7,4 \cdot 10^{-4}$ | 3,13 |
| | K_2 | | $2,2 \cdot 10^{-5}$ | 4,66 |
| | K_3 | | $4,0 \cdot 10^{-7}$ | 6,40 |
| Малеїнова | K_1 | $\text{HOOCCH}=\text{CHCOOH}$ | $1,2 \cdot 10^{-2}$ | 1,92 |
| | K_2 | | $6,0 \cdot 10^{-7}$ | 6,22 |

| | | | | |
|-----------|-------|--------------------------|---------------------|------|
| Малоновая | K_1 | HOOCCH ₂ COOH | $4,2 \cdot 10^{-2}$ | 1,38 |
| | K_2 | | $2,1 \cdot 10^{-6}$ | 5,68 |

Продовження таблиці 4

| 1 | | 2 | 3 | 4 |
|-------------------------|-------|--|----------------------|----------|
| Манганатна | K_1 | H ₂ MnO ₄ | $\sim 10^{-1}$ | ~ 1 |
| | K_2 | | $7,1 \cdot 10^{-11}$ | 10,15 |
| Масляна (норм.) | | CH ₃ CH ₂ CH ₂ COOH | $1,5 \cdot 10^{-5}$ | 4,82 |
| Масляная (ізо-) | | (CH ₃) ₂ CHCOOH | $1,4 \cdot 10^{-5}$ | 4,86 |
| Миндальна | | C ₆ H ₅ CH(OH)COOH | $4,3 \cdot 10^{-4}$ | 3,37 |
| Молибдатна | K_1 | H ₂ MoO ₄ | $2,9 \cdot 10^{-3}$ | 2,54 |
| | K_2 | | $1,4 \cdot 10^{-4}$ | 3,86 |
| Молочная | | CH ₃ CH(OH)COOH | $1,5 \cdot 10^{-4}$ | 3,83 |
| Мурашина (форміатна) | | HCOOH | $1,8 \cdot 10^{-4}$ | 3,75 |
| <i>o</i> -Нітробензойна | | NO ₂ C ₆ H ₄ COOH (1,2) | $6,8 \cdot 10^{-3}$ | 2,17 |
| <i>m</i> -Нітробензойна | | NO ₂ C ₆ H ₄ COOH (1,3) | $3,5 \cdot 10^{-4}$ | 3,49 |
| <i>n</i> -Нітробензойна | | NO ₂ C ₆ H ₄ COOH (1,4) | $3,7 \cdot 10^{-4}$ | 3,43 |
| Оксалатна | K_1 | H ₂ C ₂ O ₄ | $5,6 \cdot 10^{-2}$ | 1,25 |
| | K_2 | | $5,4 \cdot 10^{-5}$ | 4,27 |
| 8-Оксихинолін | | C ₉ H ₇ ON | $1,3 \cdot 10^{-10}$ | 9,90 |
| Оцтова (етанова) | | CH ₃ COOH | $1,74 \cdot 10^{-5}$ | 4,76 |
| Пероксид водню | | H ₂ O ₂ | $2,0 \cdot 10^{-12}$ | 11,70 |
| Пикринова | | HOOC ₆ H ₂ (NO ₂) ₃ | $4,2 \cdot 10^{-1}$ | 0,38 |
| Пірокатехін | K_1 | C ₆ H ₄ (OH) ₂ (1,2) | $3,6 \cdot 10^{-10}$ | 9,45 |
| | K_2 | | $1,6 \cdot 10^{-13}$ | 12,80 |
| Пропіонова | | CH ₃ CH ₂ COOH | $1,3 \cdot 10^{-5}$ | 4,87 |
| Резорцин | K_1 | C ₆ H ₄ (OH) ₂ (1,3) | $5,0 \cdot 10^{-10}$ | 9,30 |
| | K_2 | | $8,7 \cdot 10^{-12}$ | 11,06 |
| Саліцилова | | C ₆ H ₄ (OH)COOH | $1,1 \cdot 10^{-3}$ | 2,97 |
| Себацінова | K_1 | HOOC(CH ₂) ₈ COOH | $4,0 \cdot 10^{-5}$ | 4,40 |
| | K_2 | | $6,0 \cdot 10^{-6}$ | 5,22 |
| Селенітна | K_1 | H ₂ SeO ₃ | $1,8 \cdot 10^{-3}$ | 2,75 |
| | K_2 | | $3,2 \cdot 10^{-9}$ | 8,50 |
| Селенідна | K_1 | H ₂ Se | $1,3 \cdot 10^{-4}$ | 3,89 |
| | K_2 | | $1,0 \cdot 10^{-11}$ | 11,00 |
| Селенатна | K_2 | H ₂ SeO ₄ | $1,2 \cdot 10^{-2}$ | 1,92 |

| | | | | |
|---------------------|-------|-------------------------|----------------------|-------|
| Силікатна (орто) | K_1 | | $1,3 \cdot 10^{-10}$ | 9,9 |
| | K_2 | H_4SiO_4 | $1,6 \cdot 10^{-12}$ | 11,8 |
| | K_3 | | $2,0 \cdot 10^{-14}$ | 13,7 |
| Сульфатна | K_2 | H_2SO_4 | $1,15 \cdot 10^{-2}$ | 1,94 |
| Сульфітна | K_1 | H_2SO_3 | $1,4 \cdot 10^{-2}$ | 1,85 |
| | K_2 | | $6,2 \cdot 10^{-8}$ | 7,20 |
| Сульфідна | K_1 | H_2S | $1,0 \cdot 10^{-7}$ | 6,99 |
| | K_2 | | $2,5 \cdot 10^{-13}$ | 12,60 |
| Синильна (ціанатна) | | HCN | $5,0 \cdot 10^{-10}$ | 9,30 |
| Сульфамінова | | H_2NSO_3H | $1,01 \cdot 10^{-1}$ | 0,99 |
| Сульфанілова | | $H_2NC_6H_4SO_3H$ | $6,3 \cdot 10^{-4}$ | 3,20 |
| Сульфосаліцилова | K_2 | $C_6H_3(OH)(COOH)SO_3H$ | $3,1 \cdot 10^{-3}$ | 2,51 |
| | K_3 | | $2,0 \cdot 10^{-12}$ | 11,70 |
| Стибатна | | $H[Sb(OH)_6]$ | $4,0 \cdot 10^{-5}$ | 4,40 |
| Теллурична | K_1 | H_2TeO_3 | $2,7 \cdot 10^{-3}$ | 2,57 |
| | K_2 | | $1,8 \cdot 10^{-8}$ | 7,74 |
| Теллуриводнева | K_1 | H_2Te | $2,3 \cdot 10^{-3}$ | 2,64 |
| | K_2 | | $6,9 \cdot 10^{-13}$ | 12,06 |
| Теллурична | K_1 | H_6TeO_6 | $2,45 \cdot 10^{-8}$ | 7,61 |
| | K_2 | | $1,1 \cdot 10^{-11}$ | 10,95 |
| | K_3 | | $1 \cdot 10^{-15}$ | 15 |
| Тіосульфатна | K_1 | $H_2S_2O_3$ | $2,5 \cdot 10^{-1}$ | 0,60 |
| | K_2 | | $1,9 \cdot 10^{-2}$ | 1,72 |
| Трихлороцтова | | CCl_3COOH | $2,0 \cdot 10^{-1}$ | 0,70 |
| Фенол | | C_6H_5OH | $1,0 \cdot 10^{-10}$ | 10,0 |
| Фосфітна | K_1 | H_3PO_3 | $1,6 \cdot 10^{-2}$ | 1,80 |
| | K_2 | | $2,0 \cdot 10^{-7}$ | 6,79 |
| Фосфатна (орто-) | K_1 | H_3PO_4 | $7,1 \cdot 10^{-3}$ | 2,15 |
| | K_2 | | $6,2 \cdot 10^{-8}$ | 7,21 |
| | K_3 | | $5,0 \cdot 10^{-13}$ | 12,30 |
| Фосфатна (пиро-) | K_1 | $H_4P_2O_7$ | $1,2 \cdot 10^{-1}$ | 0,91 |
| | K_2 | | $7,9 \cdot 10^{-3}$ | 2,10 |
| | K_3 | | $2,0 \cdot 10^{-7}$ | 6,70 |
| | K_4 | | $4,8 \cdot 10^{-10}$ | 9,32 |
| Фосфорновата | K_1 | $H_4P_2O_6$ | $6,3 \cdot 10^{-3}$ | 2,20 |

