

Вступ

Навчальний посібник висвітлює основи загальної, неорганічної та аналітичної хімії і рекомендується для студентів вищих навчальних закладів, які вивчають дисципліну “Хімія і методи дослідження сировини та матеріалів”. Посібник визначає необхідний мінімум знань, які повинен засвоїти студент в процесі виконання лабораторного практикуму. Більш детальними відомостями із області цих розділів хімії студенти оволодівають із відповідних лекційних курсів.

Посібник містить три розділи. Перший присвячений питанням загальної та неорганічної хімії, другий та третій – основним питанням якісного і кількісного аналізу. Приділена увага опису техніки хімічного експерименту, умовам проведення реакцій та правилам і способам здійснення різних хімічних розрахунків.

Лабораторні роботи, які розглядаються у посібнику, є примірними, тому послідовність їх виконання можна змінювати.

Студенти допускаються до виконання лабораторного практикуму лише після ознайомлення і засвоєння правил з техніки безпеки у хімічній лабораторії (додаток А).

Для більш глибокого теоретичного засвоєння матеріалу, запропоновано виконання студентами різних вправ і розв’язання задач (способи рішення типових задач наведено). У додатку Б наведено варіанти контрольних завдань, за якими кожний студент протягом семестру виконує індивідуальне завдання. Це надає можливість викладачам контролювати самостійну роботу студентів та їх своєчасну підготовку до кожного лабораторного заняття.

Автори сподіваються, що навчальний посібник буде корисним для студентів і надасть їм можливість більш глибоко засвоїти основи загальної, неорганічної та аналітичної хімії.

Розділ I

ОСНОВИ ЗАГАЛЬНОЇ ТА НЕОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ

Лабораторна робота № 1

Основні типи хімічних реакцій. Сучасна номенклатура неорганічних сполук і їх взаємні перетворення

1.1 Мета: вивчити основні типи хімічних реакцій і класи неорганічних сполук, їх кислотно-основні властивості та ознайомитися з правилами роботи в хімічній лабораторії та технікою безпеки

1.2 Короткі теоретичні відомості

Основні типи хімічних реакцій – це приєднання, розкладу, заміщення та обміну. Повторіть їх і наведіть приклади.

Основні класи неорганічних сполук: оксиди, гідроксиди (основи, кислоти), солі (середні, кислі, основні, комплексні, оксосолі). Повторіть класифікацію оксидів, їх властивості та методи одержання.

Запам'ятайте, що:

- головним завданням номенклатури є створення систематичних раціональних назв хімічних речовин. При цьому назви повинні якомога повніше описувати склад і будову речовини, а також, при можливості, її хімічну природу, виконувати роль службової мови інформаційних систем на базі сучасних комп'ютерних систем;
- єдині правила, якими слід користуватися, створені Комісією з номенклатури Міжнародної Співпраці Чистої та Прикладної хімії (IUPAC). Систематичні назви елементів, які необхідно використовувати, наведені в додатку В;
- назви оксидів будуються так: N_2O_5 – динітроген пентаоксид; Al_2O_3 – діалюміній триоксид. Поряд з ними зустрічаються назви: N_2O_5 – азот геміпентаоксид, азот (V) оксид, азот (5+) оксид, де V і 5+ числа Штока і Еванса-Бассета відповідно, Al_2O_3 – алюміній сесквіоксид, алюміній (III) оксид, алюміній (3+) оксид;
- якщо елемент утворює лише один оксид, то назва його може складатися лише з назви елемента та слова оксид: BaO – барій оксид; ZnO – цинк оксид;
- сполуки, що містять угруповання O_2^{2-} , O_2^- та O_3^- називають відповідно: K_2O_2 – калій пероксид, KO_2 – калій надпероксид, KO_3 – калій озонід;
- сполуки кисню з флуором (фтором): OF_2 – кисень дифлуорид, O_2F_2 – диоксиген дифлуорид;
- назви основ та амфотерних гідроксидів утворюються з назви катіона і слова гідроксид: KOH – калій гідроксид, TlOH – талій (I) гідроксид, $Cr(OH)_3$ – хром тригідроксид;

- якщо до складу сполуки, крім гідроксиду, входить оксид-іон, то в назві перелічують обидва аніони з відповідними числовими префіксами: $\text{WO}(\text{OH})_3$ – вольфрам тригідроксидмонооксид, $\text{VO}(\text{OH})_2$ – оксованадій (IV) дигідроксид або монооксованадій (2+) гідроксид, де VO^{2+} – радикал;
- систематичні назви кислот будуються на основі назв аніонів, а починаються з назви катіону, тобто гідрогену (Додаток Г): H_2SeO_3 – дигідроген селенат (IV) або дигідроген триоксоселенат (IV), або селенітна (IV) кислота; H_2SO_4 – дигідроген тетраоксосульфат (VI) або сульфатна (VI) кислота, або сульфатна кислота; HMnO_4 – моногідроген тетраоксоманганат (VII) або перманганатна кислота; HNO_3 – гідроген нітрат (V) або гідроген триоксонітрат (V), або нітратна кислота;
- для деяких кислот комісія IUPAC дозволяє використання традиційних назв, наприклад, H_2SO_4 – сірчана, H_3PO_4 – фосфорна (ортофосфорна), HPO_3 – метафосфорна, HNO_3 – азотна та ін.;
- для водних розчинів галогеноводнів та інших можна зберегти традиційні назви: HCl – хлороводнева кислота або хлоридна; HBr – бромоводнева кислота або бромідна; HCN – ціановоднева кислота або ціанідна; HN_3 – азидоводнева кислота або азидна;
- назви солей легко утворюються з назв катіонів і аніонів з відповідними числівниковими префіксами: ZnSO_4 – цинк сульфат, $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ – димеркурій динітрат, $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – діамоній дихромат (VI) або амоній (+1) дихромат (2-), $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ диферум трисульфат;
- до назви кислих солей додається слово гідроген з відповідним числовим префіксом: NaHCO_3 – натрій гідрогенкарбонат, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ – амоній дигідрогенфосфат, $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ – діамоній гідрогенфосфат, NaHS – натрій гідрогенсульфід;
- основні солі можуть називатись, як подвійні, вважаючи O^{2-} та OH^- за гетероаніони: CaClOH – кальцій гідроксид хлорид, $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ – дикупрум дигідроксид карбонат.

Тривіальні і стандартні назви деяких неорганічних сполук – див. Додаток Д.

1.3 Експериментальна частина

1.3.1 Реакції приєднання

1.3.1.1 На газовому пальнику підігрійте шматочок магнієвої стрічки (0,5-1,0 г), спостерігайте реакцію горіння магнію з утворенням магній оксиду білого кольору. Напишіть рівняння реакції. Перевірте взаємодію MgO з водою. Напишіть рівняння реакції і дисоціацію $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Як можна підтвердити лужне середовище магній дигідроксиду? Що для цього необхідно використати?

1.3.1.2 На технохімічних терезах зважте 1-2г сірки і 1,75-3,5г подрібненого заліза, ретельно перемішайте їх у ступці, перенесіть суміш у пробірку, закріпіть її вертикально в штативі і злегка нагрійте, після чого сильно підігрійте біля дна пробірки. Як тільки суміш почне розжарюватися, пальник відставте (реакція екзотермічна!). Напишіть рівняння реакції. Яка нова речовина утворилася у цьому випадку?

1.3.2 Реакції розкладу

1.3.2.1 У сухій пробірці нагрійте 0,5-1,0г дикупрум дигідроксид карбонату. Пам'ятайте, що розклад цієї солі супроводжується утворенням купрум (II) оксиду, карбон (IV) оксиду та води. Як це можна встановити? Складіть рівняння реакції.

1.3.2.2 У сухій пробірці нагрійте 0,5-1,0г калій перманганату. Напишіть рівняння реакції. Пам'ятайте, що в результаті розкладу утворюються калій манганат, манган (IV) оксид і кисень. Як його виявити?

Якщо в пробірку після охолодження додати воду, розчин забарвлюється в зелений колір. Чому?

1.3.3 Реакції заміщення

1.3.3.1 У розчин 1-2 мл купрум (II) сульфату занурте залізний цвях. Через кілька хвилин вийміть його і зверніть увагу на появу чистої міді на поверхні цвяху. Обчисліть ΔE цієї реакції, якщо $E^0_{Cu^{2+}/Cu^0} = 0,34$, а $E^0_{Fe^{2+}/Fe^0} = -0,44$ В. За значенням ΔE з'ясуйте напрямок цієї реакції ($\Delta E = \varphi_{ок.} - \varphi_{відн.}$).

1.3.3.2 До розчину калій йодиду (0,5-1 мл) додайте стільки ж розчину бромної води. Спостерігається утворення вільного йоду. Напишіть рівняння реакції. Як можна довести наявність вільного йоду? Пам'ятайте, що активність галогенів зменшується в такому напрямку $F_2 \rightarrow Cl_2 \rightarrow Br_2 \rightarrow I_2$.

1.3.4 Реакції обміну

1.3.4.1 Між сіллю і основою. У три пробірки налийте 0,5-1 мл розчину купрум (II) сульфату. У першу додайте надлишок розчину NaOH, у другу – не більше як 0,5 мл розчину NaOH (недостатня кількість), у третю – не більше як 3-4 краплі 25%-ного розчину аміаку. Напишіть рівняння реакцій, враховуючи, що в першій пробірці утвориться купрум (II) гідроксид (блакитне забарвлення осаду), в другій – дикупрум дигідроксид сульфат (бірюзове, зеленувато-блакитне забарвлення осаду), в третій – комплексна сполука – тетраамінкупрум (II) сульфат – розчин інтенсивно синього забарвлення.

1.3.4.2 Властивості алюміній тригідроксиду. У пробірку налийте 0,5-1 мл розчину солі алюмінію і додайте приблизно такий же об'єм розчину

аміаку. Вміст пробірки розподіліть на дві частини. До однієї з них прилийте 10%-ний розчин HCl, а до іншої – 10%-ний розчин NaOH до повного розчинення осадів. Складіть рівняння реакцій. Зробіть висновок про характер Al(OH)₃.

1.3.4.3 Одержання нерозчинної основи. У пробірку додайте 3-4 краплі розчину солі Fe³⁺ і стільки ж крапель розчину лугу. Спостерігайте утворення бурого осаду ферум тригідроксиду. Складіть рівняння реакції.

1.3.4.4 Одержання подвійної солі. У пробірку налейте по 1-2 мл насичених розчинів (NH₄)₂SO₄ і FeSO₄. Випадає осад подвійної солі складу (NH₄)₂Fe(SO₄)₂ · 6H₂O. Якщо осад не з'являється, то досягніть цього потиранням скляною паличкою внутрішньої стінки пробірки.

1.4 Стехіометричні розрахунки

1.4.1 Основні газові закони

Стан газу характеризується його температурою, тиском і об'ємом. Якщо температура газу дорівнює 0 °С, а тиск – нормальному атмосферному (101,325 кПа або 760 мм рт. ст.), то такі умови, за яких знаходиться газ, називаються нормальними. Об'єм, який займає газ за даних умов, прийнято позначати через V₀, а тиск – через P₀.

Згідно закону Бойля-Маріотта, за постійної температури тиск, який здійснюється даною масою газу, обернено пропорційний його об'єму:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{або} \quad PV = \text{const} \quad (1.1)$$

Залежність між об'ємом газу, тиском і температурою можна виразити загальним рівнянням, яке об'єднує закони Бойля-Маріотта і Гей-Люссака:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_0V_0}{T_0} \quad (1.2)$$

де P і V – тиск і об'єм газу за даної температури T;

P₀ і V₀ – тиск і об'єм газу за нормальних умов (н.у.).

1.4.1.1 Приклади розв'язання типових задач

Приклад 1 При 27 °С об'єм газу дорівнює 600 мл. Який об'єм займає газ при 57 °С, якщо тиск залишиться постійним?

Розв'язування: Позначають об'єм, який необхідно обчислити, через V₂, а відповідну йому температуру через T₂. За умовою задачі V₁=600 мл, T₁ = 273 + 27 = 300 К і T₂ = 273 + 57 = 330 К. Тоді за законом Бойля-Маріотта:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}; \quad \frac{600}{300} = \frac{V_2}{330}, \quad \text{звідси } V_2 = \frac{600 \cdot 330}{300} = 660 \text{ мл}$$

Приклад 2 При 15 °С тиск у балоні з киснем дорівнює $91,2 \cdot 10^2$ кПа. При якій температурі він стане рівним $101,33 \cdot 10^2$ кПа?

Розв'язування: Позначають температуру, яку обчислюють, через T_2 . За умовою задачі $T_1 = 273 + 25 = 288$ К, $P_1 = 91,2 \cdot 10^2$ кПа, $P_2 = 101,33 \cdot 10^2$ кПа. Тоді, за законом Гей-Люссака:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}, \text{ звідси } T_2 = \frac{P_2 \cdot T_1}{P_1} = \frac{101,33 \cdot 10^2 \cdot 288}{91,2 \cdot 10^2} = 320 \text{ К або } 47 \text{ °С}$$

Приклад 3 При 25 °С і тиску 99,3 кПа (745 мм рт.ст.) деяка кількість газу займає об'єм 152 мл. Знайти, який об'єм займе ця ж кількість газу при 0°С і тиску 101,33 кПа.

Розв'язування: Підставимо дані в рівняння (1.2) і одержимо:

$$V_0 = \frac{PVT_0}{P_0T} = \frac{99,3 \cdot 152 \cdot 273}{101,33 \cdot 298} = 136,5 \text{ мл}$$

Приклад 4 Змішують 2 л O_2 і 4 л SO_2 , взятих при однаковому тиску, який дорівнює 100 кПа (750 мм рт. ст.). Об'єм суміші 6 л. Визначити парціальний тиск газів у суміші.

Розв'язування: Парціальний тиск газу у суміші – це тиск, який здійснював би цей газ, займаючи при тих же фізичних умовах об'єм усієї газової суміші.

За умовою задачі об'єм кисню збільшився після змішування в $6/2=3$ рази, об'єм сірки діоксиду – в $6/4=1,5$ рази. У стільки ж раз зменшиться парціальний тиск газів:

$$P_{O_2} = 100/3 = 33,3 \text{ кПа}, \quad P_{SO_2} = 100/1,5 = 66,7 \text{ кПа}$$

Приклад 5 Змішують 3 л CO_2 , 4 л O_2 і 6 л N_2 . До змішування тиск CO_2 , O_2 і N_2 складав відповідно 96; 108 і 90,6 кПа. Загальний об'єм суміші 10 л. Визначити тиск суміші.

Розв'язування: Згідно закону парціальних тисків, загальний тиск суміші газів, що не вступають у хімічну взаємодію між собою, дорівнює сумі парціальних тисків газів, які складають суміш.

Знаходять парціальний тиск окремих газів (див. приклад 4):

$$P_{CO_2} = \frac{96 \cdot 3}{10} = 28,8 \text{ кПа} \quad P_{O_2} = \frac{108 \cdot 4}{10} = 43,2 \text{ кПа}$$

$$P_{N_2} = \frac{90,6 \cdot 6}{10} = 54,4 \text{ кПа}$$

Звідси: $P = 28,8 + 43,2 + 54,4 = 126,4$ кПа

Приклад 6 Обчисліть молекулярну масу бензену C_6H_6 , знаючи, що маса 600 мл його пари при $87\text{ }^\circ\text{C}$ і тиску $83,2\text{ кПа}$ дорівнює $1,3\text{ г}$.

Розв'язування: Виражають дані задачі у одиницях СІ ($P=8,32 \cdot 10^4\text{ Па}$; $V = 6 \cdot 10^{-4}\text{ м}^3$; $m = 1,3 \cdot 10^{-3}\text{ кг}$; $T = 360\text{ К}$) і підставляють їх у рівняння Клапейрона-Менделєєва:

$$PV = \frac{m}{M}RT, \quad M = \frac{mRT}{PV} = \frac{1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 360}{8,32 \cdot 10^4 \cdot 6 \cdot 10^{-4}} = 78 \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль} = 78\text{ г/моль}$$

Молекулярна маса бензену дорівнює 78 а.о.м.

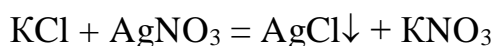
1.4.2 Класи і номенклатура неорганічних сполук

1.4.2.1 Приклади розв'язання типових задач

Приклад 1 Суміш солей $NaCl$ і KCl , маса якої $0,325\text{ г}$, розчинили у воді і до розчину додали надлишок розчину $AgNO_3$. Випав осад $AgCl$, маса якого $0,717\text{ г}$. Скільки $NaCl$ і KCl містилося у суміші?

Розв'язування: а) Алгебраїчний метод розв'язання:

За рівняннями реакцій $NaCl + AgNO_3 = AgCl\downarrow + NaNO_3$



визначають, скільки $AgCl$ одержується із 1 г кожного компоненту суміші:

$$m_{AgCl/NaCl} = 1\text{ г} \frac{M_{AgCl}}{M_{NaCl}} = 1\text{ г} \frac{143,5}{58,5} = 2,45\text{ г}$$

$$m_{AgCl/KCl} = 1\text{ г} \frac{M_{AgCl}}{M_{KCl}} = 1\text{ г} \frac{143,5}{74,5} = 1,92\text{ г}$$

Позначають масу $NaCl$ через x і масу KCl – через y . Тоді маса $AgCl$, що одержується у результаті реакції з $NaCl$, буде $2,45 \cdot x$, а маса $AgCl$, одержаного у реакції з KCl , буде $1,92 \cdot y$. Складають систему із двох

$$\text{рівнянь: } \begin{cases} 1) x + y = 0,325 \\ 2) 2,45 \cdot x + 1,92 \cdot y = 0,717 \end{cases} \text{ і розв'язують її.}$$

Звідки $x = 0,176$, $y = 0,149$

Склад суміші: $m_{NaCl} = 0,176\text{ г}$; $m_{KCl} = 0,149\text{ г}$

б) Арифметичний метод розв'язання:

Обчислення починається таким же чином, як і за алгебраїчним методом: із знаходження маси $AgCl$, яка відповідає 1 г $NaCl$ і 1 г KCl . Порівнюючи ці маси, видно:

$m_{\text{AgCl} / \text{NaCl}}$ більше $m_{\text{AgCl} / \text{KCl}}$ на $2,45 - 1,92 = 0,53$ г.

Обчислюють, якою б була маса AgCl у випадку лише одного NaCl , а не суміші:

$$m_{\text{AgCl}} = 2,45 \text{ г} \cdot 0,325 = 0,796 \text{ г}.$$

Ця маса більше фактично одержаного AgCl на $0,796 - 0,717 = 0,079$.

Різниця одержана внаслідок заміни KCl на NaCl , а оскільки різниця у масі AgCl , що одержується із 1 г NaCl , порівняно з масою AgCl , що одержується із 1 г KCl , дорівнює 0,53 г, то ділять 0,079 на 0,53, знаходять скільки KCl міститься у суміші:

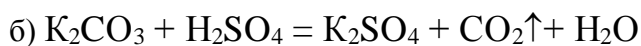
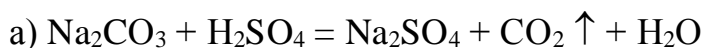
$$m_{\text{KCl}} = \frac{0,079}{0,53} = 0,149 \text{ г}$$

Звідки: $m_{\text{NaCl}} = 0,325 - 0,149 = 0,176$ г

Приклад 2 Суміш калію і натрію карбонатів масою 7 г обробили сульфатною (сірчаною) кислотою, взятою в надлишку. При цьому виділився газ об'ємом 1,344 л (н.у.). Визначити масові частки карбонатів у вихідній суміші.

Розв'язання за кількістю речовини:

Записують рівняння реакцій взаємодії карбонатів з кислотою:



Нехай маса натрію карбонату у вихідній суміші складає $m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$. Тоді $m(\text{K}_2\text{CO}_3) = m(\text{суміші}) - m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$; $m(\text{K}_2\text{CO}_3) = [7 - m(\text{Na}_2\text{CO}_3)]$ г.