| | | | | |
|---------------------------------|-------|--|----------------------|-------|
| | K_2 | | $1,6 \cdot 10^{-3}$ | 2,81 |
| | K_3 | | $5,4 \cdot 10^{-8}$ | 7,27 |
| | K_4 | | $9,3 \cdot 10^{-11}$ | 10,03 |
| Фосфорноватиста | | H_3PO_2 | $5,9 \cdot 10^{-2}$ | 1,23 |
| <i>o</i> -Фталева | K_1 | $C_6H_4(COOH)_2 (1,2)$ | $1,2 \cdot 10^{-3}$ | 2,93 |
| | K_2 | | $3,9 \cdot 10^{-6}$ | 5,41 |
| <i>m</i> -Фталева | K_1 | $C_6H_4(COOH)_2 (1,3)$ | $2,0 \cdot 10^{-4}$ | 3,70 |
| | K_2 | | $2,5 \cdot 10^{-5}$ | 4,60 |
| <i>n</i> -Фталева | K_1 | $C_6H_4(COOH)_2 (1,4)$ | $2,9 \cdot 10^{-4}$ | 3,54 |
| | K_2 | | $3,5 \cdot 10^{-5}$ | 4,46 |
| Фтороводнева (фторидна) | | HF | $6,2 \cdot 10^{-4}$ | 3,21 |
| Фторофосфатна | K_1 | $H_2[PO_3F]$ | $2,8 \cdot 10^{-1}$ | 0,55 |
| | K_2 | | $1,6 \cdot 10^{-5}$ | 4,80 |
| Фумарова | K_1 | HOOCCH=CHCOOH | $9,3 \cdot 10^{-4}$ | 3,03 |
| | K_2 | | $4,2 \cdot 10^{-5}$ | 4,38 |
| Хлориста (хлоритна) | | $HClO_2$ | $1,1 \cdot 10^{-2}$ | 1,97 |
| Хлорноватиста (Гипохлоритна) | | $HClO$ | $2,95 \cdot 10^{-8}$ | 7,53 |
| Хлороцтова | | $CH_2ClCOOH$ | $1,4 \cdot 10^{-3}$ | 2,86 |
| Хроматна | K_1 | H_2CrO_4 | $1,6 \cdot 10^{-1}$ | 0,98 |
| | K_2 | | $3,2 \cdot 10^{-7}$ | 6,50 |
| Хромотропова | K_1 | $C_{10}H_6(OH)_2(SO_3H)_2$ | $4,4 \cdot 10^{-6}$ | 5,36 |
| | K_2 | | $2,5 \cdot 10^{-16}$ | 15,60 |
| Цианова | | HOCN | $2,7 \cdot 10^{-4}$ | 3,57 |
| Яблучна | K_1 | $H_2C_4H_4O_5$ | $3,5 \cdot 10^{-4}$ | 3,46 |
| | K_2 | | $8,9 \cdot 10^{-6}$ | 5,05 |
| Янтарна | K_1 | HOOCCH ₂ CH ₂ COOH | $1,6 \cdot 10^{-5}$ | 4,21 |
| | K_2 | | $2,3 \cdot 10^{-6}$ | 5,63 |

Таблиця 5

Константи іонізації важливіших основ

| Назва | Формула | K_b | pK_b |
|-------------------------------------|---|----------------------|--------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Амоніак розчин | $\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ | $1,76 \cdot 10^{-5}$ | 4,755 |
| Анілін | $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | $4,2 \cdot 10^{-10}$ | 9,37 |
| Барій гідроксид K_2 | $\text{Ba}(\text{OH})_2$ | $2,3 \cdot 10^{-1}$ | 0,64 |
| Бензидин | K_1 $\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | $9,3 \cdot 10^{-10}$ | 9,03 |
| | K_2 $\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{C}_6\text{H}_4\text{NH}_3^+ + \text{H}_2\text{O}$ | $5,6 \cdot 10^{-11}$ | 10,25 |
| Гідразин | $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{H}_2\text{O}$ | $9,8 \cdot 10^{-7}$ | 6,03 |
| Гідроксиламін | $\text{NH}_2\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$ | $8,9 \cdot 10^{-9}$ | 8,05 |
| Гуанідін | $(\text{H}_2\text{N})_2\text{CNH} + \text{H}_2\text{O}$ | $3,55 \cdot 10^{-1}$ | 0,55 |
| Диметиламін | $(\text{CH}_3)_2\text{NH} + \text{H}_2\text{O}$ | $5,4 \cdot 10^{-4}$ | 3,27 |
| Дифениламін | $(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NH} + \text{H}_2\text{O}$ | $6,2 \cdot 10^{-14}$ | 13,21 |
| Диетиламін | $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{NH} + \text{H}_2\text{O}$ | $1,2 \cdot 10^{-3}$ | 2,91 |
| Кальцій гідроксид K_2 | $\text{Ca}(\text{OH})_2$ | $4,0 \cdot 10^{-2}$ | 1,40 |
| Літій гідроксид | LiOH | $6,8 \cdot 10^{-1}$ | 0,17 |
| Метиламін | $\text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | $4,6 \cdot 10^{-3}$ | 3,34 |
| Сечовина | $\text{CO}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$ | $1,5 \cdot 10^{-14}$ | 13,82 |
| 1-Нафтиламін | $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | $8,4 \cdot 10^{-11}$ | 10,08 |
| 2-Нафтиламін | $\text{C}_{10}\text{H}_7\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | $1,3 \cdot 10^{-10}$ | 9,89 |
| 8-Оксихинолін | $\text{C}_9\text{H}_7\text{ON} + \text{H}_2\text{O}$ | $1,0 \cdot 10^{-9}$ | 8,99 |
| Пиридин | $\text{C}_5\text{H}_5\text{N} + \text{H}_2\text{O}$ | $1,5 \cdot 10^{-9}$ | 8,82 |
| Плюмбум гідроксид | K_1 $\text{Pb}(\text{OH})_2$ | $9,55 \cdot 10^{-4}$ | 3,02 |
| | K_2 | $3,0 \cdot 10^{-8}$ | 7,52 |
| Семикарбазид | $\text{H}_2\text{NCONHNH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | $2,7 \cdot 10^{-11}$ | 10,57 |
| Аргентум гідроксид | AgOH | $5,0 \cdot 10^{-3}$ | 2,30 |
| Тіосечовина | $\text{CS}(\text{NH}_2)_2 + \text{H}_2\text{O}$ | $1,1 \cdot 10^{-12}$ | 11,97 |
| Триметиламін | $(\text{CH}_3)_3\text{N} + \text{H}_2\text{O}$ | $6,5 \cdot 10^{-5}$ | 4,19 |
| Уротропин (гексаметилентетрамін) | $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4 + \text{H}_2\text{O}$ | $1,4 \cdot 10^{-9}$ | 8,87 |
| Фенилгідразин | $\text{C}_6\text{H}_5\text{NHNH}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | $1,6 \cdot 10^{-9}$ | 8,80 |

| | | | |
|--------------|----------------------------|----------------------|---------------------|
| Хинолін | $C_9H_7N + H_2O$ | $7,4 \cdot 10^{-10}$ | 9,13 |
| Етаноламін | $H_2NCH_2CH_2OH + H_2O$ | $1,8 \cdot 10^{-5}$ | 4,75 |
| Етиламін | $CH_3CH_2NH_2 + H_2O$ | $6,5 \cdot 10^{-4}$ | 3,19 |
| Етилендіамін | $H_2NCH_2-CH_2NH_2 + H_2O$ | K_1 | $1,2 \cdot 10^{-4}$ |
| | | K_2 | $9,8 \cdot 10^{-8}$ |