Позначають символом $V_{\text{а}}(\text{CO}_2)$ об'єм карбон диоксиду, що утворився в реакції (а). Тоді внаслідок реакції (б) виділиться $V_{\text{б}}(\text{CO}_2)$:

$$V_{\text{б}}(\text{CO}_2) = V(\text{CO}_2) - V_{\text{а}}(\text{CO}_2); V_{\text{б}}(\text{CO}_2) = [1,344 - V_{\text{а}}(\text{CO}_2)] \text{ л}.$$

Визначають кількість речовин Na_2CO_3 ; K_2CO_3 і CO_2 , добутих у реакціях (а) і (б):

$$n_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)} = \frac{m_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)}}{M_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)}} = \frac{m_{(\text{Na}_2\text{CO}_3)}}{106} \text{ моль};$$

$$n_{\text{а}}(\text{CO}_2) = \frac{V_{\text{а}}(\text{CO}_2)}{V_m}; \quad n_{\text{а}}(\text{CO}_2) = \frac{V_{\text{а}}(\text{CO}_2)}{22,4} \text{ моль};$$

$$n_{(K_2CO_3)} = \frac{m_{(K_2CO_3)}}{M_{(K_2CO_3)}} = \frac{7 - m_{(Na_2CO_3)}}{138} \text{ моль};$$

$$n_{\delta}(CO_2) = \frac{V_{\delta}(CO_2)}{V_m}; \quad n_{\delta}(CO_2) = \frac{1,344 - V_a(CO_2)}{22,4} \text{ моль};$$

З рівняння (а) випливає: $n(Na_2CO_3) = n_a(CO_2)$,

$$\text{або} \quad \frac{m_{(Na_2CO_3)}}{106} = \frac{V_a(CO_2)}{22,4} \quad (\text{в})$$

З рівняння (б) випливає: $n(K_2CO_3) = n_{\delta}(CO_2)$,

$$\text{або} \quad \frac{7 - m_{(Na_2CO_3)}}{138} = \frac{1,344 - V_a(CO_2)}{22,4} \quad (\text{г})$$

Розв'язують системи рівнянь (в) і (г), знаходять: $m(Na_2CO_3) = 4,24$ г.
Тоді: $m(K_2CO_3) = m - m(Na_2CO_3)$; $m(K_2CO_3) = (7 - 4,24)$ г = 2,76 г.

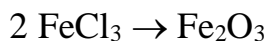
Визначають масові частки компонентів натрію і калію:

$$W_{(Na_2CO_3)} = \frac{m_{(Na_2CO_3)}}{m}; \quad W_{(Na_2CO_3)} = \frac{4,24}{7} = 0,606 \text{ або } 60,6 \%$$

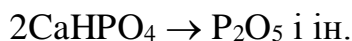
$$W_{(K_2CO_3)} = \frac{m_{(K_2CO_3)}}{m}; \quad W_{(K_2CO_3)} = \frac{2,76}{7} = 0,394 \text{ або } 39,4 \%$$

Приклад 3 У результаті ряду реакцій із $ZnSO_4$ одержано 0,876 г $Zn_2P_2O_7$. Обчислити, скільки було взято $ZnSO_4$.

Розв'язування: Необхідно пам'ятати, що не обов'язково складати усі проміжні рівняння хімічних реакцій, можна обмежитися стехіометричними схемами. Наприклад, із $FeCl_3$ через $Fe(OH)_3$ одержали Fe_2O_3 . Для того, щоб обчислити масу $FeCl_3$ за масою Fe_2O_3 , складають стехіометричну схему:



Аналогічно $FeS_2 \rightarrow 2H_2SO_4$



Розрахунок за стехіометричними схемами здійснюється таким же чином, як і за рівнянням реакцій.

а) Із стехіометричної схеми $2ZnSO_4 \rightarrow Zn_2P_2O_7$ знаходять:

$$\frac{m_{\text{ZnSO}_4}}{m_{\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7}} = \frac{M_{\text{ZnSO}_4}}{M_{\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7}}$$

$$M_{\text{ZnSO}_4} = 161; \quad M_{\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7} = 304$$

$$\text{Звідки: } m_{\text{ZnSO}_4} = 0,876 \frac{2 \cdot 161}{304} = 0,927 \text{ г}$$

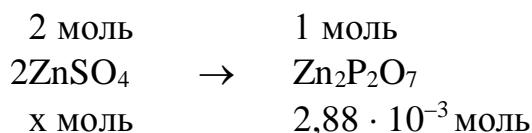
б) Розв'язання за кількістю речовини:

Складають стехіометричну схему $2\text{ZnSO}_4 \rightarrow \text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$

Знаходять кількість $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$:

$$\nu_{\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7} = \frac{m_{\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7}}{M_{\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7}} = \frac{0,876 \text{ г}}{(2 \cdot 65 + 2 \cdot 31 + 7 \cdot 16) \text{ г/моль}} = 2,88 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

Із стехіометричної схеми видно, що на 1 моль $\text{Zn}_2\text{P}_2\text{O}_7$ витрачено 2 моль ZnSO_4 . Якщо прийняти $\nu_{\text{ZnSO}_4} = x$, тоді:



Звідки $x = 2,88 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 5,76 \cdot 10^{-3}$ моль, тобто $\nu_{\text{ZnSO}_4} = 5,76 \cdot 10^{-3}$ моль

Знаходять m_{ZnSO_4} :

$$m_{\text{ZnSO}_4} = \nu \cdot M = 5,76 \cdot 10^{-3} \text{ моль} (65 + 32 + 64) \text{ г/моль} = 0,92 \text{ г.}$$

1.5 Контрольні завдання

1.5.1 Основні газові закони

- Обчислити мольну масу газу, якщо маса 600 мл його при нормальних умовах дорівнює 1,714 г.
Відповідь: 64 г/моль.
- Маса 0,001 м³ газу (0 °С, 101,33 кПа) дорівнює 1,25 г. Обчислити:
а) мольну масу газу; б) масу однієї молекули газу.
Відповідь: а) 28 г/моль; б) $4,65 \cdot 10^{-23}$ г.
- При температурі 17 °С і тиску 104 кПа (780 мм рт. ст.) маса 624 мл газу дорівнює 1,56 г. Обчислити молекулярну масу газу.
Відповідь: 58 а. о. м.
- Який об'єм займає 1 кг повітря при температурі 17 °С і тиску 101,33 кПа?
Відповідь: 820 л.
- Обчислити масу 1 м³ повітря при температурі 17 °С і тиску 83,2 кПа (624 мм рт. ст.).
Відповідь: 1 кг.

- 6) Маса $0,001 \text{ м}^3$ газу при нормальних умовах дорівнює $0,0021 \text{ кг}$. Обчислити мольну масу газу і його густину за повітрям.
Відповідь: 47 г/моль ; $1,62$.
- 7) Обчислити мольну масу ацетону, якщо маса 500 мл його пари при 87°C і тиску 96 кПа (720 мм рт. ст.) дорівнює $0,93 \text{ г}$.
Відповідь: 58 г/моль .
- 8) Газова суміш виготовлена із 2 л H_2 ($P = 93,3 \text{ кПа}$) і 5 л CH_4 ($P = 112 \text{ кПа}$). Об'єм суміші дорівнює 7 л . Знайти парціальний тиск газів і загальний тиск суміші.
Відповідь: $P_{\text{H}_2} = 26,7 \text{ кПа}$; $P_{\text{CH}_4} = 80 \text{ кПа}$, $P_{\text{заг}} = 106,7 \text{ кПа}$.
- 9) Газова суміш складається із NO і CO_2 . Обчислити об'ємний вміст газів у суміші ($y \%$), якщо їх парціальний тиск дорівнює відповідно $36,3$ і $70,4 \text{ кПа}$ (272 і 528 мм рт. ст.).
Відповідь: $34\% \text{ NO}$, $66\% \text{ CO}_2$.
- 10) У закритій посудині ємністю $0,6 \text{ м}^3$ знаходиться при 0°C суміш, яка складається із $0,2 \text{ кг CO}_2$, $0,4 \text{ кг O}_2$ і $0,15 \text{ кг CH}_4$. Обчислити:
а) загальний тиск суміші; б) парціальний тиск кожного із газів;
в) відсотковий склад суміші за об'ємом.
Відповідь: 100 кПа , $17,2\% \text{ CO}_2$; $47,3\% \text{ O}_2$; $35,5\% \text{ CH}_4$.
- 11) Тиск газу, який займає об'єм $2,5 \text{ л}$, дорівнює $121,6 \text{ кПа}$ (912 мм рт. ст.). Чому буде дорівнювати тиск, якщо не змінюючи температуру, стиснути газ до об'єму в 1 л ?
Відповідь: 304 кПа .
- 12) Маса 344 мл газу при 42°C і 772 мм рт. ст. дорівнює $0,865 \text{ г}$. Обчислити молекулярну масу газу.
Відповідь: 64 а. о. м.
- 13) Маса $85,5 \text{ мл}$ пари метилового спирту за 91°C і 768 мм рт. ст. дорівнює $0,0925 \text{ г}$. Обчислити молекулярну масу спирту.
Відповідь: 32 а. о. м.
- 14) Балон ємністю 20 л містить 3 кг кисню. Обчислити тиск у балоні за 20°C .
Відповідь: $112,62 \text{ атм.}$
- 15) Газометр ємністю 20 л наповнено газом, густина якого за повітрям дорівнює $0,40$, тиск $103,3 \text{ кПа}$ ($774,8 \text{ мм рт. ст.}$), температура 17°C . Обчислити масу газу.
Відповідь: $9,94 \text{ г}$.
- 16) Маса 1 л азоту при нормальних умовах дорівнює $1,251 \text{ г}$. Обчислити густину азоту за воднем.
Відповідь: 14 .
- 17) При 17°C деяка кількість газу займає об'єм 580 мл . Який об'єм займе ця ж кількість газу при 100°C , якщо тиск залишиться незмінним?
Відповідь: 746 мл .

- 18) На скільки градусів необхідно нагріти газ, який знаходиться у закритій посудині при 0 °С, щоб тиск його збільшився вдвічі?
Відповідь: на 273 градуси.
- 19) При тиску 98,7 кПа і температурі 91 °С деяка кількість газу займає об'єм 608 мл. Знайти об'єм газу при нормальних умовах.
Відповідь: 444 мл.
- 20) Тиск газу у закритій посудині при 12 °С дорівнює 100 кПа (750 мм рт. ст.). Яким стане тиск газу, якщо нагріти посудину до 30 °С?
Відповідь: 106,3 кПа.

1.5.2 Класи неорганічних сполук

1.5.2.1 Номенклатура неорганічних сполук

- 21) Дайте назву таким сполукам: Na_2O_2 , KO_3 , MgO , Mn_2O_7 , CrO , KHSO_3 , KHSO_4 , $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$.
- 22) Дайте назву солям: K_3AsO_4 , $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, BaSO_4 , $\text{Pb}(\text{HSO}_4)_2$, $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$.
- 23) Напишіть формули ангідридів наступних кислот: H_2SO_3 , HClO_3 , HBrO , H_2MnO_4 , $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Дайте назву кислот і їх ангідридів.
- 24) Дайте назву наступним сполукам: K_2O_2 , MnO_2 , BaO_2 , MnO , Cr_2O_3 , CrO_3 , V_2O_5 .
- 25) Які солі можна одержати, якщо мати у своєму розпорядженні CuSO_4 , AgNO_3 , K_3PO_4 , BaCl_2 ? Напишіть рівняння реакцій і дайте назву одержаним солям.
- 26) Дайте назву наступним солям: BiOCl , $\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$, Na_2HPO_4 , NaHS , Na_2S .
- 27) Які солі можна одержати, якщо мати у своєму розпорядженні Na_2SO_4 , AgNO_3 , Na_3PO_4 , SrCl_2 ? Напишіть рівняння реакцій і дайте назву одержаним солям.
- 28) Дайте назву наступним солям: $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$, KHS , K_2S , BaCrO_4 , $\text{Ca}_2\text{P}_2\text{O}_7$.
- 29) Напишіть формули оксидів, які відповідають наступним гідроксидам: $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}(\text{OH})_2$, KOH , $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Дайте назву цим сполукам.
- 30) Дайте назву наступним солям: $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$, NaH_2SbO_4 , NH_4MgPO_4 , CaCrO_4 , $\text{Al}(\text{OH})_2\text{NO}_3$.
- 31) Напишіть формули ангідридів таких кислот: H_2SO_4 , HClO , H_2CO_3 , H_3BO_3 , $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$, HMnO_4 . Дайте назву кислотам та їх ангідридам.
- 32) Дайте назву наступним солям: SbONO_3 , $\text{Al}(\text{OH})\text{SO}_4$, $\text{Cd}(\text{HS})_2$, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.
- 33) Дайте назву наступним солям: NaCl , NaClO , NaClO_2 , NaClO_3 , NaClO_4 .
- 34) Дайте назву таким сполукам: SO_3 , N_2O , N_2O_3 , Cl_2O_7 , $\text{Ni}(\text{OH})_2$, H_3BO_3 , $\text{Ti}(\text{OH})_3\text{Cl}$.
- 35) Напишіть формули кислотних оксидів, які відповідають наступним кислотам: H_2SeO_4 , $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, HMnO_4 , HNO_3 , HNO_2 , H_3PO_4 . Дайте їм назву.

- 36) Дайте назву кислотам за традиційною, систематичною та раціональною номенклатурами: H_2MnO_4 , H_3PO_4 , HClO_3 , HI , HNO_2 .
- 37) Які оксиди відповідають основним, амфотерним, кислотним: Al_2O_3 , CaO , FeO , CO_2 , Mn_2O_7 , MnO_2 , MnO ? Дайте назву оксидам.
- 38) Дайте назву наступним сполукам: $\text{Ni}(\text{OH})\text{NO}_3$, MgNH_4PO_4 , K_2CO_3 , PbO , $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$, NaHCO_3 .
- 39) Дайте назву комплексним сполукам: $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$, $\text{K}_2[\text{PtCl}_4]$, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$, $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$.
- 40) Які оксиди можна одержати при нагріванні таких речовин: H_2SiO_3 , $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, NaHCO_3 ? Дайте назву вихідним речовинам і одержаним оксидам.

1.5.2.2 Виведення хімічних формул

- 41) Речовина складається із сульфуру і карбону. Для визначення її кількісного складу взято 0,3045 г цієї речовини і через ряд послідовних реакцій переведено у BaSO_4 , маса якого дорівнює 1,867г. Знайти кількісний склад речовини.
Відповідь: S – 84,2%; C – 15,8%; CS_2 .
- 42) Речовина складається із алюмінію і хлору. Із деякої кількості цієї речовини одержано 1,7196 г AgCl і 0,2038 г Al_2O_3 . Знайти кількісний склад речовини.
Відповідь: $m_{\text{Al}} : m_{\text{Cl}} = 27 : 105,5$; AlCl_3 .
- 43) При відновленні 2,4 г купрум оксиду воднем одержано 0,54 г H_2O . Знайти кількісний склад оксиду.
Відповідь: $m_{\text{Cu}} : m_{\text{H}} = 4 : 1$; CuO .
- 44) При спалюванні деякої кількості вуглеводню одержано 0,88 г CO_2 і 0,18 г H_2O . Знайти кількісний склад вуглеводню.
Відповідь: $m_{\text{C}} : m_{\text{H}} = 12 : 1$; CH – простіша формула.
- 45) При спалюванні 0,990 г органічної речовини одержано 1,452 г CO_2 і 0,594 г H_2O . Інших речовин при цьому не одержано. Знайти якісний і кількісний склад речовини.
Відповідь: $m_{\text{C}} : m_{\text{H}} : m_{\text{O}} = 6 : 1 : 8$; $\text{C}_6\text{H}_2\text{O}$.
- 46) До складу сполуки входять карбон, водень і нітроген. Карбон складає у ній 79,12%. Маса N_2 , одержаного із 0,546 г, дорівнює 0,084 г. Молекулярна маса речовини 182 а.о.м. Встановити її формулу.
Відповідь: $\text{C}_6\text{H}_5\text{N}$ – простіша формула; $\text{C}_{12}\text{H}_{10}\text{N}_2$.
- 47) При спалюванні деякої кількості речовини, що складається із карбону, водню і хлору, одержано 0,44 г CO_2 , 0,18 г H_2O і 2,87 г AgCl . Молекулярна маса речовини 85 а.о.м. Встановити її формулу.
Відповідь: CH_2Cl_2 .
- 48) Речовина складається із карбону, водню і кисню. При спалюванні 0,90 г її одержано 1,32 г CO_2 та 0,54 г H_2O . Встановити формулу

речовини, якщо молекулярна маса її 180 а.о.м.

Відповідь: CH_2O – простіша формула; $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.

- 49) Речовина складається із карбону, водню і хлору. При спалюванні 0,956 г її одержано 0,352 г CO_2 і 0,072 г H_2O . Молекулярна маса речовини 119,5 а.о.м. Знайти її формулу.

Відповідь: CHCl_3 .

- 50) Із 2,88 г ферум сульфід одержано 1,92 г ферум (III) оксиду Fe_2O_3 . Знайти формулу сполуки.

Відповідь: FeS_2 .

- 51) Речовина складається із калію, сульфур і кисню. Сульфур і кисень, що містилися у 0,871 г цієї речовини, були виділені у вигляді BaSO_4 масою 1,167 г. Знайти кількісний склад речовини.

Відповідь: $m_K : m_S : m_O = 39 : 16 : 32$; K_2SO_4 .

- 52) Бертолетова сіль при нагріванні розкладається на O_2 і калій хлорид. Обчислити кількісний склад бертолетової солі, якщо при розкладі 1,02г її одержано 0,62 г KCl .

Відповідь: $m_K : m_{Cl} : m_O = 84 : 74 : 100$.

- 53) Речовина складається із купрум, карбону, кисню і водню. При розкладі деякої її кількості одержано 1,432 г CuO , 0,396 г CO_2 і 0,159г H_2O . Знайти кількісний склад речовини у відсотках.

Відповідь: $\text{Cu} - 57,6\%$; $\text{C} - 5,5\%$; $\text{H} - 0,9\%$; $\text{O} - 36\%$;
 $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$.

- 54) Речовина складається із купрум і сульфур. Із 0,667 г цієї речовини одержано 0,556 г CuO . Обчислити відсотковий склад речовини.

Відповідь: $\text{Cu} - 66,7\%$; $\text{S} - 33,3\%$; CuS .

- 55) Склад манган оксиду виражається відношенням: $m_{Mn} : m_O = 1 : 1$. Знайти формулу оксиду.

Відповідь: Mn_2O_7 .

- 56) Речовина складається із магнію, водню, карбону і кисню, маси яких знаходяться у співвідношенні: $m_{Mg} : m_H : m_C : m_O = 1,01 : 0,083 : 1 : 4$. Знайти формулу речовини.

Відповідь: $\text{MgH}_2\text{C}_2\text{O}_6 = \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$.

- 57) До складу речовини входять калій, сульфур і кисень. Кількісний склад її виражається співвідношенням: $m_K : m_S : m_O = 61 : 50 : 100$. Молекулярна маса речовини 270,3 а.о.м. Знайти її формулу.

Відповідь: KSO_4 – простіша формула; $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$.

- 58) Для визначення кристалізаційної води у кристалічному купрум (II) нітраті взято пробу 0,9664 г. Після вилучення кристалізаційної води одержано 0,7504г $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$. Обчислити число молекул кристалізаційної води у молекулі кристалогідрату.

Відповідь: $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$.

59) До складу речовини входять 32,8% Na, 12,9% Al, 54,3% F. Знайти формулу речовини.

Відповідь: $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$.

60) Знайдіть формулу ванадій оксиду, виходячи з того, що у 0,91 г його міститься 0,40 г кисню.

Відповідь: V_2O_5 .

1.5.2.3 Розв'язання задач за хімічними рівняннями

61) При прожарюванні 5 г суміші KCl і KNO_3 одержали 4,68 г залишку. Визначити склад вихідної і одержаної сумішей. Термічний розклад KNO_3 протікає за рівнянням: $2\text{KNO}_3 \rightarrow 2\text{KNO}_2 + \text{O}_2$.

Відповідь: 2,98 г KCl; 2,02 г KNO_3 ; 1,7 г KNO_2 .

62) Суміш CaCO_3 і SrCO_3 масою 1,738 г після прожарювання втратила 0,66 г маси. Скільки CaCO_3 міститься у вихідній суміші?

Відповідь: 0,99 г.

63) Скільки відсотків сульфору у сульфаті деякого металу, якщо сульфат містить 20,5% цього металу.

Відповідь: 26,5%.

64) Суміш KCl і NaCl масою 1,585 г обробили сульфатною кислотою. Після перетворення хлоридів у сульфати маса суміші збільшилася до 1,878 г. Обчислити масу NaCl у вихідній суміші.

Відповідь: 0,589 г NaCl.

65) Для перетворення 1 г суміші NaOH і Na_2CO_3 у натрій хлорид було витрачено 0,8677 г хлоридної кислоти HCl. Скільки грамів NaOH містилося у суміші?

Відповідь: 0,8 г NaOH.

66) Визначити формулу солі, відносна молекулярна маса якої дорівнює 128 і яка містить 31,25% кальцію, 18,75% карбону і 50% кисню.

Відповідь: CaC_2O_4 .

67) Надлишком лугу обробили 2 г сплаву Cu з Al. Залишок розчинили у нітратній кислоті, сіль виділили і прожарили. Маса залишку після прожарювання дорівнює 0,8 г. Який відсотковий склад сплаву?

Відповідь: 32% Cu, 68% Al.

68) При випалюванні 0,5 тонни піриту FeS_2 , що містить 45% сульфору, добули 440 кг SO_2 . Обчислити вихід SO_2 у відсотках від теоретично можливого.

Відповідь: 97,78%.

69) У 400 г суміші залізного і мідного купоросів $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ і $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ міститься 156 г води. Скільки мідного купоросу містилося у суміші?

Відповідь: 270,5 г.

70) Скільки гіпсу CaSO_4 , як побічного продукту, утворюється при добуванні H_3PO_4 у результаті взаємодії 1 тонни фосфориту, що містить

90% $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ з надлишком сульфатної кислоти H_2SO_4 .

Відповідь: 1184,5 кг.

71) У якій кількості потрібно змішати кальцій оксид CaO і кальцій дигідроксид $\text{Ca}(\text{OH})_2$, щоб суміш містила 60% кальцію?

Відповідь: 34 г CaO , 66 г $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

72) Суміш триамоній фосфату і амоній нітрату містить 30% нітрогену. Скільки у ній відсотків фосфору?

Відповідь: 15,29%.

73) Для одержання мангану із MnO_2 алюмінотермією змішали 10,8 кг Al і 26,2 кг MnO_2 . Яку із вихідних речовин взяли у надлишку?

Відповідь: 0,1 кг MnO_2 (надлишок); 16,5 кг Mn .

74) Для одержання преципітату $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ витратили 49 кг H_3PO_4 . Яку кількість сухого $\text{Ca}(\text{OH})_2$ необхідно взяти у цьому випадку, якщо він містить 2% домішок?

Відповідь: 37,755 кг.

75) Для відновлення 15,7 кг хром (III) оксиду витратили 5 кг алюмінію. Скільки хрому відновилося при цьому? Яку із вихідних речовин взяли у надлишку?

Відповідь: 9,63 кг Cr ; 1,63 кг Cr_2O_3 (надлишок).

76) Скільки кг CaCO_3 , CaO і H_2O необхідно витратити, щоб одержати 1 тону сухого кальцій дигідроксиду, якщо вихід його складає 90% від теоретично можливого.

Відповідь: 1501,5 кг CaCO_3 ; 840,8 кг CaO ; 270,3 кг H_2O .

77) Суміш $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ і $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ масою 1,202 г розчинили у воді і до розчину додали BaCl_2 у надлишку. Випав осад масою 1,086 г. Скільки мідного і залізного купоросів містилося у суміші?

Відповідь: $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,365 г; $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 0,837 г.

78) Скільки манган (IV) оксиду буде витрачено на добування 448 л (н.у.) хлору при взаємодії з надлишком хлоридної кислоти, якщо вихід хлору становить 98% від теоретично можливого?

Відповідь: 1,775 кг.

79) Скільки грамів хлору можна добути при взаємодії 0,5 моль KClO_3 і необхідної кількості хлоридної кислоти? Який об'єм займе ця кількість хлору за нормальних умов?

Відповідь: 106,5 г; 33,6 л.

80) Суміш містить 72% кальцій дигідроксиду, 12% піску і 16% води. Обчисліть скільки кальцію містить 1 тону безводної суміші після її висушування.

Відповідь: 0,46 тонни.

Лабораторна робота № 2

Основні хімічні поняття і закони.

Еквівалент металів

2.1 Мета: експериментально визначити еквівалент металу для його розпізнавання, вивчити і засвоїти основні поняття та стехіометричні закони хімії

2.2 Короткі теоретичні відомості

Хімічним еквівалентом елемента називається така його кількість, яка сполучається з одним молем атомів водню або заміщує таку саму кількість атомів водню у хімічних реакціях.

Еквівалентною масою називається маса одного еквівалента елемента (речовини). Таким чином, еквіваленти виражають у молях, а еквівалентні маси – у г/моль. Наприклад, у молекулі NH_3 , еквівалент азоту $1/3$ моль, а його еквівалентна маса $m_N = 14/3 = 4,67$ г/моль.

2.3 Експериментальна частина

Для визначення еквіваленту металу за воднем використовують метод розчинення металу у надлишку кислоти і вимірювання об'єму витісненого водню.

Для проведення експерименту використовують прилад (рисунок 2.1), який складається із бюретки 3, урівнювальної посудини 1, які сполучаються між собою за допомогою гумової трубки 2. До верхнього кінця бюретки за допомогою трубки приєднують пробірку 4. Урівнювальна посудина і бюретка наповнені водою.

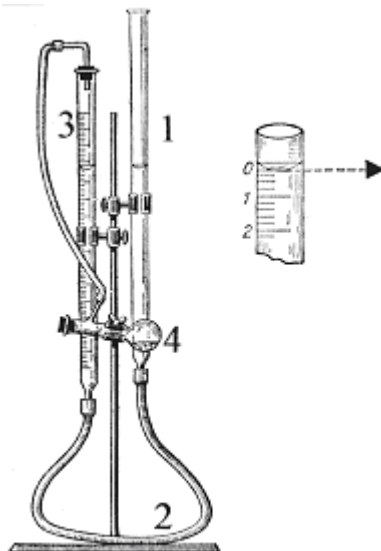


Рисунок 2.1 – Прилад для визначення еквіваленту метала

Для проведення досліду в пробірку 4 наливають 3-4 мл розчину сульфатної кислоти з $C_H=3,0$. Наважку металу (видається лаборантом), загорнуту у цигарковий папір, змочують краплею води і прикріплюють до внутрішньої стінки пробірки 4 над кислотою. Переміщуючи по вертикалі урівнювальну посудину, встановлюють рівень води у бюретці поблизу нульової поділки (не вище нуля). Пробірку з кислотою і наважкою щільно приєднують до приладу і перевіряють систему на герметичність. Для цього опускають посудину 1 так, щоб рівень води у ній був нижче за рівень води у бюретці, і у такому положенні закріплюють. При опусканні посудини 1 рівень води у бюретці трохи знизиться. Якщо через 1-2 хв подальшого зниження не буде, прилад вважають герметичним. Після цього встановлюють посудину 1 і бюретку 3 так, щоб рівень води був однаковим. Записують показання бюретки, потім струшують пробірку, і метал потрапляє у кислоту. Відразу починається виділення водню і вода витісняється із бюретки в посудину 1. Після закінчення реакції необхідно зачекати 10 – 15 хв, щоб газ у бюретці прийняв температуру зовнішнього повітря. Приводять воду в бюретці і посудині 1 до одного рівня і записують нові показання бюретки.

Для розрахунку використовують формулу

$$\frac{P_{H_2} V}{T} = \frac{P_0 V_0}{T_0} \quad (2.1)$$

де P_{H_2} – парціальний тиск водню у бюретці, мм рт. ст.; при цьому

$$P_{бар} = P_{H_2} + P_{H_2O} \quad (2.2)$$

де $P_{бар}$ – барометричний тиск, мм рт. ст.;

P_{H_2O} – парціальний тиск водяної пари за температури досліду, мм рт. ст. (таблиця 2.1);

V – об'єм водню за даної температури, мл;

T – температура повітря в лабораторії;

V_0 – приведений до н.у. об'єм водню, мл.

Таблиця 2.1 – Парціальний тиск водяної пари за різних температур

T, К	P_{H_2O} , мм рт. ст.	T, К	P_{H_2O} , мм рт. ст.
283	9,21	293	17,53
288	12,27	294	18,65
289	13,63	295	19,83
290	14,53	296	21,09
291	15,46	297	22,38
292	16,48		

Потім обчислюють $m_{e(\text{Me})}$:

$$\frac{m_{e(\text{Me})}}{m_{(\text{Me})}} = \frac{11200}{V}, \quad (2.3)$$

$$m_{e(\text{Me})} = \frac{m_{(\text{Me})} \cdot 11200}{V_0} \quad (2.4)$$

де $m_{(\text{Me})}$ – маса наважки металу, г.

Дані експерименту заносять до таблиці 2.2, крім того, наводять усі розрахунки.

Таблиця 2.2 – Результати експерименту

№ п/п	Дані досліду	Номер досліду		
		1	2	3
1	Маса наважки металу, г			
2	Об'єм V витісненого водню, мл			
3	$P_{\text{бар}}$, мм рт. ст.			
4	$P_{\text{H}_2\text{O}}$ за T досліду, мм рт. ст.			
5	P_{H_2} у бюретці, мм рт. ст.			
6	Об'єм H_2 (н.у.), мл			
7	T , повітря, К			
8	$m_{e(\text{Me})}$			
9	Відносна похибка, %			

Обчислюють також середню квадратичну похибку визначення і надійний інтервал одержаного еквіваленту (див. Додаток Ж).

Враховуючи, що досліджуваний метал окиснюється при розчиненні у кислоті до Me^{2+} , знайдіть молярну масу металу і визначте, який це метал.

2.4 Приклади розв'язання типових задач

Приклад 1 Визначити еквіваленти (E) та еквівалентні маси (m_e) хлору, кисню та нітрогену у сполуках HCl , H_2O і H_3N (NH_3).

Розв'язування: Маса і кількість речовини – це не ідентичні поняття, оскільки маса речовини виражається у кілограмах (грамах), а кількість речовини – у молях.

У наведених сполуках з одним молям атомів водню сполучається один моль атомів хлору, $1/2$ моль атомів кисню і $1/3$ моль атомів азоту. Таким чином, згідно з визначенням, еквіваленти хлору, кисню та нітрогену дорівнюють відповідно 1 моль, $1/2$ та $1/3$ моль, тоді як їх еквівалентні маси складають: $m_{(\text{Cl})} = 35,45$ г/моль; $m_{(\text{O})} = 16/2 = 8$ г/моль; $m_{(\text{N})} = 14/3 = 4,67$ г/моль.

Приклад 2 Із 3,85 г нітрату металу одержано 1,6 г його гідроксиду. Обчислити еквівалентну масу металу m_e .

Розв'язування: При розв'язанні задачі потрібно мати на увазі, що: а) еквівалентна маса гідроксиду дорівнює сумі еквівалентних мас металу та гідроксильної групи; б) еквівалентна маса солі дорівнює сумі еквівалентних мас металу та кислотного залишку.

Еквівалентну масу будь-якої зарядженої частинки можна визначити, поділивши молекулярну масу її на заряд. Наприклад:

$$m_{e(\text{NO}_3^-)} = 62/1 = 62 \text{ г/моль}; \quad m_{e(\text{SO}_4^{2-})} = 92/2 = 48 \text{ г/моль}.$$

Тобто, за законом еквівалентів:

$$\frac{3,85}{1,60} = \frac{m_{e(\text{Me})} + m_{e(\text{NO}_3^-)}}{m_{e(\text{Me})} + m_{e(\text{OH}^-)}} \quad \text{або} \quad \frac{3,85}{1,60} = \frac{m_{e(\text{Me})} + 62}{m_{e(\text{Me})} + 17}$$

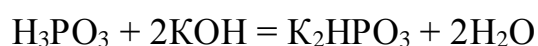
Звідки $m_{e(\text{Me})} = 15 \text{ г/моль}$.

Приклад 3 На нейтралізацію 0,943 г фосфітної кислоти H_3PO_3 витрачено 1,288 г КОН. Обчислити еквівалент, еквівалентну масу і основність кислоти. На підставі розрахунку написати рівняння реакції.

Розв'язування: Еквівалентна маса КОН дорівнює його молярній масі – 56 г/моль. За законом еквівалентів $\frac{0,943}{1,288} = \frac{m_{e(\text{H}_3\text{PO}_3)}}{56}$. Звідки

$$m_{e(\text{H}_3\text{PO}_3)} = \frac{56 \cdot 0,943}{1,288} \approx 41 \text{ г/моль}.$$

Молярна маса H_3PO_3 дорівнює 82 г/моль. Тобто, еквівалент H_3PO_3 дорівнює $41/82 = 0,5$ моль; основність кислоти n дорівнює M/m_e , тобто $n = 82/41 = 2$. Отже при взаємодії з КОН заміщується два атоми водню у кислоті:



Приклад 4 Скільки грамів металу, еквівалентна маса якого 12,16 г/моль, взаємодіє з 310 мл кисню (н.у.)?

Розв'язування: Об'єм еквівалентної маси кисню (8 г/моль) дорівнюватиме:

$$V_{e(\text{O}_2)} = \frac{m_e}{M} \cdot V_M = \frac{8}{32} \cdot 22,4 = 5,6 \text{ л або } 5600 \text{ мл}$$

За законом еквівалентів:

$$\frac{m_{(\text{Me})}}{310} = \frac{12,16}{5600}; \quad m_{(\text{Me})} = \frac{12,16 \cdot 310}{5600} = 0,673 \text{ г}$$

2.5 Контрольні завдання

- 81) При взаємодії 2,7 г оксиду металу з нітратною кислотою одержано 6,3 г його нітрату. Обчислити еквівалентну масу цього металу.
Відповідь: 32,5 г/моль.
- 82) На нейтралізацію 1,96 г H_3PO_4 витрачено 2,4 г натрій гідроксиду. Обчислити еквівалент, еквівалентну масу та основність H_3PO_4 у цій реакції. На підставі розрахунку написати рівняння реакції.
Відповідь: 1/3 моль; 32,666 г/моль; 3.
- 83) На відновлення 3,18 г оксиду двовалентного металу витрачено 0,896 л водню (н.у.). Обчислити еквівалентну, молярну та атомну масу металу.
Відповідь: 31,75 г/моль; 63,5 г/моль; 63,5 а.о.м.
- 84) На нейтралізацію 2,829 г H_3PO_3 витрачено 3,864 г КОН. Обчислити еквівалент, еквівалентну масу та основність кислоти. На підставі розрахунку написати рівняння реакції.
Відповідь: 0,5 моль; 41 г/моль; 2.
- 85) При взаємодії 3,24 г тривалентного металу з кислотою добуто 4,03 л H_2 (н.у.). Обчислити еквівалентну, молярну і атомну маси металу.
Відповідь: 9 г/моль; 27 г/моль; 27 а.о.м.
- 86) До розчину, який містить 4,1 г H_3PO_3 , додали 2 г натрій гідроксиду. Обчислити еквівалент, еквівалентну масу і основність H_3PO_3 у цій реакції. На підставі розрахунку написати рівняння реакції.
Відповідь: 1 моль; 82 г/моль; 1.
- 87) При відновленні H_2 10,17 г оксиду двовалентного металу утворилося 2,25 г води. Обчислити еквівалентні маси оксиду та металу. Чому дорівнює атомна маса металу?
Відповідь: 40,68 г/моль; 32,68 г/моль; 65,36 а.о.м.
- 88) На нейтралізацію 2,45 г кислоти витрачено 2 г натрій гідроксиду. Обчислити еквівалентну масу кислоти.
Відповідь: 49 г/моль.
- 89) При взаємодії 2,6 г гідроксиду металу з сульфатною кислотою одержано 5,7 г сульфату цього металу. Обчислити еквівалентну масу металу.
Відповідь: 9 г/моль.
- 90) До розчину, який містить 1,96 г H_3PO_4 , додали 2,24 г КОН. Обчислити еквівалент, еквівалентну масу і основність H_3PO_4 у цій реакції. На підставі розрахунку написати рівняння реакції.
Відповідь: 0,5 моль; 49 г/моль; 2.
- 91) Оксид тривалентного металу містить 31,58% кисню. Обчисліть еквівалентну і атомну маси металу.
Відповідь: 17,33 г/моль; 51,99 а.о.м.
- 92) На нейтралізацію 1,64 г H_3PO_3 витрачено 1,6 г натрій гідроксиду. Обчислити еквівалент, еквівалентну масу і основність H_3PO_3 . На

підставі розрахунку написати рівняння реакції.

Відповідь: 0,5 моль; 41 г/моль; 2.

- 93) При відновленні H_2 2,4 г оксиду металу одержано 0,54 г води. Обчислити еквівалентні маси оксиду і металу.

Відповідь: 40 г/моль; 32 г/моль.

- 94) На нейтралізацію 0,98 г H_3PO_4 витрачено 0,8 г натрій гідроксиду. Обчислити еквівалент, еквівалентну масу і основність H_3PO_4 у цій реакції. На підставі розрахунку написати рівняння реакції.

Відповідь: 0,5 моль; 49 г/моль; 2.

- 95) При взаємодії 3,31 г нітрату металу з хлоридною кислотою одержано 2,78 г його хлориду. Обчислити еквівалентну масу цього металу.

Відповідь: 103,5 г/моль.

- 96) На нейтралізацію 2,64 г H_3PO_2 витрачено 1,6 г натрій гідроксиду. Обчислити еквівалент, еквівалентну масу і основність H_3PO_2 . На підставі розрахунку написати рівняння реакції.

Відповідь: 1 моль; 66 г/моль; 1.

- 97) На окислення 3,24 г тривалентного металу витрачено 2,019 л O_2 . Обчислити еквівалентну, молярну і атомну маси металу.

Відповідь: 9 г/моль; 27 г/моль; 27 а.о.м.

- 98) До розчину, який містить 4,9 г H_3PO_4 , додали 3,7 г кальцій дигідроксиду $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Обчислити еквівалент, еквівалентну масу і основність H_3PO_4 у цій реакції. На підставі розрахунку написати рівняння реакції і знайти, скільки грамів солі утворилося при цьому.

Відповідь: 0,5 моль; 49 г/моль; 2; 6,8 г.

- 99) Знайти еквівалентні маси металу і S, якщо 3,24 г металу утворюють 3,48 г оксиду і 3,72 г сульфїду.

Відповідь: 108 г/моль; 16 г/моль.

- 100) На нейтралізацію 2,94 г H_2SO_4 витрачено 1,68 г KOH. Обчислити еквівалентну масу і основність кислоти. На підставі розрахунку написати рівняння реакції.

Відповідь: 1 моль; 98 г/моль; 1.

Лабораторна робота № 3

Розчини. Теорія електролітичної дисоціації.

Кисотно-основна рівновага

3.1 Мета: вивчити фізико-хімічну рівновагу електролітів та визначити електричну провідність і pH розчинів

3.2 Короткі теоретичні відомості

Важливішою характеристикою розчинів є їх концентрація – це вміст розчиненої речовини в одиниці об'єму або маси розчину. Її виражають різними способами, а саме:

- молярна концентрація (C_M) – це кількість молів розчиненої речовини в 1 л розчину;
- молярна концентрація компонента (C_m) – це кількість молів розчиненої речовини в 1 кг (1000 г) розчинника, наприклад, води:

$$C_m = \frac{m_2 \cdot 1000}{m_1 \cdot M_2}, \quad (3.1)$$

де m_1 і m_2 – маса розчинника і розчиненої речовини відповідно, г

M_2 – молярна маса розчиненої речовини, г/моль;

- молярна частка (X) – це відношення кількості молів розчиненої речовини (n_2) до загальної кількості молів у системі, тобто до суми молів розчинника (n_1) і всіх розчинених у ньому речовин. Для бінарного розчину:

$$X = \frac{n_2}{n_1 + n_2} \quad (3.2); \quad n_1 + n_2 = 1 \quad \text{або} \quad \sum_{i=1}^n n_i = 1 \quad (3.3)$$

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

$$W = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \quad \text{або} \quad W\% = \frac{m_2}{m_1 + m_2} \cdot 100\%, \quad (3.4)$$

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

- молярна концентрація еквіваленту (C_H) – це кількість молів еквівалентів розчиненої речовини в 1 л розчину, (моль·екв.)/л:

$$C_H = \frac{m}{m_e \cdot V}, \quad (3.5)$$

де m – маса розчиненої речовини в розчині, г

m_e – еквівалентна маса розчиненої речовини, г/(моль·екв.)