Таблиця 6

КИСЛОТНО-ОСНОВНІ ІНДИКАТОРИ

| Індикатор | Кисла форма | Основна форма | Інтервал рН |
|-------------------------------|---------------|---------------|-------------|
| Пикринова кислота | не забарвлена | жовта | 0,1-0,8 |
| <i>n</i> -Метилловий червоний | червона | жовта | 1,0-3,0 |
| 2,6-Динітрофенол | не забарвлена | жовта | 2,0-4,0 |
| Бромфеноловий синій | жовта | синя | 3,0-4,6 |
| Конго червоне | синя | червона | 3,0-5,0 |
| Метилловий оранжевий | червона | жовта | 3,1-4,4 |
| Етиловий оранжевий | червона | жовта | 3,4-4,5 |
| Алізариновий червоний S | жовта | пурпурна | 3,7-5,0 |
| Бромкрезоловий зелений | жовта | блакитна | 3,8-5,4 |
| Метилловий червоний | червона | жовта | 4,2-6,2 |
| Пропіловий червоний | червона | жовта | 4,6-6,6 |
| Метилловий пурпурний | пурпурна | зелена | 4,8-5,4 |
| Хлорфеноловий червоний | жовта | червона | 4,8-6,4 |
| <i>n</i> -Нітрофенол | не забарвлена | жовта | 5,0-7,0 |
| Бромкрезоловий пурпурний | жовта | пурпурна | 5,2-6,8 |
| Бромтіололовий синій | жовта | синя | 6,0-7,6 |
| Бриліантовий жовтий | жовта | оранжева | 6,6-8,0 |
| Нейтральний червоний | червона | янтарна | 6,7-8,0 |
| Феноловий червоний | жовта | червона | 6,7-8,4 |
| <i>m</i> -Нітрофенол | не забарвлена | жовта | 6,7-8,6 |
| Фенолфалеїн | не забарвлена | розова | 8,0-9,6 |
| Тімофталеїн | не забарвлена | блакитна | 9,3-10,6 |
| 2,4,6-Тринітротолуол | не забарвлена | оранжева | 12,0-14,0 |

Таблиця 7

ДОБУТОК РОЗЧИННОСТІ

| Формула речовини | ДР | Формула речовини | ДР |
|--|------------------------|--|------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| Ag ₃ AsO ₃ | 1·10 ⁻¹⁷ | Ag ₃ AsO ₄ | 1·10 ⁻²² |
| AgBO ₂ | 4·10 ⁻³ | Ag ₂ SO ₄ | 1,6·10 ⁻⁵ |
| AgBr | 5,3·10 ⁻¹³ | AgSeCN | 4,0·10 ⁻¹⁶ |
| AgBrO ₃ | 5,5·10 ⁻⁵ | Ag ₂ SeO ₃ | 9,8·10 ⁻¹⁶ |
| AgC ₂ H ₃ O ₂ | 4·10 ⁻³ | Ag ₂ SeO ₄ | 5,6·10 ⁻⁸ |
| AgCN | 1,4·10 ⁻¹⁶ | AgVO ₃ | 5·10 ⁻⁷ |
| Ag ₂ CO ₃ | 1,2·10 ⁻¹² | Ag ₂ WO ₄ | 5,5·10 ⁻¹² |
| Ag ₂ C ₂ O ₄ | 3,5·10 ⁻¹¹ | AlAsO ₄ | 1,6·10 ⁻¹⁶ |
| AgCl | 1,78·10 ⁻¹⁰ | Al(OH) ₃ | 3,2·10 ⁻³⁴ |
| AgClO ₂ | 2·10 ⁻⁴ | AlPO ₄ | 5,75·10 ⁻¹⁹ |
| AgClO ₃ | 5,0·10 ⁻² | Ba ₃ (AsO ₄) ₂ | 7,8·10 ⁻⁵¹ |
| Ag ₂ CrO ₄ | 1,1·10 ⁻¹² | Ba(BrO ₃) ₂ | 5,5·10 ⁻⁶ |
| Ag ₂ Cr ₂ O ₇ | 1·10 ⁻¹⁰ | BaCO ₃ | 4,0·10 ⁻¹⁰ |
| Ag ₃ Fe(CN) ₆ | 1·10 ⁻²² | BaC ₂ O ₄ | 1,1·10 ⁻⁷ |
| Ag ₄ Fe(CN) ₆ | 8,5·10 ⁻⁴⁵ | BaCrO ₄ | 1,2·10 ⁻¹⁰ |
| Ag ₂ HVO ₄ | 2·10 ⁻¹⁴ | BaF ₂ | 1,1·10 ⁻⁶ |
| AgI | 8,3·10 ⁻¹⁷ | Ba ₂ Fe(CN) ₆ | 3·10 ⁻⁸ |
| AgIO ₃ | 3,0·10 ⁻⁸ | Ba(IO ₃) ₂ | 1,5·10 ⁻⁹ |
| AgMnO ₄ | 1,6·10 ⁻³ | BaMnO ₄ | 2,5·10 ⁻¹⁰ |
| Ag ₂ MoO ₄ | 2,8·10 ⁻⁹ | BaMoO ₄ | 4·10 ⁻⁸ |
| AgN ₃ | 2,9·10 ⁻⁹ | Ba ₃ (PO ₄) ₂ | 6·10 ⁻³⁹ |
| AgNO ₂ | 6,0·10 ⁻⁴ | Ba ₂ P ₂ O ₇ | 3·10 ⁻¹¹ |
| Ag ₂ O (Ag ⁺ , OH ⁻) | 1,95·10 ⁻⁸ | BaSO ₃ | 8·10 ⁻⁷ |
| AgOCN | 2,3·10 ⁻⁷ | BaSO ₄ | 1,1·10 ⁻¹⁰ |
| Ag ₃ PO ₄ | 1,3·10 ⁻²⁰ | BaS ₂ O ₃ | 1,6·10 ⁻⁵ |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|
| AgReO ₄ | 7,95·10 ⁻⁵ | BaSeO ₄ | 5·10 ⁻⁸ |
| Ag ₂ S | 6,3·10 ⁻⁵⁰ | BeCO ₃ | 1·10 ⁻³ |
| AgSCN | 1,1·10 ⁻¹² | BeMoO ₄ | 3,2·10 ⁻¹² |
| Ag ₂ SO ₃ | 1,5·10 ⁻¹⁴ | Be(OH) ₂ | 4,9·10 ⁻²² |
| AgSO ₃ NH ₂ | 1·10 ⁻¹ | BiAsO ₄ | 2,8·10 ⁻¹⁰ |

Продовження таблиці 7

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|-----------------------|---|------------------------|
| BiI ₃ | 8,1·10 ⁻¹⁹ | Ce(OH) ₃ | 1,5·10 ⁻²⁰ |
| Bi(OH) ₃ | 3,2·10 ⁻³² | CoCO ₃ | 1,05·10 ⁻¹⁰ |
| BiPO ₄ | 1,3·10 ⁻²³ | CoC ₂ O ₄ | 6,3·10 ⁻⁸ |
| Bi ₂ S ₃ | 1·10 ⁻⁹⁷ | Co ₂ Fe(CN) ₆ | 4,8·10 ⁻³⁸ |
| Ca ₃ (AsO ₄) ₂ | 6,8·10 ⁻¹⁹ | Co(IO ₃) ₂ | 1,0·10 ⁻⁴ |
| CaC ₄ H ₄ O ₆ (тартрат) | 7,7·10 ⁻⁷ | Co(OH) ₂ | 2,0·10 ⁻¹⁶ |
| CaCO ₃ | 3,8·10 ⁻⁹ | Co(OH) ₃ | 4·10 ⁻⁴⁵ |
| CaC ₂ O ₄ | 2,3·10 ⁻⁹ | CoS α | 4,0·10 ⁻²¹ |
| CaCrO ₄ | 7,1·10 ⁻⁴ | CoS β | 2,0·10 ⁻²⁵ |
| CaF ₂ | 4,0·10 ⁻¹¹ | CoSeO ₃ | 1,6·10 ⁻⁷ |
| Ca(NH ₄) ₂ Fe(CN) ₆ | 4·10 ⁻⁸ | CrAsO ₄ | 7,8·10 ⁻²¹ |
| Ca(IO ₃) ₂ | 7,0·10 ⁻⁷ | Cr(OH) ₂ | 1,0·10 ⁻¹⁷ |
| Ca(OH) ₂ | 6,5·10 ⁻⁶ | Cr(OH) ₃ | 6,3·10 ⁻³¹ |
| Ca ₃ (PO ₄) ₂ | 2,0·10 ⁻²⁹ | CrPO ₄ | 2,4·10 ⁻²³ |
| CaPO ₃ F (Ca ²⁺ , PO ₃ F ²⁻) | 4·10 ⁻³ | CsClO ₄ | 4·10 ⁻³ |
| CaSO ₃ | 3,2·10 ⁻⁷ | Cu ₃ (AsO ₄) ₂ | 7,6·10 ⁻³⁶ |
| CaSO ₄ | 2,5·10 ⁻⁵ | CuBr | 5,25·10 ⁻⁹ |
| CaSeO ₃ | 4,7·10 ⁻⁶ | CuCN | 3,2·10 ⁻²⁰ |
| CaSiF ₆ | 8,1·10 ⁻⁴ | CuCO ₃ | 2,5·10 ⁻¹⁰ |
| CaWO ₄ | 9,0·10 ⁻⁹ | CuC ₂ O ₄ | 3·10 ⁻⁹ |
| Cd ₃ (AsO ₄) ₂ | 2,2·10 ⁻³³ | CuCl | 1,2·10 ⁻⁶ |
| Cd(CN) ₂ | 1,0·10 ⁻⁸ | CuCrO ₄ | 3,6·10 ⁻⁶ |
| CdCO ₃ | 1,0·10 ⁻¹² | Cu ₂ Fe(CN) ₆ | 1,3·10 ⁻¹⁶ |
| CdC ₂ O ₄ | 1,5·10 ⁻⁸ | CuI | 1,1·10 ⁻¹² |
| Cd ₂ Fe(CN) ₆ | 4,2·10 ⁻¹⁸ | Cu(IO ₃) ₂ | 7,4·10 ⁻⁸ |
| Cd(OH) ₂ | 5,9·10 ⁻¹⁵ | CuN ₃ | 5,0·10 ⁻⁹ |
| CdS | 1,6·10 ⁻²⁸ | Cu ₂ O (2Cu ⁺ , OH ⁻) | 1·10 ⁻¹⁴ |
| CdSeO ₃ | 5,0·10 ⁻⁹ | Cu(OH) ₂ | 8,3·10 ⁻²⁰ |