V – об'єм розчину, л

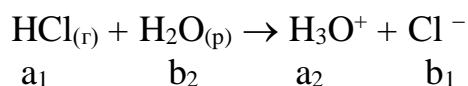
- титр розчину (T) – це маса розчиненої речовини, яка міститься у 1 мл розчину:

$$T = \frac{C_H \cdot m_e}{1000} \quad (3.6)$$

де C_H – молярна концентрація еквіваленту розчиненої речовини, (моль·екв)/л;

m_e – еквівалентна маса розчиненої речовини, г/(моль·екв.).

Електролітична дисоціація – це процес взаємодії молекул електроліту з водою (розчинником), в результаті чого відбувається іонізація, а потім, власне, розпад молекул на іони – дисоціація:



Густина розчину – це відношення маси тіла до його об'єму: $\rho = m / v$, де m – маса тіла, v – його об'єм. Якщо прийняти за $m = 1$ кг, а $v = 1$ м³, то одержимо одиницю густини $[\rho] = 1 \text{ кг/1м}^3 = 1 \text{ кг/м}^3$ в одиницях СІ (ГОСТ 8.417 – 81), або в одиницях СГС: $m = 1$ г, $v = 1$ см³, тоді $[\rho] = 1 \text{ г/ 1см}^3 = = 1 \text{ г/см}^3$. Рекомендується також: $m = 1$ кг, $v = 1$ дм³, тоді: $[\rho] = 1 \text{ кг/1дм}^3 = = 1 \text{ кг/дм}^3$.

3.3 Експериментальна частина

3.3.1 Визначення густини рідини, яка важча за воду

Отримайте у лаборанта розчин для дослідження і набір ареометрів для рідин, які важчі за воду.

Розчин налейте у сухий скляний циліндр і занурте у нього ареометр, шкала якого починається з 1,00. Якщо при зануренні ареометру шкала буде повністю над рідиною, то густина розчину перевищує величину шкали ареометру. Замініть ареометр наступним із набору і так до тих пір, доки не підберете ареометр, який зануриться у рідину на таку глибину, щоб рівень рідини у циліндрі був у межах шкали ареометру, як це відображено на рисунку 3.1. Слідкуйте за тим, щоб ареометр не торкався стінок циліндру. Відмітьте за нижнім меніском ціну поділки шкали ареометру, яка співпадає з рівнем рідини у циліндрі. Визначення повторіть 3-4 рази і знайдіть середню величину із тих, результати яких найбільш близькі одна до іншої. Це і буде густина розчину.

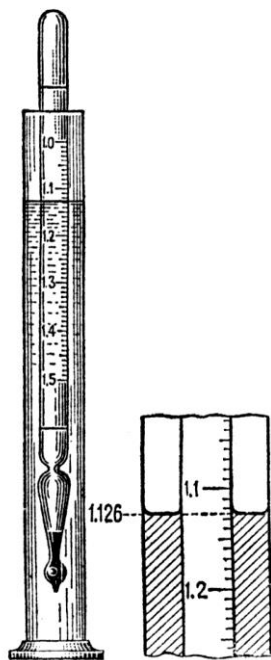


Рисунок 3.1 – Визначення густини розчину

3.3.2 Визначення густини рідини, яка легша за воду

Отримайте у лаборанта розчин і набір ареометрів, який призначений для легких рідин. Розчин налейте у сухий скляний циліндр і занурте у нього ареометр. Якщо при зануренні ареометру шкала буде повністю під рідиною, замініть ареометр наступним із набору і так робіть до тих пір, доки підберете ареометр, який зануриться у рідину на таку глибину, щоб рівень рідини у циліндрі потрапляв на шкалу ареометру, потім проведіть вимірювання, як описано у досліді 3.3.1.

3.3.3 Електрична провідність розчинів електролітів

Прилад складається із широкогорлої посудини з гумовою пробкою (рисунок 3.2), через яку проходить лійка і два вугільні електроди, які мають на верхніх кінцях клеми. В склянку через лійку налийте дистильовану воду, і, приєднавши прилад до електромережі, ввімкніть струм. Загоряється лампочка чи ні? Електрична лампочка сигналізує про наявність струму в замкнутому колі. Дослід повторити, наповнюючи склянку послідовно розчинами етилового (чи іншого) спирту, цукру, хлоридної кислоти, калій нітрату (калій хлориду) і натрій гідроксиду.

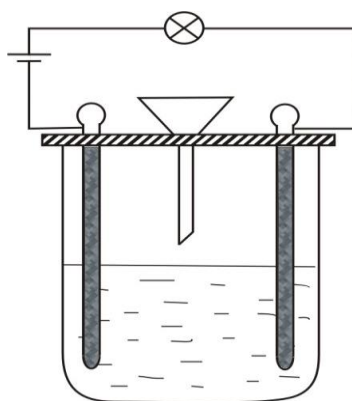
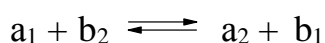


Рисунок 3.2 – Прилад для визначення електричної провідності розчинів

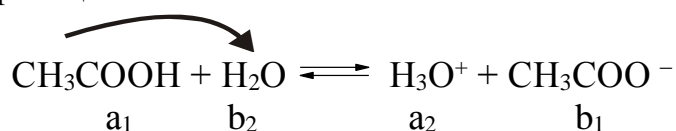
Перед кожним наступним дослідом промийте електроди і посудину та ополосніть їх дистильованою водою. Розчини яких речовин проводять струм? Що називається електролітом? Складіть рівняння електролітичної дисоціації досліджених електролітів. Якими іонами характеризуються розчини кислот і лугів?

Наведіть приклади кислотно-основних пар:



3.3.4 Залежність електричної провідності від концентрації

Налийте в прилад 20 мл концентрованої оцтової кислоти і випробуйте її електричну провідність, потім до кислоти прилийте при перемішуванні дистильовану воду і спостерігайте за зміною розжарювання дротика індикаторної лампочки. Зробіть висновок про причину даного явища. За рівнянням реакції:



зробіть висновок, в якому напрямку зміщується хімічна рівновага при збільшенні концентрації води.

3.3.5 Ступінь дисоціації лугу і солі

В склянку приладу для визначення електричної провідності налейте невелику кількість 20%-ного розчину аміаку (один об'єм) і ввімкніть струм. Зазначте інтенсивність розжарювання електричної лампочки. Вимкніть струм. Обережно, невеликими порціями додайте льодову оцтову кислоту (половину об'єму). Розчин перемішайте, охолодіть і ввімкніть струм. Як змінюється розжарювання дротика електричної лампочки? Поясніть проведений дослід, складіть необхідні рівняння. До слабких чи сильних електролітів належать розчинні солі?

3.3.6 Рівновага в розчині слабкої кислоти і основи

3.3.6.1 Налийте в пробірку 4-5 мл води, додайте краплю концентрованої оцтової кислоти і 2 краплі розчину метилоранжу. В який колір забарвлюється розчин і чому? Складіть рівняння електролітичної дисоціації оцтової кислоти і вираз константи дисоціації.

Розлийте розчин на дві рівні частини і до однієї з них додайте декілька кристалів натрій ацетату, збовтайте і порівняйте забарвлення розчинів в обох пробірках. Дайте пояснення, використавши для цього рівняння дисоціації оцтової кислоти і вираз константи рівноваги.

Що треба ввести в розчин слабкої кислоти для зміщення рівноваги в бік утворення недисоційованих молекул? Поясніть вплив на дисоціацію слабого електроліту однойменного іону.

3.3.6.2 Проведіть дослід, аналогічний попередньому, але замість CH_3COOH використовуйте $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ і фенолфталеїн, а замість CH_3COONa – NH_4Cl . Напишіть рівняння реакцій, вираз константи дисоціації. Поясніть зміщення рівноваги в розчині слабкої основи. Що необхідно додати до розчину слабкої основи для зміщення рівноваги в зворотному напрямку – утворення недисоційованих молекул? Зробіть загальний висновок про фактори, які впливають на зміщення рівноваги слабких електролітів.

3.3.7 Визначення рН розчину універсальним індикатором

Скляною паличкою нанесіть по 2 краплі розчинів HCl , $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, CH_3COOH і дистильованої води на індикаторний папір. Порівняйте забарвлення вологої плями, одержаної на папері, за кольоровою шкалою. Зробіть висновок про приблизне значення рН досліджуваного розчину і вкажіть реакцію середовища (кисла, нейтральна, лужна). Результати запишіть до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати досліду 3.3.7

Розчин, який досліджували	Колір індикатора	pH
Хлоридна кислота Оцтова кислота Розчин аміаку Дистильована вода		

3.3.8 Забарвлення індикаторів

У шість пробірок налийте по 2-3 мл дистильованої води і додайте у дві із них розчин нейтрального лакмусу, у дві інші – метилового оранжевого, а у останні дві – фенолфталеїну (по 1-2 краплі). Запишіть забарвлення індикаторів у нейтральному середовищі. Додайте у три пробірки по декілька крапель розчину лугу, а у три інші – по декілька крапель розчину хлоридної кислоти. Відмітьте забарвлення індикаторів і результат запишіть у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати досліду 3.3.8

Індикатор	Реакція середовища			Область переходу pH забарвлення індикатора
	кисла pH < 7	лужна pH > 7	нейтральна pH=7	
Лакмус				5...8
Метилловий оранжевий				3,2...4,4
Фенолфталеїн				8...10
Універсальний				

3.3.9 Гідроліз солей

3.3.9.1 У шість пронумерованих пробірок налийте по 1-2 мл: в першу – дистильовану воду, в другу – розчин K_2CO_3 або Na_2CO_3 , в третю – розчин $Al_2(SO_4)_3$, в четверту – розчин KNO_3 , в п'яту – розчин Na_3PO_4 і в шосту розчин CH_3COONH_4 . В кожен пробірку опустіть по смужці універсального індикаторного паперу. Порівняйте забарвлення паперу з еталоном і визначте pH середовища у кожній пробірці. Складіть рівняння гідролізу відповідних солей. Одержані дані занесіть до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати досліду 3.3.9.1

Номер пробірки	Розчин солі	Забарвлення	Реакція середовища	Значення рН за універсальним індикатором	Чи гідролізує сіль? Так/Ні

3.3.9.2 Налийте у пробірку 0,1 –1 мл розчину бісмут (III) нітрату і розведіть водою у 2-3 рази. Спостерігайте утворення осаду. Складіть рівняння реакції гідролізу, враховуючи, що в осад випадає сіль BiONO_3 . Додайте у пробірку кілька крапель концентрованої нітратної кислоти. Поясніть, чому розчинився осад.

3.3.9.3 До 2-3 мл розчину натрій ацетату додайте 1-2 краплі фенолфталеїну і нагрійте його до кипіння. Зверніть увагу на появу рожевого забарвлення, яке зникає при охолодженні розчину. Напишіть рівняння гідролізу і поясніть, що відбувається при нагріванні.

3.4 Концентрація розчинів Приклади розв'язання типових задач

Приклад 1 У 450 г води розчинили 50 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Обчислити масову частку кристалогідрату та безводної солі у розчині.

Розв'язування: Масова частка $W = m_{\text{речовини}}/m_{\text{розчину}}$

$$W_1 = m_{\text{кристалогідр.}}/m_{\text{розчину}}; \quad W_2 = m_{\text{CuSO}_4}/m_{\text{розчину}}$$

$$m_{\text{розчину}} = 450 + 50 = 500 \text{ г}; \quad W_1 = 50 \text{ г}/500 \text{ г} = 0,1$$

$$W_2 = \frac{m_{(\text{кристалог.})} \cdot W_3}{m_{(\text{розчину})}},$$

$$\text{де } W_3 = \frac{M_{\text{CuSO}_4}}{M_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}}} = \frac{160\text{г}}{250\text{г}} = 0,64$$

$$\text{Звідки } W_2 = \frac{50\text{г} \cdot 0,64}{500\text{г}} = 0,064. \text{ Або у відсотках: } W_1 = 0,1 \cdot 100\% = 10\%;$$

$$W_2 = 0,064 \cdot 100\% = 6,4\%.$$

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

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

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

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

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

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

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

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

$C_m = \frac{m_2 \cdot 1000}{m_1 \cdot M_2} = \frac{18 \cdot 1000}{282 \cdot 98} = 0,65\text{г}$

Приклад 3 Скільки грамів 32%-ного розчину нітратної кислоти необхідно додати до 600 г 80%-ного розчину тієї самої кислоти, щоб одержати 64%-ний розчин?

Розв'язування: Для розв'язання такого типу задач можна застосувати метод змішування (“правило хреста”). Записують концентрації вихідних розчинів і розчину, який потрібно одержати, як це показано на схемі:

$$\begin{array}{ccc} 80 & \diagdown & 32 \text{ ч (80\%)} \\ & 64 & \\ 32 & \diagup & 16 \text{ ч (32\%)} \\ & & \underline{\hspace{1cm}} \\ & & 48 \text{ ч (64\%)} \end{array}$$

Як видно із наведеної схеми, на 32 частини 80%-ного розчину, необхідно взяти 16 ч 32%-ного розчину, тоді:

32 ч – 16 ч
600 ч – x $x = \frac{600 \cdot 16}{32} = 300\text{г}$ (32%-ного р-ну)

Маса нового розчину складає: $m = 600 + 300 = 900 \text{ г}$

Перевірка: m_{HNO_3} в 900 ч 64%-ного розчину складає:

$$m = 900 \cdot 0,64 = 576 \text{ г}$$

Маса HNO_3 в 600 г 80%-ного і 300 г 32%-ного розчинів дорівнює:

$$m = (600 \cdot 0,8) + (300 \cdot 0,32) = 480 + 96 = 576 \text{ г}$$

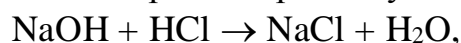
Приклад 4 Обчислити титр розчину HCl з $C_H = 0,1$.

Розв'язування: В 1 л розчину з $C_H = 0,1$ міститься 3,65 г HCl .

Звідки: $T = \frac{3,65}{1000} = 0,00365 \text{ г/мл}$

Приклад 5 Титр розчину HCl дорівнює 0,00365 г/мл. Обчислити титр цього розчину за $NaOH$.

Розв'язування: Титр цього розчину за $NaOH$ знаходять із реакції:



де 36,5 г HCl вступають у реакцію з 40 г $NaOH$, або:

$$\begin{array}{l} 36,5 \text{ г} - 40 \text{ г} \\ 0,00365 \text{ г/мл} - x \end{array}$$

$$x = \frac{40 \text{ г} \cdot 0,00365 \text{ г/мл}}{36,5 \text{ г}} = 0,004 \text{ г/мл}$$

Тобто: $T_{HCl/NaOH} = 0,004 \text{ г/мл}$

Приклад 6 На нейтралізацію 20 мл розчину кислоти витрачено 10 мл розчину лугу ($C_H = 0,5$). Чому дорівнює молярна концентрація еквіваленту кислоти?

Розв'язування: Згідно закону Ріхтера (закону еквівалентів) можна записати:

$$C_{H(\text{лугу})} \cdot V_{(\text{лугу})} = C_{H(\text{к-та})} \cdot V_{(\text{к-та})}$$

Тоді: $C_{H(\text{к-та})} = \frac{C_{H(\text{лугу})} \cdot V_{(\text{лугу})}}{V_{(\text{к-та})}} = \frac{10 \cdot 0,5}{20} = 0,25 \text{ моль} \cdot \text{eq} / \text{л}$

Приклад 7 Скільки грамів сульфатної кислоти міститься в 23,5 см³ розчину з $C_H = 0,542$, враховуючи, що еквівалент сульфатної кислоти взято відносно до реакції повного заміщення гідрогену в кислоті?

Розв'язування:

$$m_{H_2SO_4} = \frac{C_H \cdot m_e(H_2SO_4) \cdot V}{1000} = \frac{0,542 \text{ моль} \cdot \text{eq} / \text{л} \cdot 49 \text{ г} / \text{моль} \cdot 23,5}{1000 \text{ мл}} = 0,624 \text{ г}$$

3.5 Контрольні завдання

- 101) Скільки грамів калій хлориду потрібно додати до 450 г 8%-ного розчину тієї самої солі, щоб одержати 12%-ний розчин?
Відповідь: 20,45 г.
- 102) Із 10 кг 20%-ного розчину при охолодженні викристалізувалось 400 г солі. Чому дорівнює відсоткова концентрація охолодженого розчину?
Відповідь: 16,7%.
- 103) У якій масі води необхідно розчинити 40 г калій броміду для одержання 4%-ного розчину?
Відповідь: 960 г.
- 104) Із 400 г 50%-ного розчину сульфатної кислоти випарували 100 г води. Чому дорівнює відсоткова концентрація цього розчину?
Відповідь: 66,7%.
- 105) До 3 л 10%-ного розчину HNO_3 (густиною $1,054 \text{ г/см}^3$) додали 5 л 2%-ного розчину тієї самої кислоти (густиною $1,009 \text{ г/см}^3$). Обчислити відсоткову і молярну концентрації одержаного розчину, об'єм якого дорівнює 8 л.
Відповідь: 5%; $C_M = 0,82$.
- 106) У якій масі води потрібно розчинити 67,2 л гідроген хлориду (н.у.), щоб одержати 9%-ний розчин хлоридної кислоти?
Відповідь: 1107 г.
- 107) Змішали 300 г 20%-ного розчину і 500 г 40%-ного розчину натрій хлориду. Чому дорівнює відсоткова концентрація одержаного розчину?
Відповідь: 32,5%.
- 108) Який об'єм води необхідно додати до 100 мл 20%-ного розчину сульфатної кислоти (густина $1,14 \text{ г/см}^3$), щоб одержати 5%-ний розчин?
Відповідь: 342 мл.
- 109) Яку масу натрій нітрату необхідно розчинити у 400 г води, щоб приготувати 20%-ний розчин?
Відповідь: 100 г.
- 110) До 950 г води додали 50 мл 48%-ного розчину сульфатної кислоти (густина $1,38 \text{ г/см}^3$). Обчислити відсотковий вміст сульфатної кислоти в одержаному розчині.
Відповідь: 3,25%.
- 111) Скільки грамів $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ необхідно розчинити у 250 г води, щоб одержати розчин, який містить 5%-тів безводної солі?
Відповідь: 32 г.
- 112) Визначити відсоткову концентрацію розчину, одержаного змішуванням 300 г 25%-ного і 400 г 40%-ного розчинів.
Відповідь: 33,6%.