| | | | |
|---|-----------------------|---|-----------------------|
| Ce(IO ₃) ₄ | 5·10 ⁻¹⁷ | Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃ | 1,7·10 ⁻³⁴ |
| Cu ₂ P ₂ O ₇ | 8,3·10 ⁻¹⁶ | CuSe | 1·10 ⁻⁴⁹ |
| CuS | 6,3·10 ⁻³⁶ | CuSeO ₃ | 1,7·10 ⁻⁸ |
| Cu ₂ S | 2,5·10 ⁻⁴⁸ | FeAsO ₄ | 5,8·10 ⁻²¹ |
| CuSCN | 4,8·10 ⁻¹⁵ | FeCO ₃ | 3,5·10 ⁻¹¹ |

Продовження таблиці 7

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|------------------------|---|-----------------------|
| FeC ₂ O ₄ | 2·10 ⁻⁷ | Mn(OH) ₂ | 1,9·10 ⁻¹³ |
| Fe ₄ [Fe(CN) ₆] ₃ | 3,0·10 ⁻⁴¹ | Mn(OH) ₃ | 1·10 ⁻³⁶ |
| Fe(OH) ₂ | 7,1·10 ⁻¹⁶ | MnS | 2,5·10 ⁻¹⁰ |
| Fe(OH) ₃ | 6,3·10 ⁻³⁸ | MnSeO ₃ | 5,4·10 ⁻⁸ |
| FePO ₄ | 1,3·10 ⁻²² | (NH ₄) ₃ AlF ₆ | 1,6·10 ⁻³ |
| FeS | 5·10 ⁻¹⁸ | (NH ₄) ₃ Co(NO ₂) ₆ | 7,6·10 ⁻⁶ |
| HgS | 1,6·10 ⁻⁵² | (NH ₄) ₂ IrCl ₆ | 3·10 ⁻⁵ |
| In(OH) ₃ | 1,2·10 ⁻³⁷ | (NH ₄) ₂ PtCl ₆ | 9·10 ⁻⁶ |
| In ₂ S ₃ | 5,75·10 ⁻⁷⁴ | Na ₃ AlF ₆ | 4,1·10 ⁻¹⁰ |
| K ₃ AlF ₆ | 1,6·10 ⁻⁹ | NaSb(OH) ₆ | 4·10 ⁻⁸ |
| K(C ₆ H ₅) ₄ B | 2,25·10 ⁻⁸ | Na ₂ SiF ₆ | 2,8·10 ⁻⁴ |
| K ₃ Co(NO ₂) ₆ | 4,3·10 ⁻¹⁰ | Ni ₃ (AsO ₄) ₂ | 3,1·10 ⁻²⁶ |
| K ₂ PdCl ₆ | 6,0·10 ⁻⁶ | Ni(CN) ₂ | 3·10 ⁻²³ |
| K ₂ PtCl ₆ | 1,1·10 ⁻⁵ | NiCO ₃ | 1,3·10 ⁻⁷ |
| La ₂ S ₃ | 2,0·10 ⁻¹³ | NiC ₂ O ₄ | 4·10 ⁻¹⁰ |
| Li ₃ PO ₄ | 3,2·10 ⁻⁹ | Ni(ClO ₃) ₂ | 1·10 ⁻⁴ |
| Mg ₃ (AsO ₄) ₂ | 2,1·10 ⁻²⁰ | Ni(IO ₃) ₂ | 1,4·10 ⁻⁸ |
| MgCO ₃ | 2,1·10 ⁻⁵ | Ni(OH) ₂ | 2,0·10 ⁻¹⁵ |
| MgC ₂ O ₄ | 8,6·10 ⁻⁵ | Ni ₂ P ₂ O ₇ | 1,7·10 ⁻¹³ |
| MgF ₂ | 6,5·10 ⁻⁹ | NiS | 3,2·10 ⁻¹⁹ |
| Mg(IO ₃) ₂ | 3·10 ⁻³ | NiSeO ₃ | 1,0·10 ⁻⁵ |
| MgK ₂ Fe(CN) ₆ | 5·10 ⁻⁹ | Ni ₂ Fe(CN) ₆ | 1,3·10 ⁻¹⁵ |
| Mg(NH ₄) ₂ Fe(CN) ₆ | 4·10 ⁻⁸ | PbBr ₂ | 9,1·10 ⁻⁶ |
| MgNH ₄ PO ₄ | 2,5·10 ⁻¹³ | Pb(BrO ₃) ₂ | 8,0·10 ⁻⁶ |
| Mg(OH) ₂ | 7,1·10 ⁻¹² | Pb ₃ (AsO ₄) ₂ | 4,1·10 ⁻³⁶ |
| Mg ₃ (PO ₄) ₂ | 1·10 ⁻¹³ | PbCO ₃ | 7,5·10 ⁻¹⁴ |
| MgSO ₃ | 3·10 ⁻³ | PbC ₂ O ₄ | 4,8·10 ⁻¹⁰ |
| MgSeO ₃ | 4,4·10 ⁻⁶ | PbCl ₂ | 1,6·10 ⁻⁵ |

| | | | |
|-----------------|----------------------|----------------|-----------------------|
| $Mn_3(AsO_4)_2$ | $1,9 \cdot 10^{-29}$ | $PbCrO_4$ | $1,8 \cdot 10^{-14}$ |
| $MnCO_3$ | $1,8 \cdot 10^{-11}$ | PbF_2 | $2,7 \cdot 10^{-8}$ |
| MnC_2O_4 | $5 \cdot 10^{-6}$ | $Pb_2Fe(CN)_6$ | $9,55 \cdot 10^{-19}$ |
| $Mn_2Fe(CN)_6$ | $7,9 \cdot 10^{-13}$ | PbI_2 | $1,1 \cdot 10^{-9}$ |
| $MnNH_4PO_4$ | $1 \cdot 10^{-12}$ | $Pb(IO_3)_2$ | $2,6 \cdot 10^{-13}$ |

Продовження таблиці 7

| 1 | 2 | 3 | 4 |
|-----------------|----------------------|-----------------|-----------------------|
| $PbMoO_4$ | $4,0 \cdot 10^{-6}$ | $SrCrO_4$ | $3,6 \cdot 10^{-5}$ |
| $Pb(N_3)_2$ | $2,6 \cdot 10^{-9}$ | SrF_2 | $2,5 \cdot 10^{-9}$ |
| $Pb(OH)_2$ | $7,9 \cdot 10^{-16}$ | $Sr(IO_3)_2$ | $3,3 \cdot 10^{-7}$ |
| $Pb_3(PO_4)_2$ | $7,9 \cdot 10^{-43}$ | $SrMoO_4$ | $2 \cdot 10^{-7}$ |
| PbS | $2,5 \cdot 10^{-27}$ | $Sr(OH)_2$ | $3,2 \cdot 10^{-4}$ |
| $Pb(SCN)_2$ | $2,0 \cdot 10^{-5}$ | $Sr_3(PO_4)_2$ | $1 \cdot 10^{-31}$ |
| $PbSO_4$ | $1,6 \cdot 10^{-8}$ | $SrSO_3$ | $4 \cdot 10^{-8}$ |
| PbS_2O_3 | $4,0 \cdot 10^{-7}$ | $SrSO_4$ | $3,2 \cdot 10^{-7}$ |
| $PbSe$ | $1 \cdot 10^{-38}$ | $SrSeO_3$ | $4,4 \cdot 10^{-6}$ |
| $PbSeO_3$ | $3 \cdot 10^{-12}$ | $Y(OH)_3$ | $6,3 \cdot 10^{-25}$ |
| $PbSeO_4$ | $1,45 \cdot 10^{-7}$ | $Zn_3(AsO_4)_2$ | $1,3 \cdot 10^{-28}$ |
| $PbWO_4$ | $4,5 \cdot 10^{-7}$ | $Zn(CN)_2$ | $2,6 \cdot 10^{-13}$ |
| $Pb(OH)_4$ | $3,0 \cdot 10^{-66}$ | $ZnCO_3$ | $1,45 \cdot 10^{-11}$ |
| $Sc(OH)_3$ | $5,0 \cdot 10^{-37}$ | ZnC_2O_4 | $2,75 \cdot 10^{-8}$ |
| SnI_2 | $8,3 \cdot 10^{-6}$ | $Zn_2Fe(CN)_6$ | $2,1 \cdot 10^{-16}$ |
| $Sn(OH)_2$ | $6,3 \cdot 10^{-27}$ | $Zn(IO_3)_2$ | $2,0 \cdot 10^{-8}$ |
| $Sn(OH)_4$ | $1 \cdot 10^{-57}$ | $Zn(OH)_2$ | $1,4 \cdot 10^{-17}$ |
| SnS | $2,5 \cdot 10^{-27}$ | $Zn_3(PO_4)_2$ | $9,1 \cdot 10^{-33}$ |
| $Sr_3(AsO_4)_2$ | $1,3 \cdot 10^{-18}$ | ZnS | $1,6 \cdot 10^{-24}$ |
| $SrCO_3$ | $1,1 \cdot 10^{-10}$ | $ZnSe$ | $1 \cdot 10^{-31}$ |
| SrC_2O_4 | $1,6 \cdot 10^{-7}$ | $ZnSeO_3$ | $1,9 \cdot 10^{-8}$ |

Таблиця 8

Стандартні електродні потенціали (E°) при 25°C

| Елемент | Полуреакція | E°, V |
|---------|-------------|--------------|
|---------|-------------|--------------|

| 1 | 2 | 3 |
|-----------|---|---------|
| Ag | $\text{Ag}^+ + e = \text{Ag}\downarrow$ | +0,7994 |
| | $\text{AgBr}\downarrow + e = \text{Ag}\downarrow + \text{Br}^-$ | +0,071 |
| | $\text{AgCl}\downarrow + e = \text{Ag}\downarrow + \text{Cl}^-$ | +0,222 |
| | $\text{AgI}\downarrow + e = \text{Ag}\downarrow + \text{I}^-$ | -0,152 |

Продовження таблиці 8

| 1 | 2 | 3 |
|-----------|---|--------|
| As | $\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{HAsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ | +0,56 |
| | $\text{AsO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{AsO}_2^- + 4\text{OH}^-$ | -0,71 |
| Br | $\text{Br}_2 + 2e = 2\text{Br}^-$ | +1,087 |
| | $2\text{BrO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10e = \text{Br}_2\downarrow + 6\text{H}_2\text{O}$ | +1,52 |
| | $2\text{BrO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O} + 10e = \text{Br}_2\downarrow + 12\text{OH}^-$ | +0,50 |
| C | $\text{CO}_2\uparrow + 2\text{H}^+ + 2e = \text{HCOOH}$ | -0,20 |
| | $2\text{CO}_2\uparrow + 2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ | -0,49 |
| Ca | $\text{Ca}^{2+} + 2e = \text{Ca}\downarrow$ | -2,79 |
| Cd | $\text{Cd}^{2+} + 2e = \text{Cd}\downarrow$ | -0,403 |
| Ce | $\text{Ce}^{4+} + e = \text{Ce}^{3+}$ | +1,77 |
| Cl | $\text{Cl}_2\uparrow + 2e = 2\text{Cl}^-$ | +1,359 |
| | $2\text{HOCl} + 2\text{H}^+ + 2e = \text{Cl}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ | +1,63 |
| | $2\text{ClO}^- + 2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{Cl}_2\uparrow + 4\text{OH}^-$ | +0,40 |
| | $\text{HClO} + \text{H}^+ + 2e = \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ | +1,50 |
| | $\text{ClO}^- + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$ | +0,88 |
| | $\text{HClO}_2 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{HClO} + \text{H}_2\text{O}$ | +1,64 |
| | $2\text{HClO}_2 + 6\text{H}^+ + 6e = \text{Cl}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ | +1,63 |
| | $\text{HClO}_2 + 3\text{H}^+ + 4e = \text{Cl}^- + 2\text{H}_2\text{O}$ | +1,56 |
| | $\text{ClO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{ClO}^- + 2\text{OH}^-$ | +0,66 |
| | $\text{ClO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O} + 4e = \text{Cl}^- + 4\text{OH}^-$ | +0,77 |
| | $\text{ClO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e = \text{HClO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | +1,21 |
| | $\text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{ClO}_2^- + 2\text{OH}^-$ | +0,33 |
| | $\text{ClO}_3^- + 2\text{H}^+ + e = \text{ClO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ | +1,15 |
| | $\text{ClO}_3^- + 6\text{H}^+ + 6e = \text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$ | +1,45 |
| | $\text{ClO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} + 6e = \text{Cl}^- + 6\text{OH}^-$ | +0,63 |

| | |
|--|-------|
| $\text{ClO}_4^- + 2\text{H}^+ + 2e = \text{ClO}_3^- + \text{H}_2\text{O}$ | +1,19 |
| $\text{ClO}_4^- + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{ClO}_3^- + 2\text{OH}^-$ | +0,36 |
| $2\text{ClO}_4^- + 16\text{H}^+ + 14e = \text{Cl}_2\uparrow + 8\text{H}_2\text{O}$ | +1,39 |
| $\text{ClO}_4^- + 8\text{H}^+ + 8e = \text{Cl}^- + 4\text{H}_2\text{O}$ | +1,38 |
| $\text{ClO}_4^- + 4\text{H}_2\text{O} + 8e = \text{Cl}^- + 8\text{OH}^-$ | +0,56 |

Продовження таблиці 8

| 1 | 2 | 3 |
|-----------|--|--------|
| Co | $\text{Co}^{3+} + e = \text{Co}^{2+}$ | +1,95 |
| | $\text{Co}^{2+} + 2e = \text{Co}\downarrow$ | -0,29 |
| | $\text{Co}(\text{NH}_3)_6^{3+} + e = \text{Co}(\text{NH}_3)_6^{2+}$ | +0,1 |
| Cr | $\text{Cr}^{3+} + e = \text{Cr}^{2+}$ | -0,41 |
| | $\text{Cr}^{3+} + 3e = \text{Cr}\downarrow$ | -0,74 |
| | $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ + 6e = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$ | +1,33 |
| | $\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + 5\text{OH}^-$ | -0,13 |
| Cu | $\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}\downarrow$ | +0,345 |
| | $\text{Cu}^+ + e = \text{Cu}\downarrow$ | +0,531 |
| Cu | $\text{Cu}^{2+} + e = \text{Cu}^+$ | +0,159 |
| F | $\text{F}_2\uparrow + 2e = 2\text{F}^-$ | +2,77 |
| Fe | $\text{Fe}^{3+} + e = \text{Fe}^{2+}$ | +0,771 |
| | $\text{Fe}^{3+} + 3e = \text{Fe}\downarrow$ | -0,058 |
| | $\text{Fe}^{2+} + 2e = \text{Fe}\downarrow$ | -0,473 |
| | $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + e = \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ | +0,364 |
| Ga | $\text{Ga}^{3+} + 3e = \text{Ga}\downarrow$ | -0,56 |
| H | $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\uparrow$ | 0,0000 |
| | $2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$ | -0,828 |
| | $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e = 2\text{H}_2\text{O}$ | +1,77 |
| | $\text{HO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2e = 3\text{OH}^-$ | +0,88 |
| Hg | $2\text{Hg}^{2+} + 2e = \text{Hg}_2^{2+}$ | +0,907 |
| | $\text{Hg}^{2+} + 2e = \text{Hg}\downarrow$ | +0,850 |
| | $\text{Hg}_2^{2+} + 2e = \text{Hg}\downarrow$ | +0,792 |
| I | $\text{I}_2\downarrow + 2e = 2\text{I}^-$ | +0,536 |
| | $\text{I}_2 + 2e = 2\text{I}^-$ | +0,621 |