- 113) Обчислити відсотковий вміст кристалогідрату і безводної солі у розчині, який містить 100 г $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ у 900 г води.
Відповідь: 10 %; 5,47 %.
- 114) Для приготування 5%-ного розчину магній сульфату взято 400 г $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Знайти масу одержаного розчину.
Відповідь: 3,9 кг.
- 115) Скільки молів води необхідно додати до 1,6 кг 25%-ного розчину натрій гідроксиду для одержання 16%-ного розчину?
Відповідь: 50 моль.
- 116) Із 750 кг 48%-ного розчину сульфатної кислоти випарували 300 кг води. Визначити відсотковий вміст сульфатної кислоти в одержаному розчині.
Відповідь: 80%.
- 117) Скільки грамів $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ необхідно для реакції обміну з 75 мл 2,3%-ного розчину сульфатної кислоти (густиною $1,015 \text{ г/см}^3$)?
Відповідь: 4,36 г.
- 118) У якій масі води необхідно розчинити 50 г сульфатної кислоти, щоб одержати 10%-ний розчин?
Відповідь: 25 моль.
- 119) У якій масі води необхідно розчинити 25 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, щоб одержати розчин з мас. часткою CuSO_4 8 % ?
Відповідь: 175 г.
- 120) Змішали 247 г 62%-ного і 145 г 18%-ного розчинів сульфатної кислоти. Яка відсоткова концентрація одержаного розчину?
Відповідь: 45,72%.
- 121) Який об'єм розчину HCl з $C_H = 4,0$ потрібно для нейтралізації 10 г NaOH ?
Відповідь: 62,5 мл.
- 122) Який об'єм розчину HCl з $C_H = 0,4$ необхідно додати до розчину AgNO_3 , щоб одержати 0,2868 г AgCl ?
Відповідь: 5 мл.
- 123) 250 мл розчину NaOH з $C_H = 4,0$ змішано зі 150 мл розчину KOH з $C_H = 6,0$. Обчислити молярну концентрацію еквіваленту одержаного розчину. Якій кількості грамів KOH відповідає 1 мл одержаного розчину?
Відповідь: $C_H = 4,75$; 0,266 г/мл.
- 124) Скільки мілілітрів розчину H_2SO_4 з $C_H = 0,4$ можна нейтралізувати додаванням 800 мл розчину NaOH з $C_H = 0,25$?
Відповідь: 500 мл.
- 125) До якого об'єму необхідно розбавити водою 2,4 л розчину HCl з $C_H = 1,6$ для одержання розчину HCl з $C_H = 0,25$?
Відповідь: 15,36 л.

- 126) Скільки грамів 5%-ного розчину AgNO_3 потрібно для реакції обміну зі 120 мл розчину AlCl_3 з $C_H = 0,6$?
Відповідь: 244,8 г.
- 127) Який об'єм розчину Ca(OH)_2 з $C_H = 0,1$ необхідно додати до 162 г 5%-ного розчину $\text{Ca(HCO}_3)_2$ для утворення нормальної (середньої) солі?
Відповідь: 1 л.
- 128) До якого об'єму необхідно випарувати 3,5 л розчину KOH з $C_H = 0,04$, щоб одержати розчин з $C_H = 0,1$?
Відповідь: 1,4 л.
- 129) Чому дорівнює титр розчину HCl , якщо при додаванні до 20,0 мл цього розчину надлишку AgNO_3 одержано 0,2868 г AgCl ?
Відповідь: $T_{\text{HCl}} = 0,003647$ г/мл.
- 130) Чому дорівнює молярна концентрація еквіваленту і титр розчину HNO_3 , якщо на титрування 20,0 мл його витрачено 15,0 мл розчину NaOH з $C_H = 0,12$?
Відповідь: $C_H = 0,09$; $T = 0,005671$ г/мл.
- 131) Скільки грамів H_2SO_4 міститься у 5 л розчину, якщо на титрування 25,0 мл цього розчину витрачено 22,50 мл розчину KOH з $C_H = 0,095$?
Відповідь: 20,94 г.
- 132) На титрування 0,0340 г AgNO_3 витрачено 20,0 мл розчину HCl . Знайти $T_{\text{HCl/Ag}^+}$.
Відповідь: $T = 0,00108$ г/мл.
- 133) Чому дорівнює $T_{\text{HCl/CaO}}$, якщо на титрування 0,1144 г CaCO_3 витрачено 27,65 мл розчину HCl .
Відповідь: $T = 0,00232$ г/мл CaO .
- 134) Скільки мілілітрів розчину KMnO_4 з $C_H = 0,02$ необхідно на титрування 20,0 мл розчину FeSO_4 з $C_H = 0,03$?
Відповідь: 30 мл.
- 135) Чому дорівнює молярна концентрація еквіваленту 40%-ного розчину CaCl_2 густиною 1,396 г/см³?
Відповідь: $C_H \approx 10$.
- 136) Яку наважку соди Na_2CO_3 було взято, якщо на її титрування витратили 20-30 мл розчину H_2SO_4 з $C_H = 0,1$?
Відповідь: біля 0,11-0,16 г.
- 137) Скільки грамів CaCO_3 випаде в осад, якщо до 400 мл розчину CaCl_2 ($C_H = 0,5$) додати надлишок розчину соди Na_2CO_3 ?
Відповідь: 10 г.
- 138) Густина 40%-ного розчину HNO_3 дорівнює 1,25 г/см³. Обчислити молярну концентрацію цього розчину.
Відповідь: $C_M = 7,94$.
- 139) На нейтралізацію 20 мл розчину, який містить 12 г лугу в 1 л, витрачено 24 мл розчину кислоти з $C_H = 0,25$. Обчислити еквівалентну

масу лугу.

Відповідь: 40 г/моль.

140) Обчислити молярну концентрацію 10%-ного розчину аміаку густиною 0,958 г/см³.

Відповідь: $C_M \approx 5,6$.

3.6 Властивості розчинів неелектролітів і електролітів. Методи визначення ступеня електролітичної дисоціації

Для розбавлених розчинів неелектролітів, за другим законом Рауля, підвищення температури кипіння і зниження температури замерзання пропорційно моляльній концентрації розчину:

$$\Delta t_{\text{кип.}} = E \cdot C_m \quad (3.7); \quad \Delta t_{\text{зам.}} = K \cdot C_m \quad (3.8)$$

де E і K – ебуліоскопічна і криоскопічна постійні (E і K залежать лише від природи розчинника і не залежать від природи розчиненої речовини).

В таблиці 3.4 наведені значення ебуліоскопічних і криоскопічних постійних E і K для деяких розчинників.

Таблиця 3.4 – Ебуліоскопічні (E) і криоскопічні (K) постійні для деяких розчинників

Розчинник	E	K
Анілін $C_6H_5NH_2$	3,69	5,87
Бензен C_6H_6	2,6	5,1
Вода	0,52	1,86
n-Ксилен (ксилол)	–	4,3
Мурашина кислота	–	2,77
Нафталін $C_{10}H_8$	–	6,9
Нітробензен $C_6H_5NO_2$	5,27	6,9
Оцтова кислота	3,1	3,9
Фенол C_6H_5OH	3,6	–
Хлороформ $CHCl_3$	3,88	7,3

Ступінь електролітичної дисоціації (α) можна визначити за осмотичним тиском, підвищенням чи пониженням температури кипіння чи замерзання розчину. Відношення експериментально встановлених значень цих величин до обчислених теоретично за рівняннями для розчинів неелектролітів показує, у скільки разів число частинок у розчині електроліту більше загального числа розчинених молекул. Коефіцієнт “ i ”, отриманий з такого відношення, називається коефіцієнтом Вант-Гоффа :

$$i = \frac{P_{\text{осм.факт}}}{P_{\text{осм.теор}}} \quad (3.9);$$

$$i = \frac{\Delta t_{\text{факт}}}{\Delta t_{\text{теор}}} \quad (3.10)$$

Якщо концентрація розчину C , ступінь електролітичної дисоціації – α , число іонів, одержаних при дисоціації – n , тоді C_α буде виражати число молекул, які продисоціювали, а $(C - C_\alpha)$ – число недисоційованих молекул, $C_{\text{ан}}$ – число іонів. Загальне число частинок у розчині буде дорівнювати:

$$C - C_\alpha + C_{\text{ан}} = C[1 + \alpha(n-1)] \quad (3.11)$$

$$i = \frac{C[1 + \alpha(n-1)]}{C} = 1 + \alpha(n-1) \quad \text{або} \quad \alpha = \frac{i-1}{n-1} \quad (3.12)$$

3.6.1 Приклади розв'язання типових задач

Приклад 1 Підвищення температури кипіння розчину, що містить 11,07 г $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ в 100 г води, дорівнює 0,466 град. Обчислити ступінь дисоціації $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ в розчині.

Розв'язування: За другим законом Рауля:

$$\Delta t_{\text{теор.}} = E \frac{m_{\text{Ba}(\text{NO}_3)_2} \cdot 1000}{M_{\text{Ba}(\text{NO}_3)_2} \cdot m_{\text{H}_2\text{O}}} = 0,52 \frac{11,07 \cdot 1000}{261 \cdot 100} = 0,261 \text{град.}$$

Тобто: $i = \frac{0,466}{0,216} = 2,16$; $\alpha = \frac{2,16-1}{3-1} = \frac{1,16}{2} = 0,58$ або 58%.

Приклад 2 Обчислити осмотичний тиск розчину оцтової кислоти з $C_M = 0,01$ за 0°C , якщо $\alpha = 0,013$.

Розв'язування: За рівнянням, яке виражає залежність осмотичного тиску від концентрації і температури, знаходять теоретичне значення осмотичного тиску:

$$P_{\text{осм.}} = CRT = 0,01 \cdot 0,082 \cdot 273 = 0,22 \text{ атм. (теоретично)}$$

оскільки $\frac{P_{\text{факт.}}}{P_{\text{теор.}}} = i = [1 + \alpha(n-1)]$, а n для CH_3COOH дорівнює 2, то

$$P_{\text{факт.}} = 0,01 \cdot 0,082 \cdot 273 \cdot 1,013 = 0,227 \text{ атм.}$$

3.7 Контрольні завдання

141) При розчиненні 3,24 г S у 40 г бензену C_6H_6 температура кипіння останнього підвищилася на 0,810 $^\circ\text{C}$. Із скількох атомів складається молекула S у розчині?

Відповідь: із 8-ми атомів.

142) У 60 г бензену C_6H_6 розчинено 2,09 г деякої речовини, елементний склад якої, % (за масою): C 50,69; H 4,23; O 45,08. Розчин кристалізується за 1,25 $^\circ\text{C}$. Встановити молекулярну формулу

речовини. Чистий бензен кристалізується за температури $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Відповідь: $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$.

- 143) Водно-спиртовий розчин, який містить 15%-нів спирту ($\rho = 0,97\text{ г/см}^3$), кристалізується за $-10,26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знайти молекулярну масу спирту та осмотичний тиск розчину при 293 К .

Відповідь: 32 а.о.м.; 11,07 МПа.

- 144) Водний розчин гліцерину замерзає при температурі $-2,79\text{ }^{\circ}\text{C}$. Обчислити кількість молів гліцерину, які припадають на кожні 100 моль води, а також тиск пари розчину при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Тиск водяної пари при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ дорівнює $17,54\text{ мм рт. ст. (2,338 кПа)}$.

Відповідь: 2,7 моль; 17,08 мм рт.ст. (2,277 кПа).

- 145) Температура замерзання бензену C_6H_6 $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а розчин $6,15\text{ г}$ нітробензену у 400 г бензену замерзає при температурі $4,86\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кріоскопічна константа бензену $5,12$. Обчислити відносну молекулярну масу нітробензену.

Відповідь: 123 а.о.м.

- 146) Розчин цукру у воді показує підвищення температури кипіння на $0,312\text{ }^{\circ}\text{C}$. Обчислити зниження температури замерзання цього розчину.

Відповідь: $1,116\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- 147) При розчиненні $0,4\text{ г}$ деякої речовини у 10 г води температура замерзання розчину знижується на $1,24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Обчислити молекулярну масу розчиненої речовини.

Відповідь: 60 а.о.м.

- 148) У якій кількості води необхідно розчинити $0,5\text{ кг}$ гліцерину $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ для одержання розчину з температурою замерзання $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Відповідь: 3,37 кг.

- 149) Обчислити температуру замерзання водного розчину сечовини $(\text{H}_2\text{N})_2\text{CO}$, у якому на 100 моль води припадає 1 моль розчиненої речовини.

Відповідь: $-1,033\text{ }^{\circ}\text{C}$.

- 150) У скількох молях води необхідно розчинити $0,02\text{ г/моль}$ деякої речовини (неелектроліта) для одержання розчину, температура кипіння якого $100,026\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Відповідь: 22,22 моль.

- 151) Обчислити температуру кипіння розчину, що містить 100 г цукру $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ у 750 г води. Яка моляльна концентрація цього розчину?

Відповідь: $100,19\text{ }^{\circ}\text{C}$; $C_m = 0,366$.

- 152) Температура кипіння ацетону $56,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, а його ебуліоскопічна константа дорівнює $1,73$. Обчислити температуру кипіння 8%-ного розчину гліцерину $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ у ацетоні. Яка моляльна концентрація розчину?

Відповідь: $57,73\text{ }^{\circ}\text{C}$; $C_m = 0,95$.

- 153) Температура кипіння етеру $34,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, а його ебуліоскопічна константа дорівнює $2,16$. Обчислити молекулярну масу бензойної кислоти, якщо

- відомо, що 5%-ний розчин цієї кислоти у етері кипітиме при температурі 35,53 °С?
Відповідь: 122,24 а.о.м.
- 154) Температура кипіння розбавленого розчину цукру $C_{12}H_{22}O_{11}$ 100,065°С. Обчислити осмотичний тиск розчину при 0 °С. Густина розчину прийміть за одиницю.
Відповідь: 2,68 атм (271,5 кПа).
- 155) Зниження температури замерзання розчину, який містить 0,05 моль нітробензену $C_6H_5NO_2$ у 250 г бензену, дорівнює 1,02 °С. Обчислити кріоскопічну константу бензену.
Відповідь: 5,1.
- 156) Обчислити температуру замерзання 10%-ного водного розчину глюкози $C_6H_{12}O_6$.
Відповідь: -1,076 °С.
- 157) У якій кількості сірковуглецю CS_2 потрібно розчинити 0,1 моль речовини, щоб розчин кипів при 47 °С? Температура кипіння CS_2 46,3°С, ебуліоскопічна константа 2,29 °С.
Відповідь: 327 г.
- 158) Розчин, який містить 2,05 г розчиненої речовини у 50 г води, замерзає при температурі -0,93 °С. Обчислити молекулярну масу речовини.
Відповідь: 82 а.о.м.
- 159) Скільки гліцерину $C_3H_8O_3$ потрібно розчинити у 200 г води, щоб розчин замерзав при температурі -1 °С?
Відповідь: 9,9 г.
- 160) Обчислити відсоткову концентрацію розчину камфори у бензені виходячи з того, що цей розчин замерзає при 3,45 °С. Температура замерзання чистого бензену 5,5 °С, кріоскопічна константа 5,12 град; молекулярна маса камфори 154.
Відповідь: 5,8%.
- 161) Ступінь дисоціації HCl в розчині, який містить 7,3 г HCl в 200 г води, дорівнює 78%. Обчислити температуру кипіння розчину.
Відповідь: 100,93 °С.
- 162) Осмотичний тиск розчину KCl з $C_H = 0,01$ при 0 °С дорівнює 0,44 атм. Обчислити ступінь дисоціації KCl в розчині.
Відповідь: 96%.
- 163) Температура кипіння розчину, що містить 9,09 г KNO_3 в 100 г води, дорівнює 100,8 °С. Обчислити ступінь дисоціації KNO_3 в розчині.
Відповідь: 70,9 %.
- 164) Ступінь дисоціації $CaCl_2$ в розчині, який містить 0,666 г $CaCl_2$ в 125г води, дорівнює 75%. Обчислити температуру замерзання розчину.
Відповідь: -0,22 °С.
- 165) Ступінь дисоціації $MgCl_2$ в розчині, що містить 0,25 моль $MgCl_2$ в 1000г води, дорівнює 0,84. У скільки разів пониження температури

замерзання цього розчину більше пониження температури замерзання еквімолярного розчину неелектроліту?

Відповідь: у 2,68 разів.

166) Ступінь дисоціації KNO_3 в розчині з $C_M = 0,02$ дорівнює 0,908. У скільки разів осмотичний тиск цього розчину більше осмотичного тиску еквімолярного розчину неелектроліту?

Відповідь: у 1,908 разів.

167) 5%-ний водний розчин KOH кипить при $100,86^\circ\text{C}$. Обчислити ступінь дисоціації KOH в розчині.

Відповідь: 0,76.

168) Осмотичний тиск при 0°C розчину, який містить 0,05 г KNO_3 в 100 мл розчину, дорівнює 166,6 мм рт. ст. Обчислити ступінь дисоціації KNO_3 в розчині.

Відповідь: 98 %.

169) Ступінь дисоціації K_2SO_4 в розчині, що містить 0,026 моль K_2SO_4 в 50 г води, дорівнює 53%. Обчислити підвищення температури кипіння розчину.

Відповідь: $0,556^\circ\text{C}$.

170) Ступінь дисоціації HCl в розчині з $C_M = 0,02$ дорівнює 0,922. Обчислити осмотичний тиск розчину за 0°C .

Відповідь: 654 мм рт. ст.

171) Ступінь дисоціації KCl в розчині, що містить 0,02 моль KCl в 10 л води, дорівнює 0,969. Обчислити в міліметрах ртутного стовпчика осмотичний тиск розчину за 18°C .

Відповідь: 71,4 мм рт.ст.

172) Розчин, який містить 3,0 г MgCl_2 в 125 г води, замерзає при $-1,23^\circ\text{C}$. Обчислити ступінь дисоціації MgCl_2 в розчині.

Відповідь: 81%.

173) Ступінь дисоціації Na_2CO_3 в розчині, який містить 0,01 моль Na_2CO_3 в 200 г води, дорівнює 0,7. Обчислити температуру замерзання розчину.

Відповідь: $-0,22^\circ\text{C}$.

174) Ступінь дисоціації HBr в розчині з $C_H = 0,05$ дорівнює 0,889. Обчислити осмотичний тиск розчину при 20°C .

Відповідь: 2,27 атм.

175) Розчин, що містить 0,636 г Na_2CO_3 в 120 г води, замерзає при $-0,225^\circ\text{C}$. Обчислити ступінь дисоціації Na_2CO_3 в розчині.

Відповідь: 0,71.

176) Обчислити осмотичний тиск за 27°C розчину цукру $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$, 1 л якого містить 91 г розчиненої речовини.

Відповідь: 6,15 атм.

177) Чому дорівнює за температури $-7,5^\circ\text{C}$ осмотичний тиск розчину, в 1,5 л якого міститься 276 г гліцерину $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$?

Відповідь: 43,54 атм.

178) Обчислити осмотичний тиск розчину цукру $C_{12}H_{22}O_{11}$ з $C_M = 0,25$ при температурі $38\text{ }^\circ\text{C}$.

Відповідь: 6,38 атм.

179) За якої температури осмотичний тиск розчину, що містить в 1 л 45 г глюкози $C_6H_{12}O_6$, досягне 6 атм?

Відповідь: $39,7\text{ }^\circ\text{C}$.

180) Скільки грамів глюкози $C_6H_{12}O_6$ міститься у 200 мл розчину, осмотичний тиск якого за температури $37\text{ }^\circ\text{C}$ складає 8 атм?

Відповідь: 12,08 г.

3.8 Концентрація іонів

Концентрація іонів у розчині виражається числом моль-іонів у літрі розчину. Моль-іоном називається маса іонів, виражена у грамах, яка чисельно дорівнює іонній масі. Так, іонна маса OH^- дорівнює 17, моль-іон OH^- дорівнює 17 г; іонна маса SO_4^{2-} 96; моль-іон SO_4^{2-} 96 г або 17 г/моль, 96 г/моль відповідно.

Концентрація іонів у розчині залежить від загальної концентрації електроліту ($C_{ел-ту}$), від ступеня його дисоціації (α) і від числа іонів, які одержуються при дисоціації молекул (n):

$$C_{іон} = C_{ел-ту} \cdot \alpha \cdot n \quad (3.13)$$

3.8.1 Приклади розв'язання типових задач

Приклад 1 Ферум (III) сульфат у водному розчині дисоціює повністю. Обчислити концентрацію іонів, які містяться у розчині $Fe_2(SO_4)_3$ з $C_M = 0,5$.

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

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

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

Приклад 2 Ступінь дисоціації оцтової кислоти CH_3COOH у розчині з $C_M = 1,0$ за $18\text{ }^\circ\text{C}$ дорівнює 0,004. Обчислити концентрацію іонів H^+ , CH_3COO^- і загальну концентрацію іонів у розчині.