| | | |
|--|---|--------|
| | $I_3^- + 2e = 3I^-$ | +0,545 |
| | $2IBr + 2e = I_2\downarrow + 2Br^-$ | +1,02 |
| | $ICN\uparrow + 2e = I^- + CN^-$ | +0,30 |
| | $2ICN\uparrow + 2H^+ + 2e = I_2\downarrow + 2HCN$ | +0,63 |
| | $2ICl\uparrow + 2e = I_2\downarrow + 2Cl^-$ | +1,19 |

Продовження таблиці 8

| 1 | 2 | 3 |
|-----------|--|-----------------|
| I | $2HIO + 2H^+ + 2e = I_2\downarrow + 2H_2O$ | +1,45 |
| | $2IO^- + H_2O + 2e = I_2\downarrow + 4OH^-$ | +0,45 |
| | $HIO + H^+ + 2e = I^- + H_2O$ | +0,99 |
| | $IO^- + H_2O + 2e = I^- + 2OH^-$ | +0,49 |
| | $IO_3^- + 5H^+ + 4e = HIO + 2H_2O$ | +1,14 |
| | $IO_3^- + 2H_2O + 4e = IO^- + 4OH^-$ | +0,14 |
| | $2IO_3^- + 12H^+ + 10e = I_2\downarrow + 6H_2O$ | +1,19 |
| | $2IO_3^- + 6H_2O + 10e = I_2\downarrow + 12OH^-$ | +0,21 |
| | $IO_3^- + 6H^+ + 6e = I^- + 3H_2O$ | +1,08 |
| | $IO_3^- + 3H_2O + 6e = I^- + 6OH^-$ | +0,26 |
| | $H_5IO_6 + H^+ + 2e = IO_3^- + 3H_2O$ | $\approx +1,6$ |
| | $H_3IO_6^{2-} + 2e = IO_3^- + 3OH^-$ | $\approx +0,7$ |
| | $H_5IO_6 + 7H^+ + 8e = I^- + 6H_2O$ | $\approx +1,24$ |
| | $H_3IO_6^{2-} + 3H_2O + 8e = I^- + 9OH^-$ | $\approx +0,37$ |
| In | $In^{3+} + 3e = In\downarrow$ | -0,34 |
| Ir | $Ir^{3+} + 3e = Ir\downarrow$ | $\approx +1,15$ |
| K | $K^+ + e = K\downarrow$ | -2,923 |
| La | $La^{3+} + 3e = La\downarrow$ | -2,52 |
| Li | $Li^+ + e = Li\downarrow$ | -3,04 |
| Mg | $Mg^{2+} + 2e = Mg\downarrow$ | -2,37 |
| Mn | $Mn^{3+} + e = Mn^{2+}$ | +1,51 |
| | $Mn^{2+} + 2e = Mn\downarrow$ | -1,17 |
| | $Mn(OH)_3\downarrow + e = Mn(OH)_2\downarrow + OH^-$ | +0,1 |
| | $MnO_2\downarrow + 4H^+ + 2e = Mn^{2+} + 2H_2O$ | +1,23 |
| | $MnO_4^{2-} + 2H_2O + 2e = MnO_2\downarrow + 4OH^-$ | +0,58 |

| | | |
|--|---|--------|
| | $\text{MnO}_4^- + e = \text{MnO}_4^{2-}$ | +0,558 |
| | $\text{MnO}_4^- + 4\text{H}^+ + 3e = \text{MnO}_2\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ | +1,69 |
| | $\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{MnO}_2\downarrow + 4\text{OH}^-$ | +0,60 |
| | $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ + 5e = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$ | +1,51 |

Продовження таблиці 8

| 1 | 2 | 3 |
|-----------|--|-------|
| Mo | $\text{Mo}^{3+} + 3e = \text{Mo}\downarrow$ | -0,2 |
| | $\text{MoO}_2^+ + 4\text{H}^+ + 2e = \text{Mo}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$ | 0,0 |
| | $\text{MoO}_2^{2+} + e = \text{MoO}_2^+$ | +0,48 |
| | $\text{H}_2\text{MoO}_4 + 6\text{H}^+ + 6e = \text{Mo}\downarrow + 4\text{H}_2\text{O}$ | 0,0 |
| | $\text{MoO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 6e = \text{Mo}\downarrow + 8\text{OH}^-$ | -1,05 |
| N | $\text{HN}_3 + 11\text{H}^+ + 8e = 3\text{NH}_4^+$ | +0,69 |
| | $3\text{N}_2\uparrow + 2\text{H}^+ + 2e = 2\text{HN}_3$ | -3,1 |
| | $3\text{N}_2\uparrow + 2e = 2\text{N}_3^-$ | -3,4 |
| | $\text{N}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+ + 2e = 2(\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{H}^+)$ | -1,87 |
| | $\text{N}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O} + 2e = 2\text{NH}_2\text{OH} + 2\text{OH}^-$ | -3,04 |
| | $\text{N}_2\uparrow + 5\text{H}^+ + 4e = \text{N}_2\text{H}_4\cdot\text{H}^+$ | -0,23 |
| | $\text{N}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O} + 4e = \text{N}_2\text{H}_4 + 4\text{OH}^-$ | -1,16 |
| | $\text{N}_2\uparrow + 8\text{H}^+ + 6e = 2\text{NH}_4^+$ | +0,26 |
| | $\text{N}_2\uparrow + 8\text{H}_2\text{O} + 6e = 2\text{NH}_4\text{OH} + 6\text{OH}^-$ | -0,74 |
| | $\text{N}_2\text{H}_4\cdot\text{H}^+ + 3\text{H}^+ + 2e = 2\text{NH}_4^+$ | +1,27 |
| | $\text{N}_2\text{H}_4 + 4\text{H}_2\text{O} + 2e = 2\text{NH}_4\text{OH} + 2\text{OH}^-$ | +0,1 |
| | $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{H}^+ + 2\text{H}^+ + 2e = \text{NH}_4^+ + \text{H}_2\text{O}$ | +1,35 |
| | $\text{NH}_2\text{OH} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{NH}_4\text{OH} + 2\text{OH}^-$ | +0,42 |
| | $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{N}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ | +2,65 |
| | $\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2 + 6\text{H}^+ + 4e = 2(\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{H}^+)$ | +0,50 |
| | $2\text{HNO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e = \text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ | +0,83 |
| | $\text{HNO}_2 + \text{H}^+ + e = \text{NO}\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ | +0,98 |
| | $\text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + e = \text{NO}\uparrow + 2\text{OH}^-$ | -0,46 |
| | $2\text{HNO}_2 + 4\text{H}^+ + 4e = \text{N}_2\text{O}\uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$ | +1,29 |
| | $2\text{HNO}_2 + 6\text{H}^+ + 4e = \text{N}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ | +1,44 |

| | | |
|----------|--|-------|
| N | $2\text{NO}_2^- + 4\text{H}_2\text{O} + 6e = \text{N}_2\uparrow + 8\text{OH}^-$ | +0,41 |
| | $\text{HNO}_2 + 7\text{H}^+ + 6e = \text{NH}_4^+ + 2\text{H}_2\text{O}$ | +0,86 |
| | $\text{NO}_2^- + 6\text{H}_2\text{O} + 6e = \text{NH}_4\text{OH} + 7\text{OH}^-$ | -0,15 |
| | $\text{N}_2\text{O}\uparrow + 2\text{H}^+ + 2e = \text{N}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ | +1,77 |
| | $\text{N}_2\text{O}\uparrow + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{N}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$ | +0,94 |