Розв'язування:

$$C_{H^+} = C_{CH_3COO^-} = 1 \cdot 0,004 \cdot 1 = 0,004 \text{ моль/л},$$

$$C_{H^+} + C_{CH_3COO^-} = 0,004 \cdot 2 = 0,008 \text{ моль/л}.$$

3.9 Контрольні завдання

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

Відповідь: 5,4 г.

182) Ступінь дисоціації H_2CO_3 за першим ступенем у розчині з $C_M = 0,1$ дорівнює 0,0017. Обчислити концентрацію H^+ -іонів і HCO_3^- -іонів у

розчині (не брати до уваги дисоціацію за другим ступенем).

$$\text{Відповідь: } C_{H^+} = C_{HCO_3^-} = 1,7 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

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

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

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

$$\text{Відповідь: } 0,316 \text{ г.}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

190) Ступінь дисоціації H_3PO_4 за першим ступенем у розчині з $C_M = 0,1$ дорівнює $0,17$. Обчислити концентрацію H^+ -іонів у розчині (дисоціацію за другим ступенем до уваги не брати).

$$\text{Відповідь: } C_{H^+} = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

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

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

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

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

- 193) Обчислити концентрацію NO_3^- -іонів у розчині $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ з $C_M = 0,05$ і $C_{\text{заг}}$.
Відповідь: $C_{\text{NO}_3^-} = 0,1$; $C_{\text{заг}} = 0,15$ моль/л.
- 194) Обчислити концентрацію NO_3^- -іонів у розчині $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ з $C_M = 0,05$ та $C_{\text{заг}}$.
Відповідь: $C_{\text{NO}_3^-} = 0,15$; $C_{\text{заг}} = 0,2$ моль/л.
- 195) Обчислити концентрацію K^+ -, Al^{3+} і SO_4^{2-} -іонів у розчині $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ з $C_M = 0,3$ та $C_{\text{заг}}$.
Відповідь: $C_{\text{K}^+} = C_{\text{Al}^{3+}} = 0,3$; $C_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,6$; $C_{\text{заг}} = 1,2$ моль/л.
- 196) Концентрація Al^{3+} -іонів дорівнює $0,3$ моль/л. Обчислити масу Al^{3+} -іонів, які містяться у 1 л розчину.
Відповідь: $8,1$ г.
- 197) Обчислити концентрацію OH^- -іонів у розчині $\text{Ca}(\text{OH})_2$ з $C_M = 1,1 \cdot 10^{-3}$ та $C_{\text{заг}}$.
Відповідь: $C_{\text{OH}^-} = 2,2 \cdot 10^{-3}$; $C_{\text{заг}} = 3,3 \cdot 10^{-3}$ моль/л.
- 198) Обчислити концентрацію Cl^- -іонів у розчині AlCl_3 з $C_M = 0,05$ та $C_{\text{заг}}$.
Відповідь: $C_{\text{Cl}^-} = 0,15$; $C_{\text{заг}} = 0,2$ моль/л.
- 199) Обчислити концентрацію NH_4^+ -, Fe^{3+} - і SO_4^{2-} -іонів у розчині $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$ з $C_M = 0,3$ та $C_{\text{заг}}$.
Відповідь: $C_{\text{NH}_4^+} = C_{\text{Fe}^{3+}} = 0,3$; $C_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,6$; $C_{\text{заг}} = 1,2$ моль/л.
- 200) Обчислити концентрацію K^+ -, Cr^{3+} - і SO_4^{2-} -іонів у розчині $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ з $C_M = 0,2$ та $C_{\text{заг}}$.
Відповідь: $C_{\text{K}^+} = C_{\text{Cr}^{3+}} = 0,2$; $C_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,4$; $C_{\text{заг}} = 0,8$ моль/л.

3.10 Іонна рівновага і концентрація іонів

У розчині слабого електроліту має місце рівновага між іонами і недисоційованими молекулами:

$$\text{KA} = \text{K}^+ + \text{A}^-, \text{ тоді } K = \frac{[\text{K}^+][\text{A}^-]}{[\text{KA}]}, \quad (3.14)$$

де $[\text{K}^+]$, $[\text{A}^-]$, $[\text{KA}]$ – рівноважні концентрації відповідно катіона, аніона і недисоційованих молекул.

Взаємозв'язок між K , α і C виражається законом розведення Оствальда:

$$K = C \frac{\alpha^2}{1 - \alpha}, \quad (3.15)$$

якщо $\alpha < 5\%$, то $K = C\alpha^2$ або $\alpha = \sqrt{K/C}$, або $C = \frac{K}{\alpha^2}$ (3.16)

Якщо у розчині бінарного електроліту КА ступінь його дисоціації дорівнює α , то концентрація іонів K^+ і A^- буде однаковою і складе:

$$[K^+] = [A^-] = \alpha C, \text{ оскільки } \alpha = \sqrt{\frac{K}{C}}, \text{ тоді: } [K^+] = [A^-] = C\sqrt{\frac{K}{C}} = \sqrt{KC} \text{ або}$$

$$C_{\text{іон}} = \sqrt{KC} \quad (3.17)$$

У розрахунках, які пов'язані з дисоціацією кислот, часто використовують не константу K , а показник константи дисоціації pK :

$$pK = -\lg K \quad (3.18)$$

Константи дисоціації деяких слабких електролітів – див. Додаток 3.

3.10.1 Приклади розв'язання типових задач

Приклад 1 Константа дисоціації CH_3COOH дорівнює $1,8 \cdot 10^{-5}$. Обчислити концентрацію іонів H^+ у розчині цієї кислоти з $C_M = 0,5$.

Розв'язування: Згідно рівнянню (3.17):

$$[H^+] = \sqrt{KC} = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,5} = \sqrt{0,9 \cdot 10^{-5}} = \sqrt{9 \cdot 10^{-6}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Приклад 2 Константа дисоціації вугільної (карбонатної) кислоти за першим ступенем дорівнює $3 \cdot 10^{-7}$. Обчислити $[H^+]$ у розчині, якщо $\alpha = 1,74\%$.

Розв'язування: Згідно рівнянню (3.16):

$$[H^+] = \frac{K}{\alpha^2} = \frac{3 \cdot 10^{-7}}{(1,74 \cdot 10^{-2})^2} = 1,72 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Приклад 3 Константа дисоціації $NH_3 \cdot H_2O$ дорівнює $1,8 \cdot 10^{-5}$. Обчислити $[OH^-]$ у розчині, який містить суміш аміаку і NH_4Cl з концентраціями $C_{M(NH_3 \cdot H_2O)} = 0,1$ і $C_{M(NH_4Cl)} = 1,0$.

Розв'язування: Згідно рівнянню (3.14):

$$[OH^-] = \frac{KC_{(NH_3 \cdot H_2O)}}{C_{(NH_4^+)}}$$

Концентрація іонів NH_4^+ складається із концентрації іонів, які одержуються за рахунок дисоціації $NH_3 \cdot H_2O$ і NH_4Cl (останній дисоціює повністю і його концентрацію можна рахувати як 1 моль/л). Дисоціація $NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$ дає незначну концентрацію NH_4^+ -іонів, якою можна знехтувати. Тоді:

$$[\text{OH}^-] = \frac{1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1}{1} = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$$

Приклад 4 Константа дисоціації H_3PO_3 за першим ступенем дорівнює $1 \cdot 10^{-2}$. Обчислити α за першим ступенем у розчині з $C_M = 0,1$.

Розв'язування: Оскільки $[\text{K}^+] = [\text{A}^-] = \alpha C$, вводять це значення в рівняння (3.15):

$$K = \frac{C\alpha \cdot C\alpha}{C(1-\alpha)} = \frac{C \cdot \alpha^2}{(1-\alpha)}; \quad \alpha^2 = \frac{K(1-\alpha)}{C} = \frac{1 \cdot 10^{-2}(1-\alpha)}{0,1}.$$

Перетворюють це рівняння і розв'язують його:

$$\alpha^2 + 0,1\alpha - 0,1 = 0; \quad \alpha = 0,27 \text{ або } 27\%.$$

Приклад 5 У скільки разів зменшиться концентрація водневих іонів у розчині мурашиної кислоти HCOOH з $C_M = 0,2$ ($K = 1,8 \cdot 10^{-4}$), якщо до 1л цього розчину додати 0,1 моль солі HCOONa ? Вважати, що сіль дисоціює повністю.

Розв'язування: Вихідну концентрацію H^+ -іонів знаходять за рівнянням:

$$[\text{H}^+] = \sqrt{KC} = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-4} \cdot 0,2} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Концентрацію H^+ -іонів у розчині після додавання солі позначають через x . Тоді концентрація недисоційованих молекул кислоти буде рівною $0,2 - x$. Концентрація ж іонів HCOO^- буде складатися із двох величин: із концентрації $\text{HCOOH} \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCOO}^-$ і $\text{HCOONa} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{HCOO}^-$. Перша із цих величин дорівнює x , а друга – 0,1 моль/л; загальна концентрація HCOO^- -іонів дорівнює: $0,1 + x$. Підставивши значення концентрації у вираз для константи дисоціації мурашиної кислоти, одержують:

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{HCOO}^-]}{[\text{HCOOH}]} = \frac{x(0,1+x)}{0,2-x} = 1,8 \cdot 10^{-4}.$$

Оскільки за наявності однойменних іонів HCOO^- дисоціація мурашиної кислоти подавляється, то ступінь її дисоціації буде мала і значенням x порівняно з 0,1 і 0,2 можна знехтувати. Тоді останній вираз спрощується:

$$K = \frac{0,1x}{0,2} = 1,8 \cdot 10^{-4}, \text{ звідки: } 1,8 \cdot 10^{-4} \cdot 0,2 = 0,1x;$$

$$x = \frac{0,2 \cdot 1,8 \cdot 10^{-4}}{0,1} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Порівнявши величини $6 \cdot 10^{-3}$ і $3,6 \cdot 10^{-4}$, видно, що зменшення концентрації H^+ -іонів буде у $6 \cdot 10^{-3} / 3,6 \cdot 10^{-4} = 16,6$ разів.

3.11 Контрольні завдання

- 201) Як зміниться ступінь дисоціації мурашиної кислоти HCOOH ($C_{\text{H}} = 0,05$) внаслідок додавання до одного літру її розчину $0,1$ моль HCOOK ?
Відповідь: зменшиться у $33,3$ разів.
- 202) Ступінь дисоціації карбонатної кислоти за першим ступенем у розчині з $C_{\text{M}} = 0,006$ дорівнює $0,85\%$. Обчислити константу дисоціації.
Відповідь: $K = 4,34 \cdot 10^{-7}$.
- 203) Ступінь дисоціації оцтової кислоти CH_3COOH у розчині з $C_{\text{H}} = 0,1$ дорівнює $1,34\%$, а у розчині з $C_{\text{H}} = 0,01$ – $4,25\%$. Обчислити константу дисоціації CH_3COOH за цими даними і впевнитися, що величина її наближено одна й та ж.
Відповідь: $K_1 = 1,8 \cdot 10^{-5}$; $K_2 = 1,81 \cdot 10^{-5}$.
- 204) До 2 л розчину оцтової кислоти CH_3COOH з $C_{\text{M}} = 0,1$ додали $0,5$ моль натрій ацетату CH_3COONa . Обчислити концентрацію H^+ -іонів.
Відповідь: $\approx 7 \cdot 10^{-6}$ моль/л.
- 205) До розчину $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ з $C_{\text{M}} = 0,25$ додали рівний об'єм розчину KOH з $C_{\text{H}} = 0,1$. Обчислити концентрацію NH_4^+ -іонів у розчині.
Відповідь: $4,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л.
- 206) До 200 мл розчину оцтової кислоти з $C_{\text{H}} = 0,6$ додали 500 мл розчину лугу з $C_{\text{H}} = 0,1$. Обчислити концентрацію H^+ -іонів після додавання лугу.
Відповідь: $2,52 \cdot 10^{-5}$ моль/л.
- 207) До 500 мл розчину мурашиної кислоти з $C_{\text{H}} = 0,25$ додали 20 г натрій формиату HCOONa . Обчислити концентрацію H^+ -іонів у розчині.
Відповідь: $7,65 \cdot 10^{-5}$ моль/л.
- 208) До 800 мл розчину HCN з $C_{\text{M}} = 0,2$ додали 400 мл розчину HCl з $C_{\text{M}} = 0,5$. Обчислити концентрацію CN^- -іонів в одержаному розчині.
Відповідь: $4 \cdot 10^{-10}$ моль/л.
- 209) До 400 мл розчину $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ з $C_{\text{H}} = 0,4$ додали 100 мл розчину HCl з $C_{\text{H}} = 0,5$. Обчислити концентрацію OH^- -іонів у розчині.
Відповідь: $3,96 \cdot 10^{-5}$ моль/л.
- 210) До 500 мл розчину HCOOH з $C_{\text{H}} = 0,2$ додали 10 мл 8% -ного розчину аміаку ($\rho = 0,967$ г/см³). Якою стала концентрація H^+ -іонів у розчині?
Відповідь: $6,38 \cdot 10^{-4}$ моль/л.
- 211) Скільки грамів CH_3COONa необхідно додати до 1 л розчину оцтової кислоти з $C_{\text{H}} = 0,1$, щоб концентрація H^+ -іонів стала рівною $1 \cdot 10^{-6}$ моль/л?
Відповідь: ≈ 143 г.
- 212) До 300 мл розчину CH_3COOH з $C_{\text{M}} = 0,38$ додали 25 мл 10% -ного розчину HCl ($\rho = 1,05$ г/см³). Обчислити концентрацію CH_3COO^- -іонів

в одержаному розчині.

Відповідь: $2,75 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

213) До розчину HCl з $C_M = 0,5$ додали рівний об'єм розчину CH_3COONa з $C_M = 0,5$. Обчислити концентрацію H^+ -іонів у суміші.

Відповідь: $\approx 2,09 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

214) Обчислити концентрацію CH_3COO^- -іонів у розчині, 1 л якого містить 1 моль CH_3COOH і 0,1 моль HCl, прийнявши дисоціацію HCl повною.

Відповідь: $1,74 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

215) До розчину луку з $C_H = 1,0$ додали подвійний об'єм розчину HCOOH з $C_H = 1,0$. Обчислити концентрацію H^+ -іонів в одержаному розчині.

Відповідь: $1,84 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

216) У скільки разів зменшиться концентрація H^+ -іонів, якщо до 1 л розчину оцтової кислоти CH_3COOH з $C_M = 0,005$ додати 0,05 моль CH_3COONa ?

Відповідь: у 169,5 разів.

217) Ступінь дисоціації мурашиної кислоти HCOOH у розчині з $C_H = 0,2$ дорівнює 0,03. Обчислити константу дисоціації кислоти і значення рК.

Відповідь: $K = 1,8 \cdot 10^{-4}$; $\text{pK} = 3,74$.

218) В 1 л розчину оцтової кислоти CH_3COOH з $C_M = 0,01$ міститься $6,26 \cdot 10^{21}$ її молекул і іонів. Обчислити ступінь дисоціації оцтової кислоти.

Відповідь: $\alpha = 0,04$.

219) Ступінь дисоціації карбонатної кислоти H_2CO_3 за першим ступенем у розчині з $C_H = 0,1$ дорівнює $2,11 \cdot 10^{-3}$. Обчислити K_1 .

Відповідь: $K_1 = 4,45 \cdot 10^{-7}$.

220) За якої концентрації розчину ступінь дисоціації нітритної (азотистої) кислоти HNO_2 буде дорівнювати 0,2?

Відповідь: $1,725 \cdot 10^{-2}$ моль/л.

3.12 Водневий показник і гідроліз солей

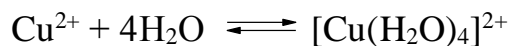
Гідроліз – це окремий випадок реакції протолізу і його механізм для різних типів сполук буде різним залежно від того, катіон чи аніон солі, яка піддається гідролізу, бере участь у реакції.

Гідроліз за катіоном. Катіони металів існують у водних розчинах у вигляді аквакомплексів певного складу. Наприклад: $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]^{2+}$, $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ тощо, у яких молекули води зв'язані з центральним атомом (катіоном металу) ковалентними зв'язками, утвореними за донорно-акцепторним механізмом (катіон – акцептор, молекули води – донори електронних пар). Далі гідратація таких аквакомплексів молекулами води здійснюється за рахунок водневих зв'язків.

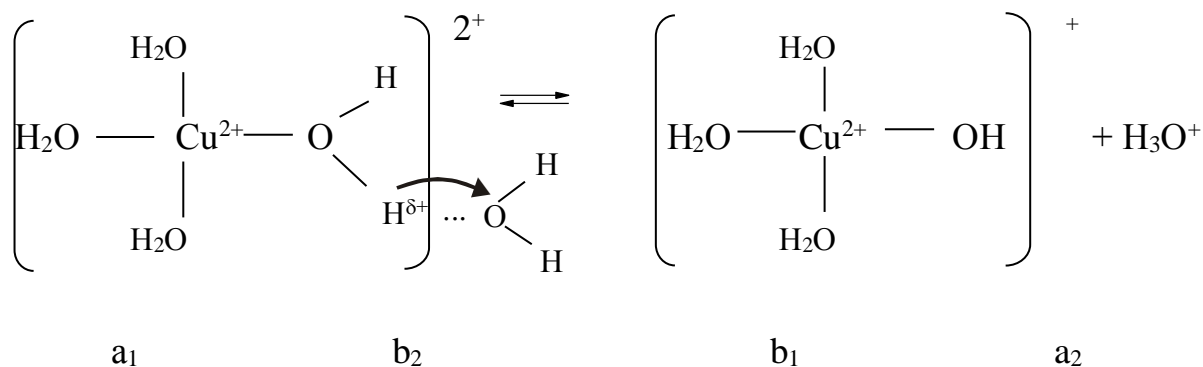
Наприклад, купрум (II) сульфат у водному розчині дисоціює на іони:



Cu^{2+} -іон утворює з молекулами води аквакомплекс

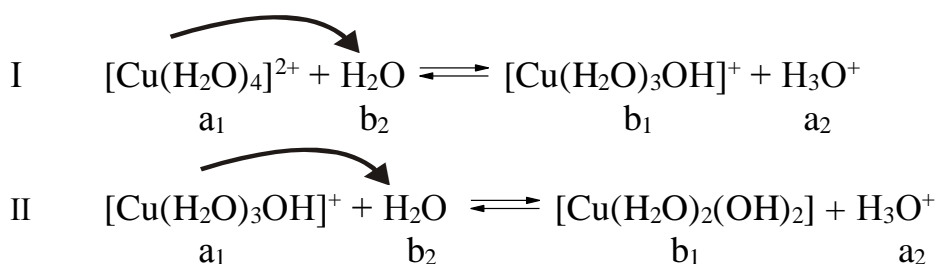


Щоб пояснити механізм гідролізу за катіоном, необхідно з'ясувати вплив центрального атома Cu^{2+} на одну із координованих біля нього молекул води, яка зв'язана слабшим водневим зв'язком у гідратній оболонці (за схемою):



Центральний атом поляризує зв'язок $-\text{O} \cdots \text{H}^{\delta+}$ у молекулі води, відштовхуючи від себе позитивно поляризований атом водню, що приводить до послаблення і розриву цього зв'язку зі зміцненням водневого зв'язку і переносом протону на молекулу води у гідратній оболонці (з утворенням H_3O^+).

Таким чином, аквакомплекс у даній рівноважній системі виступає як донор протону, тобто як кислоти (a_1), якій відповідає супряжена основа (b_1). Основою (b_2) є молекула води (розчинника), якій відповідає супряжена кислота H_3O^+ (a_2). Вона зумовлює кисле середовище розчину. Спрощено записують так:

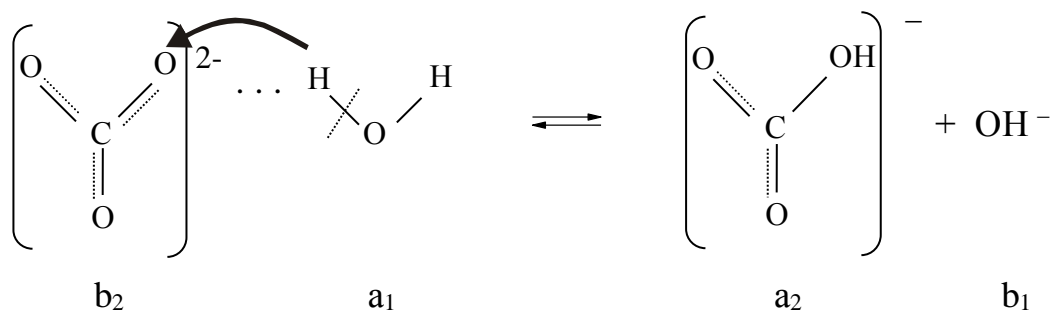


Слід пам'ятати, що гідролізу за катіоном піддаються солі, утворені слабкими основами, і тим більше, чим менше K_b (або більше pK_b) основи. Солі, утворені сильними основами, гідролізу за катіоном не піддаються.