Продовження таблиці 8

| 1 | 2 | 3 |
|-----------|---|---|
| N | $2\text{NO}\uparrow + 4\text{H}^+ + 4e = \text{N}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ | +1,68 |
| | $2\text{NO}\uparrow + 2\text{H}_2\text{O} + 4e = \text{N}_2\uparrow + 4\text{OH}^-$ | +0,85 |
| | $\text{N}_2\text{O}_4\uparrow + 2\text{H}^+ + 2e = 2\text{HNO}_2$ | +1,07 |
| | $\text{N}_2\text{O}_4\uparrow + 2e = 2\text{NO}_2^-$ | +0,88 |
| | $\text{N}_2\text{O}_4\uparrow + 8\text{H}^+ + 8e = \text{N}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$ | +1,35 |
| | $\text{N}_2\text{O}_4\uparrow + 4\text{H}_2\text{O} + 8e = \text{N}_2\uparrow + 8\text{OH}^-$ | +0,53 |
| | $\text{NO}_3^- + 3\text{H}^+ + 2e = \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | +0,94 |
| | $\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{NO}_2^- + 2\text{OH}^-$ | +0,01 |
| | $\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + e = \text{NO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ | +0,80 |
| | $\text{NO}_3^- + \text{H}_2\text{O} + e = \text{NO}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$ | -0,86 |
| | $\text{NO}_3^- + 4\text{H}^+ + 3e = \text{NO}\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ | +0,96 |
| | $\text{NO}_3^- + 2\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{NO}\uparrow + 4\text{OH}^-$ | -0,14 |
| | $2\text{NO}_3^- + 12\text{H}^+ + 10e = \text{N}_2\uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$ | +1,24 |
| | $\text{NO}_3^- + 8\text{H}^+ + 6e = \text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$ | +0,73 |
| | $2\text{NO}_3^- + 17\text{H}^+ + 14e = \text{N}_2\text{H}_4\cdot\text{H}^+ + 6\text{H}_2\text{O}$ | +0,84 |
| | $\text{NO}_3^- + 10\text{H}^+ + 8e = \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$ | +0,87 |
| | $\text{NO}_3^- + 7\text{H}_2\text{O} + 8e = \text{NH}_4\text{OH} + 9\text{OH}^-$ | -0,12 |
| | Na | $\text{Na}^+ + e = \text{Na}\downarrow$ |
| Nb | $\text{Nb}^{3+} + 3e = \text{Nb}\downarrow$ | -1,1 |
| Ni | $\text{Ni}^{2+} + 2e = \text{Ni}\downarrow$ | -0,228 |
| O | $\text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+ + 4e = 2\text{H}_2\text{O}$ | + 1,229 |
| | $\text{O}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O} + 4e = 4\text{OH}^-$ | +0,401 |
| | $\text{O}_2\uparrow + 2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{O}_2$ | +0,682 |
| | $\text{O}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{HO}_2^- + \text{OH}^-$ | -0,076 |

| | | |
|--|--|-------|
| | $\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e = 2\text{H}_2\text{O}$ | +1,77 |
| | $\text{HO}_2^- + \text{H}_2\text{O} + 2e = 3\text{OH}^-$ | +0,88 |
| | $\text{O}_3\uparrow + 2\text{H}^+ + 2e = \text{O}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ | +2,07 |
| | $\text{O}_3\uparrow + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{O}_2\uparrow + 2\text{OH}^-$ | +0,02 |

Продовження таблиці 8

| 1 | 2 | 3 |
|-----------|--|--------|
| Os | $\text{Os}^{2+} + 2e = \text{Os}\downarrow$ | +0,85 |
| | $\text{OsO}_4\downarrow + 8\text{H}^+ + 8e = \text{Os}\downarrow + 4\text{H}_2\text{O}$ | +0,85 |
| P | $\text{P}\downarrow + 3\text{H}^+ + 3e = \text{PH}_3\uparrow$ | +0,06 |
| | $\text{P}\downarrow + 3\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{PH}_3\uparrow + 3\text{OH}^-$ | -0,89 |
| | $\text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}^+ + e = \text{P}\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ | -0,51 |
| | $\text{H}_2\text{PO}_2^- + e = \text{P}\downarrow + 2\text{OH}^-$ | -2,05 |
| | $\text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{H}^+ + 3e = \text{P}\downarrow + 3\text{H}_2\text{O}$ | -0,50 |
| | $\text{H}_3\text{PO}_3 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_3\text{PO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ | -0,50 |
| | $\text{HPO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{H}_2\text{PO}_2^- + 3\text{OH}^-$ | -1,57 |
| | $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6 + 2\text{H}^+ + 2e = 2\text{H}_3\text{PO}_3$ | +0,38 |
| | $\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}^+ + 5e = \text{P}\downarrow + 4\text{H}_2\text{O}$ | -0,41 |
| | $\text{H}_3\text{PO}_4 + 4\text{H}^+ + 4e = \text{H}_3\text{PO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ | -0,39 |
| | $2\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_4\text{P}_2\text{O}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$ | -0,94 |
| | $\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_3\text{PO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ | -0,276 |
| | $\text{PO}_4^{3-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2e = \text{HPO}_3^{2-} + 3\text{OH}^-$ | -1,12 |
| Pb | $\text{Pb}^{2+} + 2e = \text{Pb}\downarrow$ | -0,126 |
| | $\text{Pb}^{4+} + 2e = \text{Pb}^{2+}$ | +1,66 |
| Pb | $\text{Pb}^{4+} + 4e = \text{Pb}\downarrow$ | +0,77 |
| | $\text{PbO}_2\downarrow + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{PbO}\downarrow + 2\text{OH}^-$ | +0,28 |
| | $\text{PbO}_2\downarrow + 4\text{H}^+ + 2e = \text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ | +1,455 |
| Pd | $\text{Pd}^{2+} + 2e = \text{Pd}\downarrow$ | +0,915 |
| Pt | $\text{Pt}^{2+} + 2e = \text{Pt}\downarrow$ | +1,2 |
| S | $\text{S}\downarrow + 2e = \text{S}^{2-}$ | -0,476 |
| | $\text{S}\downarrow + 2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\text{S}\uparrow$ | +0,171 |
| | $(\text{SCN})_2\uparrow + 2e = 2\text{SCN}^-$ | +0,77 |

| | | |
|--|--|-------|
| | $S_4O_6^{2-} + 2e = 2S_2O_3^{2-}$ | +0,09 |
| | $S_2O_3^{2-} + 6H^+ + 4e = 2S\downarrow + 3H_2O$ | +0,5 |
| | $2H_2SO_3 + 2H^+ + 4e = S_2O_3^{2-} + 3H_2O$ | +0,40 |
| | $2SO_3^{2-} + 3H_2O + 4e = S_2O_3^{2-} + 6OH^-$ | -0,58 |
| | $2H_2SO_3 + H^+ + 2e = HS_2O_4^{2-} + 2H_2O$ | -0,08 |

Продовження таблиці 8

| 1 | 2 | 3 |
|-----------|--|--------|
| S | $2SO_3^{2-} + 2H_2O + 2e = S_2O_4^{2-} + 4OH^-$ | -1,12 |
| | $SO_4^{2-} + 4H^+ + 2e = H_2SO_3 + H_2O$ | +0,17 |
| | $SO_4^{2-} + H_2O + 2e = SO_3^{2-} + 2OH^-$ | -0,93 |
| | $2SO_4^{2-} + 10H^+ + 8e = S_2O_3^{2-} + 5H_2O$ | +0,29 |
| | $2SO_4^{2-} + 5H_2O + 8e = S_2O_3^{2-} + 10OH^-$ | -0,76 |
| | $SO_4^{2-} + 8H^+ + 6e = S\downarrow + 4H_2O$ | +0,36 |
| | $SO_4^{2-} + 4H_2O + 6e = S\downarrow + 8OH^-$ | -0,75 |
| | $S_2O_8^{2-} + 2e = 2SO_4^{2-}$ | +2,01 |
| Sb | $SbO^+ + 2H^+ + 3e = Sb\downarrow + H_2O$ | +0,212 |
| Sc | $Sc^{3+} + 3e = Sc\downarrow$ | -2,08 |
| Se | $SeO_4^{2-} + H_2O + 2e = SeO_3^{2-} + 2OH^-$ | +0,05 |
| Si | $SiO_3^{2-} + 3H_2O + 4e = Si\downarrow + 6OH^-$ | -1,7 |
| Sn | $Sn^{2+} + 2e = Sn\downarrow$ | -0,140 |
| | $Sn^{4+} + 2e = Sn^{2+}$ | +0,15 |
| | $Sn^{4+} + 4e = Sn\downarrow$ | +0,01 |
| Sr | $Sr^{2+} + 2e = Sr\downarrow$ | -2,89 |
| Te | $TeO_4^{2-} + H_2O + 2e = TeO_3^{2-} + 2OH^-$ | +0,4 |
| Th | $Th^{4+} + 4e = Th\downarrow$ | -1,90 |
| Ti | $Ti^{2+} + 2e = Ti\downarrow$ | -1,63 |
| | $TiO_2\downarrow + 4H^+ + 4e = Ti\downarrow + 2H_2O$ | -0,86 |
| | $TiO^{2+} + 2H^+ + 4e = Ti\downarrow + H_2O$ | -0,88 |
| | $TiO^{2+} + 2H^+ + e = Ti^{3+} + H_2O$ | +0,1 |
| | $Ti^{3+} + e = Ti^{2+}$ | -0,37 |
| Tl | $Tl^+ + e = Tl\downarrow$ | -0,357 |
| | $Tl^{3+} + 2e = Tl^+$ | +1,25 |