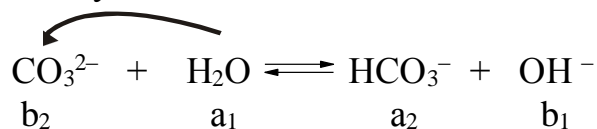
Гідроліз за аніоном. Гідратація аніонів здійснюється за рахунок водневих зв'язків, утворених негативно поляризованим атомом аніона і позитивно поляризованим атомом водню молекули води у гідратній оболонці невизначеного складу (залежить від ряду умов).

Наприклад, натрію карбонат у водному розчині дисоціює на іони $\text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-}$

Негативно заряджений CO_3^{2-} -іон притягує до себе позитивно поляризований атом водню молекули води, додатково поляризує її з перетворенням водневого зв'язку у ковалентний, при цьому протон переноситься від молекули води до аніона за схемою:



Скорочено записують так:



Реакція середовища лужна, що зумовлено нагромадженням у розчині OH^- -іонів.

Слід пам'ятати: чим більший заряд і менший розмір аніона, тим в більшій мірі сіль піддається гідролізу. Такі реакції найбільш характерні для аніонів CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , SO_3^{2-} , CN^- , NO_2^- , CH_3COO^- та ін., тобто гідролізу за аніоном піддаються солі, утворені слабкою кислотою і тим більше, чим менше K_a (або більше pK_a) кислоти.

Для розрахунку ступеня гідролізу використовують закон розведення Оствальда :

$$h = \sqrt{K_r / C} \quad (3.19)$$

де h – ступінь гідролізу; K_r – константа гідролізу і C – концентрація солі.

Для розрахунку константи гідролізу використовують формули:

- якщо гідроліз відбувається за аніоном $K_r = K_b = \frac{K_w}{K_a}$ (3.20);

- якщо гідроліз відбувається за катіоном $K_r = K_a = \frac{K_w}{K_b}$ (3.21);

- для солей слабкої кислоти і основи $K_r = \frac{K_w}{K_a K_b}$ (3.22)

де K_r , K_b , K_a – константа відповідно гідролізу, іонізації основи, іонізації кислоти (константи дисоціації електролітів – див. Додаток 3).

Для розрахунку рН солі, яка піддається гідролізу, використовують формули:

- для солі, що утворена слабкою кислотою та сильною основою:

$$pH = 7 + \frac{1}{2} pK_a + \frac{1}{2} \lg C_s \quad (3.23)$$

- для солі, що утворена слабкою основою та сильною кислотою:

$$pH = 7 - \frac{1}{2} pK_b - \frac{1}{2} \lg C_s \quad (3.24)$$

- для солі, що утворена слабкою кислотою та слабкою основою:

$$pH = 7 + \frac{1}{2} pK_a - \frac{1}{2} pK_b \quad (3.25)$$

3.12.1 Приклади розв'язання типових задач

Приклад 1 Обчислити рН 1%-ного розчину мурашиної кислоти, прийнявши, що густина її дорівнює 1,0. $K = 2,1 \cdot 10^{-4}$.

Розв'язування: В 1 л цього розчину міститься 10 г $HCOOH$, що відповідає такому значенню C_M . $C_M = 10/44 = 0,23$ моль/л. Обчислюють концентрацію H^+ -іонів за формулою:

$$[H^+] = \sqrt{KC} = \sqrt{2,1 \cdot 10^{-4} \cdot 0,23} = \sqrt{48,3 \cdot 10^{-6}} = 6,95 \cdot 10^{-3} \text{ моль-іон/л.}$$

Звідки: $pH = -\lg [H^+]$; $pH = -\lg 6,95 \cdot 10^{-3} = 3 - \lg 6,95 = 3 - 0,84 = 2,16$

Приклад 2 Обчислити рН розчину калій гідроксиду з $C_M = 0,0025$, прийнявши, що KOH дисоціює повністю.

Розв'язування: Якщо KOH дисоціює повністю, тоді $[OH^-] = 0,0025 = 2,5 \cdot 10^{-3}$ моль-іон/л. Звідки $pOH = -\lg [OH^-]$; $pOH = -\lg 2,5 \cdot 10^{-3} = 3 - \lg 2,5 = 3 - 0,4 = 2,6$. Тоді $pH = 14 - 2,6 = 11,4$.

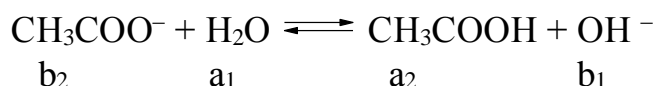
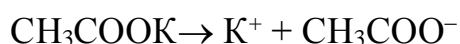
Приклад 3 рН розчину складає 4,3. Обчислити $[H^+]$ і $[OH^-]$.

Розв'язування: а) Запишемо дане значення рН у вигляді різниці $5 - 0,7$; $0,7$ – це логарифм коефіцієнта, який стоїть при 10^{-5} . Цьому логарифму відповідає число 5. Тобто: $[H^+] = 5 \cdot 10^{-5}$ моль-іон/л; а $[OH^-] = 14/5 \cdot 10^{-5} = 2 \cdot 10^{-10}$ моль-іон/л.

б) Оскільки $pH = -\lg [H^+]$, тоді $4,3 = -\lg [H^+]$, $\lg [H^+] = -4,3 = \overline{5,7}$, звідки $[H^+] = 5 \cdot 10^{-5}$ моль-іон/л.

Приклад 4 Обчислити ступінь гідролізу калій ацетату в розчині з $C_M = 0,1$ і рН розчину.

Розв'язування: Рівняння реакції гідролізу:



Константа гідролізу дорівнює: $K_r = K_b = \frac{K_w}{K_a}$;

$$K_r = K_b = \frac{10^{-14}}{1,8 \cdot 10^{-5}} = 5,56 \cdot 10^{-10}$$

Тепер знайдемо значення ступеня гідролізу h :

$$h = \sqrt{\frac{K_r}{C}} = \sqrt{\frac{5,56 \cdot 10^{-10}}{0,1}} = 7,5 \cdot 10^{-5}$$

Оскільки $[\text{OH}^-] = h \cdot C = 7,5 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1 = 7,5 \cdot 10^{-6}$ моль/л, то $\text{pOH} = -\lg [\text{OH}^-]$;
 $\text{pOH} = -\lg 7,5 \cdot 10^{-6} = 5,12$; $\text{pH} = 14 - 5,12 = 8,88$.

3.13 Контрольні завдання

- 221) Обчислити pH розчину оцтової кислоти ($C_H = 0,01$), для якого ступінь дисоціації кислоти дорівнює 0,042.
Відповідь: 3,38.
- 222) Обчислити pH розчину, у 1л якого міститься 0,1 г NaOH. Дисоціацію луку вважати повною.
Відповідь: 11,4.
- 223) У скільки разів концентрація іонів водню у крові ($\text{pH} = 7,38$) більше, ніж у спинномозковій рідині ($\text{pH} = 7,53$)?
Відповідь: в 1,5 рази.
- 224) Визначити $[\text{H}^+]$ і $[\text{OH}^-]$ у розчині, pH якого дорівнює 6,2.
Відповідь: $[\text{H}^+] = 6,3 \cdot 10^{-7}$ моль/л; $[\text{OH}^-] = 1,6 \cdot 10^{-8}$ моль/л.
- 225) Обчислити pH розчину аміаку ($C_M = 0,02$), якщо $K_b = 1,8 \cdot 10^{-5}$.
Відповідь: $\text{pH} = 10,78$.
- 226) Обчислити pH розчину ціанідної кислоти HCN ($C_M = 0,1$), якщо $K_a = 7,9 \cdot 10^{-10}$.
Відповідь: $\text{pH} = 5,05$.
- 227) Обчислити pH розчину мурашиної кислоти HCOOH ($C_H = 0,05$), якщо $K_a = 1,8 \cdot 10^{-4}$.
Відповідь: $\text{pH} = 2,52$.
- 228) Обчислити pH розчину оцтової кислоти ($C_M = 0,01$), якщо $K_a = 1,8 \cdot 10^{-5}$.
Відповідь: $\text{pH} = 3,38$.
- 229) Чому дорівнює концентрація розчину оцтової кислоти, pH якого дорівнює 5,2?
Відповідь: $2,2 \cdot 10^{-6}$ моль/л.
- 230) Ступінь дисоціації слабкої одноосновної кислоти у розчині ($C_H = 0,2$) дорівнює 0,03. Обчислити значення $[\text{H}^+]$, $[\text{OH}^-]$ і pOH для цього розчину.

Відповідь: $[H^+] = 6,0 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $[OH^-] = 1,7 \cdot 10^{-12}$ моль/л; $pOH = 11,78$.

231) Обчислити рН розчину, одержаного змішуванням 25 мл розчину HCl ($C_M = 0,5$), 10 мл розчину NaOH ($C_M = 0,5$) і 15 мл води. Коефіцієнти активності іонів прийняти рівними одиниці.

Відповідь: $pH = 0,82$.

232) Обчислити рН розчину, в 1 л якого міститься 0,51 мг OH^- -іонів.

Відповідь: $pH = 9,48$.

233) 25 мл 10%-ного розчину HCl ($\rho = 1,05$ г/см³) розбавили водою до 500мл. Обчислити рН розведеного розчину.

Відповідь: $pH = 0,84$.

234) До 250 мл нейтрального розчину додали 50 мл розчину KOH ($C_H=0,5$). Обчислити рН цього розчину.

Відповідь: $pH = 12,9$.

235) До 100 мл розчину HCl ($C_H = 0,2$) додали 5 мл 3%-ного розчину KOH. Як змінився рН розчину?

Відповідь: з 0,7 на 0,78.

236) До 100 мл розчину NaOH ($C_H = 0,1$) додали 5 мл 4%-ного розчину HCl ($\rho = 1,0$ г/см³). Як змінився рН розчину?

Відповідь: з 13 на 12,6.

237) До 100 мл розчину HNO₃ ($C_H = 0,1$) додали 2 мл 6%-ного розчину NaOH ($\rho = 1,07$ г/см³). Яким став рН розчину?

Відповідь: $pH = 1,2$.

238) До 25 мл розчину HCl ($C_H = 0,2$) додали 25 мл розчину NaOH ($C_H=0,1$). Яким став рН суміші?

Відповідь: $pH = 1,3$.

239) Скільки грамів KOH знаходиться у стані повної дисоціації у 10 л розчину, рН якого дорівнює 11?

Відповідь: 0,56 г.

240) Яким об'ємом води необхідно розбавити 1 л 0,6%-ного розчину CH₃COOH для одержання розчину, рН якого дорівнює 3,0? $K_a = 1,8 \cdot 10^{-5}$.

Відповідь: 0,8 л.

241) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: AlCl₃ (к.ч. 6), CuSO₄ (к.ч. 4), NaCN, KNO₃.

242) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: ZnCl₂ (к.ч. 4), MgSO₄ (к.ч. 6), K₃PO₄, NaCl.

243) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: FeCl₃ (к.ч. 6), Cu(NO₃)₂ (к.ч. 4), KOCl, Na₂S.

- 244) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ (к.ч. 6), ZnSO_4 (к.ч. 4), KNO_2 , NaHCO_3 .
- 245) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: FeSO_4 (к.ч. 6), NH_4Cl , KCN , K_2HPO_4 .
- 246) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ (к.ч. 6), MgBr_2 (к.ч. 6), KOCl , KHS .
- 247) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: AlCl_3 (к.ч. 6), CuCl_2 (к.ч. 4), $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, NaBr .
- 248) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: CrCl_3 (к.ч. 6), ZnCl_2 (к.ч. 4), Na_2SO_3 , K_2S .
- 249) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (к.ч. 6), CuSO_4 (к.ч. 4), NaNO_3 , $\text{CH}_3\text{COONH}_4$.
- 250) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ (к.ч. 6), MgCl_2 (к.ч. 6), NaHSO_3 , CH_3COOK .
- 251) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: FeCl_3 (к.ч. 6), ZnBr_2 (к.ч. 4), $\text{Ca}(\text{OCl})_2$, KH_2PO_4 .
- 252) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ (к.ч. 6), NH_4Br , KCl , $(\text{NH}_4)_2\text{S}$.
- 253) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: MgSO_4 (к.ч. 6), ZnCl_2 (к.ч. 4), Na_2CO_3 , KHS .
- 254) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (к.ч. 6), MgSO_4 (к.ч. 6), NH_4Br , $\text{CH}_3\text{COONH}_4$.
- 255) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: AlCl_3 (к.ч. 6), MgBr_2 (к.ч. 6), NaBr , $(\text{NH}_4)_2\text{S}$.
- 256) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ (к.ч. 6), ZnCl_2 (к.ч. 4), K_2HPO_4 , NaOCl .
- 257) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: FeSO_4 (к.ч. 6), MgSO_4 (к.ч. 6), KCN , $\text{CH}_3\text{COONH}_4$.
- 258) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: MgCl_2 (к.ч. 6), $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ (к.ч. 4), CH_3COONa , NaCl .

- 259) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ (к.ч. 6), CuBr_2 (к.ч. 4), $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, KBr .
- 260) Скласти іонно-молекулярні рівняння гідролізу і вказати реакцію середовища наступних сполук: $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ (к.ч. 6), ZnSO_4 (к.ч. 4), NaNO_2 , Na_2S .
- 261) Обчислити ступінь гідролізу NaOCl у розчині ($C_M = 0,02$) і рН розчину.
Відповідь: $h = 3,16 \cdot 10^{-3}$; рН = 9,8.
- 262) Обчислити ступінь гідролізу CH_3COONa у розчині ($C_M = 0,1$) і рН розчину.
Відповідь: $h = 7,45 \cdot 10^{-5}$, рН = 8,87.
- 263) Обчислити ступінь гідролізу NH_4Cl у розчині ($C_M = 10^{-3}$) і рН розчину.
Відповідь: $h = 7,45 \cdot 10^{-4}$, рН = 6,13.
- 264) Обчислити ступінь гідролізу CH_3COOK ($C_M = 0,001$) і рН розчину.
Відповідь: $h = 7,45 \cdot 10^{-4}$, рН = 7,87.
- 265) Обчислити ступінь гідролізу NaOCl ($C_M = 0,1$) і рН розчину.
Відповідь: $h = 1,41 \cdot 10^{-3}$, рН = 10,15.
- 266) Обчислити ступінь гідролізу NaNO_2 у розчині з $C_M = 0,1$ і рН розчину.
Відповідь: $h = 1,58 \cdot 10^{-5}$, рН = 8,2.
- 267) Обчислити ступінь гідролізу NH_4Cl у розчині ($C_M = 0,01$) і рН розчину.
Відповідь: $h = 2,35 \cdot 10^{-4}$, рН = 5,63.
- 268) Обчислити ступінь гідролізу KOCl у розчині ($C_M = 0,01$) і рН розчину.
Відповідь: $h = 4,47 \cdot 10^{-3}$, рН = 9,65.
- 269) Обчислити ступінь гідролізу NaCN у розчині з $C_M = 0,001$ і рН розчину.
Відповідь: $h = 1,12 \cdot 10^{-1}$, рН = 10,05.
- 270) рН розчину натрієвої солі ($C_M = 0,1$) деякої одноосновної органічної кислоти дорівнює 10. Обчислити константу дисоціації цієї кислоти.
Відповідь: $K_a = 10^{-7}$.
- 271) Обчислити ступінь гідролізу KCN у розчині з $C_M = 0,1$ і рН розчину.
Відповідь: $h = 1,12 \cdot 10^{-2}$, рН = 11,05.
- 272) Обчислити ступінь гідролізу CH_3COONa у розчині ($C_M = 0,01$) і рН розчину.
Відповідь: $h = 2,35 \cdot 10^{-4}$, рН = 8,37.
- 273) Обчислити ступінь гідролізу CH_3COOK у розчині ($C_M = 0,1$) і рН розчину.
Відповідь: $h = 7,45 \cdot 10^{-5}$, рН = 8,87.
- 274) Обчислити константу гідролізу KF , ступінь гідролізу цієї солі у розчині з $C_M = 0,01$ і рН розчину.
Відповідь: $h = 3,88 \cdot 10^{-5}$, рН = 7,59.
- 275) Обчислити ступінь гідролізу KCN у розчині ($C_M = 0,015$) і рН розчину.
Відповідь: $h = 2,9 \cdot 10^{-2}$, рН = 10,64.

- 276) Обчислити константу і ступінь гідролізу калій флуориду у розчині з $C_M = 0,001$ та рН цього розчину.
Відповідь: $h = 1,23 \cdot 10^{-4}$, рН = 7,09.
- 277) Обчислити ступінь гідролізу NaOCl у розчині з $C_M = 0,025$ і рН розчину.
Відповідь: $h = 2,83 \cdot 10^{-3}$, рН = 9,85.
- 278) Обчислити ступінь гідролізу NH₄Cl у розчині з $C_M = 5,0 \cdot 10^{-3}$ і рН розчину.
Відповідь: $h = 3,33 \cdot 10^{-4}$, рН = 5,78 .
- 279) Обчислити ступінь гідролізу NaNO₂ у розчині з $C_M = 0,015$ і рН розчину.
Відповідь: $h = 4,08 \cdot 10^{-5}$, рН = 7,79.
- 280) Обчислити ступінь гідролізу CH₃COOK у розчині ($C_M = 0,025$) і рН розчину.
Відповідь: $h = 1,49 \cdot 10^{-4}$, рН = 8,57.

3.14 Активність іонів

У розчинах сильних електролітів концентрація іонів достатньо велика, тому сили міжіонної взаємодії помітно проявляються навіть за невеликої концентрації електроліту. Внаслідок цього іони є не зовсім вільними у своєму русі, і усі властивості електроліту, які залежать від числа іонів, проявляються слабше, ніж це можна було очікувати за повної дисоціації електроліту на іони, що не взаємодіють між собою. Тому, щоб описати стан іонів у розчині, користуються поряд з концентрацією іонів, їх активністю **a** (моль/л); тобто, умовною (ефективною) концентрацією іонів, відповідно з якою вони діють у хімічних процесах. Активність іона **a** зв'язана з його молярною концентрацією у розчині C_M співвідношенням:

$$a = f \cdot C_M, \quad (3.26)$$

де f – коефіцієнт активності іона (безрозмірна величина).

Коефіцієнт активності іонів залежить від складу і концентрації розчину, від заряду і природи іона та від інших умов. Наближено можна вважати, що у розведених розчинах коефіцієнт активності іона у даному розчиннику залежить лише від заряду іона і іонної сили розчину I , яка дорівнює півсумі добутку концентрації C кожного іона на квадрат його заряду Z :

$$I = 0,5 (C_1 Z_1^2 + C_2 Z_2^2 + \dots + C_n Z_n^2) = 0,5 \sum_{i=1}^n C_i Z_i^2 \quad (3.27)$$

У таблиці 3.5 наведено значення коефіцієнтів активності іонів у розведених розчинах залежно від їх заряду і іонної сили розчину.