| | | |
|----------|--|--------|
| U | $U^{3+} + 3e = U\downarrow$ | -1,80 |
| | $U^{4+} + e = U^{3+}$ | -0,61 |
| | $UO_2^{2+} + 4H^+ + 2e = U^{4+} + 2H_2O$ | +0,33 |
| V | $V^{2+} + 2e = V\downarrow$ | -1,18 |
| | $V^{3+} + e = V^{2+}$ | -0,255 |

Продовження таблиці 8

| 1 | 2 | 3 |
|-----------|--|--------|
| V | $VO^{2+} + 2H^+ + e = V^{3+} + H_2O$ | +0,337 |
| | $VO^{2+} + e = VO^+$ | -0,044 |
| | $VO_2^+ + 2H^+ + e = VO^{2+} + H_2O$ | +1,000 |
| | $VO_2^+ + 4H^+ + 2e = V^{3+} + 2H_2O$ | +0,668 |
| | $VO_2^+ + 4H^+ + 3e = V^{2+} + 2H_2O$ | +0,360 |
| | $VO_2^+ + 4H^+ + 5e = V\downarrow + 2H_2O$ | -0,25 |
| | $VO_4^{3-} + 6H^+ + 2e = VO^+ + 3H_2O$ | +1,26 |
| | $H_2VO_4^- + 4H^+ + e = VO^{2+} + 3H_2O$ | +1,31 |
| W | $WO_4^{2-} + 8H^+ + 6e = W\downarrow + 4H_2O$ | +0,05 |
| Y | $Y^{3+} + 3e = Y\downarrow$ | -2,37 |
| Zn | $Zn^{2+} + 2e = Zn\downarrow$ | -0,764 |
| | $Zn(OH)_2 + 2e = Zn\downarrow + 2OH^-$ | -1,245 |
| | $ZnO_2^{2-} + 2H_2O = Zn + 4OH^-$ | -1,216 |
| Zr | $ZrO_2\downarrow + 4H^+ + 4e = Zr\downarrow + 2H_2O$ | -1,43 |

4. Література

ОСНОВНА

1. А.С.Сегеда. Аналітична хімія. Якісний аналіз.- К.; ЦУЛ.-2002.-524с.
2. Середа А.С., Галаган Р.Л. Збірник задач і вправ з аналітичної хімії. Якісний аналіз. –Київ: ЦУЛ.Фітосоціоцентр, 2002.-429с.
3. Аналітична хімія : навч. посіб. для фармац. Вузів та ф-тів III-IVрівня акредитації / В.В. Болотов, О.М. Свечнікова, С.В. Колісник, Т.В. Жукова та ін.; за ред. проф. В.В. Болотова.–Х.: Вид-во НФАУ; Оригінал, 2004. - 480 с.
4. Аналітична хімія : Якісний та кількісний аналіз : навчальний конспект лекцій / В.В. Болотов, О.М. Свечнікова, М.Ю. Голік та ін.; за ред. проф. В.В. Болотова. – Вінниця : Нова книга, 2011. - 424 с.
5. Практикум з аналітичної хімії : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В.В. Болотов, Ю.В. Сич, О.М. Свечнікова, С.В. Колісник, О.Г. Кизим, Т.В. Жукова, М.А. Зареченський, ТА. Бережна; за заг. ред. В.В. Болотова. - Х.: Вид-во НФАУ; Золоті сторінки, 2003. - 240 с.
6. Аналітична хімія : підручник для студентів напряму «Фармація» і «Біотехнологія» вищих навчальних закладів / Н.К. Федущак, Ю.І. Бідниченко, С.Ю. Крамаренко, В.О. Калібабчук та ін. – Вінниця : Нова книга, 2012. - 640 с. : іл.
7. Аналітична хімія. Для навчання за спеціальністю «Екологія» : навч. посіб. / В.А. Копілевич, Н.М. Прокопчук, Т.І. Ущипівська, Л.В. Войтенко, Л.М. Аббарбарчук, Д.А. Савченко; під ред. В.А. Копілевича. 2-е вид., випр. і доп. – К.: ДДП «Експо-Друк», 2020. – 260 с.
8. Аналітична хімія. Задачі та вправи : навч. посіб. / Більченко М.М., Пшеничний Р.М. – Суми : Університетська книга, 2015. – 205 с.
9. Аналітична хімія. Якісний аналіз : навч.-метод. посіб. / Т.Д. Рева, О.М. Чхало, Г.М. Зайцева та ін. – К. : ВСВ «Медицина», 2017 – 280 с.
10. О.І. Захарова, В.Ю. Тарасов, Н.І. Пономаренко. Аналітична хімія та основи фармацевтичного аналізу. Якісний аналіз. Навчальний посібник для студентів спеціальності 226 – Фармація. Промислова фармація. - Северодонецьк: Вид-во СНУ ім.В. Даля, 2021 - 160с.
11. Аналітична хімія та інструментальні методи аналізу : навч. посіб. / О. Захарова ; Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля, Ф-т здоров'я людини. – Київ : [Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля], 2023. – 160 с.

ДОВІДНИКОВА

12. CRC Handbook of Chemistry and Physics, 95th ed гол. ред. : David R. Lide (Національний інститут стандартів і технологій). – CRC Press/Taylor & Francis Group: Boca Raton, FL. 2015. – 2666 с. 978-1-4822-0868-9 (eBook - PDF).

URL:https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4557662/mod_resource/content/1/CRC%20Handbook%20of%20Chemistry%20and%20Physics%2095th%20Edition.pdf

Зразок титульного листа контрольної роботи

Міністерство освіти і науки України
Східноукраїнський національний університет
імені Володимира Даля

Факультет здоров'я людини
Кафедра фармації, виробництва та технологій

Аналітична хімія та основи фармацевтичного аналізу

Контрольна робота
Варіант _____

Роботу перевіриє

(посада та ІПБ викладача)

(оцінка роботи)

(дата, підпис викладача)

**Особливі умови:
перевірену роботу направити за адресою:**

група

Студент: _____

(особистий підпис)

Робота здана на перевірку:

(дата здачі)

Роботу на кафедрі прийняв:

(ІПБ)

(підпис)

(підпис студента)

Київ
20 /20 н.р.

навчальне видання

Методичні вказівки
до виконання контрольної роботи

**«АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ ТА ОСНОВИ ФАРМАЦЕВТИЧНОГО
АНАЛІЗУ»
частина 1
«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ.
ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ»**

(для студентів заочної форми навчання спеціальності 226)

Укладачі:

Ольга ЗАХАРОВА
Надія ПОНОМАРЕНКО

Оригінал-макет

Ольга ЗАХАРОВА

Підписано до друку _____
Формат 60x84/16. Папір типограф. Гарнітура Times.
Друк офсетний. Умов. друк. арк. _____. Облік. видавн. арк. ____
Тираж ____ екз. Вид. № _____. Замовл. № _____. Ціна договірна.

Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля

Адреса видавництва: м. Київ, вул. Іоанна Павла II, 17.

Телефон: +38 (050) 218 04 78, факс (06452) 4 03 42

E-mail: vidavnictvosnu.ua@gmail.com