Таблиця 3.5 – Коефіцієнт активності іонів f за різних іонних сил розчину

Іонна сила розчину I	Заряд іона Z		
	± 1	± 2	± 3
0,001	0,98	0,78	0,73
0,002	0,97	0,74	0,66
0,005	0,95	0,66	0,55
0,01	0,92	0,60	0,47
0,02	0,90	0,53	0,37
0,05	0,84	0,50	0,21
0,1	0,81	0,44	0,16
0,2	0,80	0,41	0,14
0,3	0,81	0,42	0,14
0,4	0,82	0,45	0,17
0,5	0,84	0,50	0,21

Наближено коефіцієнт активності іона у розведеному розчині можна обчислити за формулою:

$$\lg f = -0,5Z^2 \sqrt{I} \quad (3.28)$$

3.14.1 Приклади розв'язання типових задач

Приклад 1 Обчислити іонну силу розчину K_2SO_4 з $C_M = 0,02$.

Розв'язування: У цьому розчині містяться K^+ -іони і SO_4^{2-} -іони у концентрації $[K^+] = 0,02 \cdot 2 = 0,04$ моль/л; $[SO_4^{2-}] = 0,02$ моль/л. Відповідно цьому: $I = 0,5 (0,04 \cdot 1^2 + 0,02 \cdot 2^2) = 0,06$.

Приклад 2 Обчислити іонну силу розчину, який містить $NaCl$ з $C_M = 0,01$ і $CaCl_2$ з $C_M = 0,02$.

Розв'язування: У розчині міститься Na^+ -, Ca^{2+} - і Cl^- -іони, концентрація яких дорівнює (моль/л): $[Na^+] = 0,01$, $[Ca^{2+}] = 0,02$, $[Cl^-] = (0,01 + 0,02 \cdot 2) = 0,05$. Тоді іонна сила цього розчину дорівнює: $I = 0,5(0,01 \cdot 1^2 + 0,02 \cdot 2^2 + 0,05 \cdot 1^2) = 0,07$.

Приклад 3 Обчислити коефіцієнт активності і активну концентрацію Mg^{2+} - і Cl^- -іонів у розчині з $MgCl_2$ з $C_M = 0,05$.

Розв'язування: Обчислюють іонну силу розчину:

$$I = 0,5 (C_{Mg^{2+}} \cdot 2^2 + C_{Cl^-} \cdot 1^2) = 0,5 (0,05 \cdot 2^2 + 0,1 \cdot 1^2) = 0,15$$

Знайдене (обчислене) значення іонної сили лежить між 0,1 і 0,2 (таблиця 3.5), яким для одновалентних іонів відповідають коефіцієнти активності 0,81 і 0,80, а для двувалентних іонів – 0,44 і 0,41. Різниця між крайніми (межевими) значеннями іонної сили складає $0,20 - 0,10 = 0,10$. Різниця ж між крайніми значеннями відповідних коефіцієнтів активності для одновалентних іонів 0,01 (0,81 – 0,80), а для двувалентних – 0,03 (0,44-0,41).

Розділивши цю різницю на 10, знаходять вірогідне значення, яке відповідає різниці 0,01 іонної сили для даного інтервалу (див. таблицю 3.5).

Знайдене значення іонної сили відрізняється від крайнього значення її у таблиці на 0,05. Звідси вірогідне значення коефіцієнта активності, яке обчислюють, від крайнього його значення складає для двовалентних іонів

$$\frac{0,03 \cdot 5}{10} = 0,015. \text{ Відповідно цьому знаходимо:}$$

$$f \text{ для одновалентних іонів } 0,81 - 0,005 = 0,8050$$

$$f \text{ для двувалентних іонів } 0,44 - 0,015 = 0,425$$

Використавши ці коефіцієнти активності, обчислюють активну концентрацію іонів:

$$a_{\text{Mg}^{2+}} = 0,425 \cdot 0,05 = 0,02125 \text{ моль/л; } a_{\text{Cl}^-} = 0,8050 \cdot 0,1 = 0,0805 \text{ моль/л.}$$

Приклад 4 Обчислити іонну силу і активність іонів у розчині, який містить 0,01 моль/л MgSO_4 і 0,01 моль/л MgCl_2 .

Розв'язування: Іонна сила розчину дорівнює:

$$I = 0,5(C_{\text{Mg}^{2+}} \cdot 2^2 + C_{\text{SO}_4^{2-}} \cdot 2^2 + C_{\text{Cl}^-} \cdot 1^2) = 0,5(0,02 \cdot 4 + 0,01 \cdot 4 + 0,02) = 0,07$$

Коефіцієнт активності Mg^{2+} -іона (і рівний йому коефіцієнт активності SO_4^{2-} -іона) знаходять за формулою:

$$\lg f = -0,5 Z^2 \sqrt{I} = -0,5 \cdot 4 \sqrt{0,07} = -0,53 = \overline{1,47}$$

$$\text{Звідки } f = 0,30$$

Аналогічно знаходять коефіцієнт активності Cl^- -іона:

$$\lg f = -0,5 \cdot 1 \sqrt{0,07} = -0,13 = \overline{1,87}$$

$$\text{Звідки } f = 0,74$$

Тепер, використавши співвідношення $a = fC$, обчислюють активність кожного іона:

$$a_{\text{Mg}^{2+}} = 0,02 \cdot 0,30 = 0,006 \text{ моль/л}$$

$$a_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,01 \cdot 0,30 = 0,003 \text{ моль/л;}$$

$$a_{\text{Cl}^-} = 0,02 \cdot 0,74 = 0,0148 \text{ моль/л.}$$

3.15 Контрольні завдання*

281) Обчислити наближене значення коефіцієнтів активності Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^{3-} і $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$ -іонів у розчині з іонною силою 0,0001.

Відповідь: $f_{\text{Cl}^-} = 0,99$; $f_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,94$; $f_{\text{PO}_4^{3-}} = 0,80$;

$f_{[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}} = 0,59$.

282) Обчислити іонну силу і активність іонів у 0,1%-ному розчині BaCl_2 . Густину розчину прийняти рівною одиниці.

Відповідь: $I = 0,0143$; $a_{\text{Ba}^{2+}} \approx 2,8 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $a_{\text{Cl}^-} \approx 8,4 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

283) Обчислити іонну силу і активність іонів у розчині, який містить 0,01 моль/л $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ і 0,01 моль/л CaCl_2 .

Відповідь: $I = 0,06$; $a_{\text{Ca}^{2+}} = 6,47 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $a_{\text{Cl}^-} = a_{\text{NO}_3^-} =$

$1,5 \cdot 10^{-2}$ моль/л;

284) Обчислити наближене значення активності Ba^{2+} - і Cl^- -іонів у розчині BaCl_2 з $C_{\text{H}} = 0,002$.

Відповідь: $a_{\text{Ba}^{2+}} = 7,8 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $a_{\text{Cl}^-} = 1,9 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

285) Обчислити наближене значення активності K^+ - і SO_4^{2-} -іонів у розчині K_2SO_4 з $C_{\text{M}} = 0,01$.

Відповідь: $a_{\text{K}^+} = 0,0164$ моль/л; $a_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,0045$ моль/л.

286) Обчислити активну концентрацію іонів Be^{2+} і Cl^- у розчині BeCl_2 з $C_{\text{H}} = 0,06$.

Відповідь: $a_{\text{Be}^{2+}} = 7,5 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $a_{\text{Cl}^-} = 4,26 \cdot 10^{-2}$ моль/л.

287) Обчислити активну концентрацію іонів Cd^{2+} і SO_4^{2-} у розчині CdSO_4 з $C_{\text{M}} = 0,04$.

Відповідь: $a_{\text{Cd}^{2+}} = a_{\text{SO}_4^{2-}} = 6,4 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

288) Обчислити активні концентрації K^+ - і OH^- -іонів у розчині KOH з $C_{\text{M}} = 0,05$.

Відповідь: $a_{\text{K}^+} = a_{\text{OH}^-} = 0,042$ моль/л.

289) Обчислити активні концентрації Ba^{2+} - і OH^- -іонів у розчині $\text{Ba}(\text{OH})_2$ з $C_{\text{M}} = 0,02$.

Відповідь: $a_{\text{Ba}^{2+}} = 0,0065$ моль/л; $a_{\text{OH}^-} = 0,03$ моль/л.

290) Обчислити активні концентрації Mg^{2+} -, SO_4^{2-} і Cl^- -іонів у розчині, що містить MgCl_2 ($C_{\text{M}} = 0,05$) і MgSO_4 ($C_{\text{M}} = 0,01$).

* В задачах 281-300 використати наближений коефіцієнт f , обчислений за формулою (3.28)

- Відповідь: $a_{\text{Mg}^{2+}} = 0,00806$ моль/л; $a_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,00134$ моль/л;
 $a_{\text{Cl}^-} = 0,0605$ моль/л.
- 291) Обчислити активні концентрації K^+ - і SO_4^{2-} -іонів у розчині K_2SO_4 з $C_M = 0,025$.
Відповідь: $a_{\text{K}^+} = 0,0365$ моль/л; $a_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,00708$ моль/л.
- 292) Обчислити активну концентрацію Cd^{2+} - і SO_4^{2-} -іонів у розчині CdSO_4 з $C_H = 0,04$.
Відповідь: $a_{\text{Cd}^{2+}} = a_{\text{SO}_4^{2-}} = 5,4 \cdot 10^{-3}$ моль/л.
- 293) Обчислити активну концентрацію Na^+ - і SO_4^{2-} -іонів у розчині Na_2SO_4 з $C_M = 0,025$.
Відповідь: $a_{\text{Na}^+} = 3,6 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $a_{\text{SO}_4^{2-}} = 7,25 \cdot 10^{-3}$ моль/л.
- 294) Обчислити активну концентрацію Sr^{2+} - і OH^- -іонів у розчині $\text{Sr}(\text{OH})_2$ з $C_M = 0,02$.
Відповідь: $a_{\text{Sr}^{2+}} = 6,4 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $a_{\text{OH}^-} = 3,12 \cdot 10^{-2}$ моль/л.
- 295) Обчислити активну концентрацію Na^+ - і OH^- -іонів у розчині NaOH з $C_H = 0,05$.
Відповідь: $a_{\text{Na}^+} = a_{\text{OH}^-} = 3,9 \cdot 10^{-2}$ моль/л.
- 296) Обчислити активну концентрацію Al^{3+} - і Cl^- -іонів у розчині AlCl_3 з $C_H = 0,06$.
Відповідь: $a_{\text{Al}^{3+}} = 0,000552$ моль/л; $a_{\text{Cl}^-} = 0,0403$ моль/л.
- 297) Обчислити активну концентрацію Ca^{2+} - і Cl^- -іонів у розчині CaCl_2 з $C_H = 0,06$.
Відповідь: $a_{\text{Ca}^{2+}} = 0,00971$ моль/л; $a_{\text{Cl}^-} = 0,0453$ моль/л.
- 298) Обчислити активну концентрацію Zn^{2+} - і SO_4^{2-} -іонів у розчині ZnSO_4 з $C_H = 0,04$.
Відповідь: $a_{\text{Zn}^{2+}} = a_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,0054$ моль/л.
- 299) Обчислити активну концентрацію K^+ -, Na^+ - і Cl^- -іонів у розчині, що містить NaCl ($C_M = 0,01$) і KCl ($C_M = 0,02$).
Відповідь: $a_{\text{Na}^+} = 0,0082$ моль/л; $a_{\text{K}^+} = 0,0164$ моль/л; $a_{\text{Cl}^-} = 0,025$ моль/л.
- 300) Обчислити активні концентрації Al^{3+} - і SO_4^{2-} -іонів у розчині $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ з $C_M = 0,008$.
Відповідь: $a_{\text{Al}^{3+}} = 0,000442$ моль/л; $a_{\text{SO}_4^{2-}} = 0,00487$ моль/л.

Лабораторна робота № 4

Окисно-відновні реакції.

Хімія р-елементів VII-VI A підгруп

4.1 Мета: вивчити окисно-відновні реакції (ОВР), засвоїти методи електронного та іонно-електронного балансів знаходження коефіцієнтів в ОВР, вміти визначати їх напрямом, ознайомитися з хімією р-елементів VII-VI підгруп головних груп

4.2 Короткі теоретичні відомості

Окиснювально-відновні процеси – це реакції, які супроводжуються переходом (або відтягуванням) електронів від одних атомів до інших. Окиснювач (окисник) приймає електрони, сам при цьому відновлюється. Відновлення – приєднання електронів, при цьому ступінь окиснення атома знижується. Відновник віддає електрони, сам при цьому окиснюється. Окиснення – віддача електронів, при цьому ступінь окиснення атома збільшується.

Слід пам'ятати, що атоми елементів, які мають вищий ступінь окиснення, проявляють лише окиснювальні властивості; атоми елементів з нижчим ступенем окиснення – лише відновлювальні властивості, а з проміжним – можуть бути окиснювачами і відновниками. Наприклад,

+6

сульфур у наступних сполуках проявляє властивості: H₂SO₄ – окиснювача,

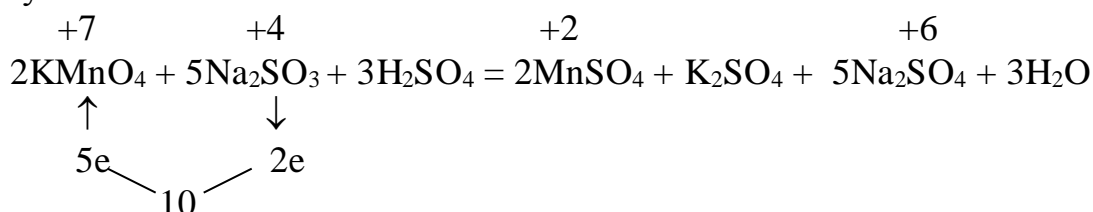
-2 +4

H₂S – відновника, H₂SO₃ – і окиснювача, і відновника.

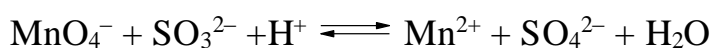
Сила окиснювачів, відновників визначається за рядом напруг металів і рядом окиснювально-відновних потенціалів, який є кількісною характеристикою спорідненості іонів і атомів до електрону.

Напрямок протікання ОВР можна визначити зіставленням окиснювально-відновних (електродних) потенціалів двох пар іонів або атомів, наприклад: $E^0_{Fe^{3+}/Fe^{2+}} = 0,77 \text{ В}$, а $E^0_{Fe^{2+}/Fe^0} = -0,44 \text{ В}$, зазначаючи при цьому, який валентний перехід має місце.

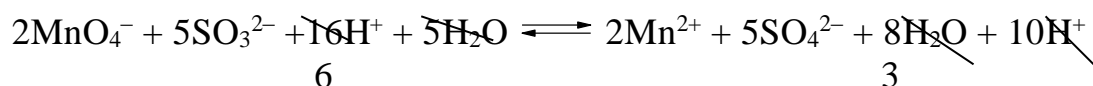
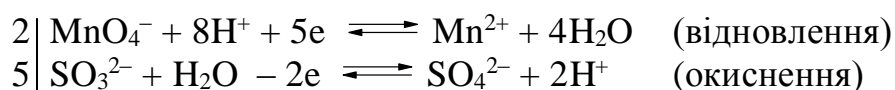
Для розрахунку коефіцієнтів використовують метод електронного балансу:



або іонно-електронний метод, наприклад, для іонної схеми:



напівреакції матимуть вигляд:



Вірність розрахунку коефіцієнтів перевіряють за числом зарядів, яке повинно бути рівним у лівій і правій частинах рівняння. У даному випадку $-6 = -6$.

В таблиці 4.1 наведено правила, за якими урівнюють кількість атомів кисню, враховуючи реакцію середовища.

Еквівалентна маса окиснювача (відновника) дорівнює молекулярній масі його поділений на кількість прийнятих (або відданих) електронів. Так, для $\text{MnO}_4^- / 5$ і $\text{SO}_3^{2-} / 2$ (див. вище).

Для окиснювально-відновних пар E значно залежить від рН, наприклад:



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

Зверніть увагу на характерний ступінь окиснення галогенів: флуор – 0, –1; хлор, бром, йод – -1, 0, +1, +3, +5, +7. Окисна активність підвищується у групі знизу вгору, а відновлювальна – зверху вниз. У ряді водневих сполук галогенів: HF, HCl, HBr, HI зменшується електронегативність, дипольний момент, збільшується сила кислоти та відновлювальна активність до HI. При роботі з флуоридною (плавиковою) кислотою HF потрібно дотримуватися правил техніки безпеки, оскільки вона призводить до важких ушкоджень шкіри. Галогени і їх водневі сполуки пошкоджують дихальні шляхи (особливо отруйний флуор).

Зверніть увагу на найхарактерніший ступінь окиснення елементів підгрупи сульфуру: -2, 0, +2, +4, +6. В ряду водневих сполук H_2S , H_2Se , H_2Te стійкість знижується, а відновлювальна активність та сила кислот зростає до H_2Te . Солі – сульфіді, селеніді і телуріді. Більшість сульфідів не розчиняється у воді, мають різне забарвлення: ZnS – біле, PbS, CuS, FeS, NiS – чорне, CdS – жовте, MnS – рожеве.

В ряду H_2SO_4 , H_2SeO_4 , H_2TeO_4 сила кислот зменшується до H_2TeO_4 . Окиснювальна активність максимальна у селенатної кислоти (менш стійка, ніж сульфатна кислота). Солі – сульфати, селенати, телурати; з них нерозчинні у воді BaSO_4 , SrSO_4 , PbSO_4 .

Таблиця 4.1 – Правила урівнювання кількості атомів кисню

Реакція середовища	Кількість атомів кисню в окисненій або відновленій формі	
	за надлишку	за недостатчі
Кисла	На кожний зайвий атом кисню приписують два іони водню, а у праву частину переносять стільки ж молекул води, скільки може утворитися з даної кількості іонів водню (із $2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O}$) Наприклад: $\text{MnO}_4^- + 8\text{H}^+ \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	На кожний атом кисню, якого бракує, приписують молекулу води, а у праву частину переносять стільки ж іонів водню, скільки може утворитися з даної кількості молекул води (із $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+$)
Нейтральна	На кожний зайвий атом кисню приписують молекулу води, а у праву частину переносять стільки ж гідроксил-іонів, скільки може утворитися з даної кількості молекул води (із $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{OH}^-$) Наприклад: $\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	На кожний атом кисню, якого бракує, приписують молекулу води, а у праву частину переносять стільки ж іонів водню, скільки може утворитися з даної кількості молекул води (із $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+$) $\text{SO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$
Лужна	На кожний зайвий атом кисню приписують молекулу води, а у праву частину переносять стільки ж гідроксил-іонів, скільки може утворитися з даної кількості молекул води (із $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{OH}^-$) Наприклад: $\text{ClO}_3^- + 3\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Cl}^- + 6\text{OH}^-$	На кожний атом кисню, якого бракує, приписують два гідроксил-іони, а у праву частину переносять стільки ж молекул води, скільки може утворитися з даної кількості гідроксил-іонів (із $2\text{OH}^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}$)

Стандартні потенціали деяких металічних і газових електродів, а також деякі стандартні окисно-відновні потенціали наведені у додатку І.

4.3 Експериментальна частина

4.3.1 Витіснення одних галогенів іншими із сполук

4.3.1.1 В пробірку з 1-2 мл розчину калій броміду додайте 1-2 мл хлорної води і перемішайте. Краплю одержаного розчину нанесіть на папір, насичений розчином крохмалю і KI. На що вказує поява синього кольору? Додайте 1-2 мл бензену (C_6H_6) і збовтайте суміш. У який колір забарвлюється бензеновий шар.

4.3.1.2 У дві пробірки налейте 1-2 мл розчину калій йодиду і додайте в одну – хлорної, а у другу – бромної води (1-2 мл). Що спостерігається? Складіть рівняння реакцій.

4.3.1.3 Помістіть у пробірку кілька кристаликів йоду, додайте 1-2 мл води і добре збовтайте. Зробіть висновок, чи добре йод розчиняється у воді. Додайте до розчину кілька кристаликів KI і добре збовтайте. Розчинність йоду збільшується за рахунок утворення комплексної сполуки KI_3 або $K[I(I_2)]$.

До розчину додайте 0,5-1 мл бензену (толуену, хлороформу). У який колір забарвлюється органічний шар після збовтування? Чим пояснити інтенсивніше забарвлення цього шару порівняно з забарвленням нижнього водного розчину?

4.3.2 Взаємодія сульфатної кислоти з металами

4.3.2.1 У три пробірки налейте 1-2 мл розбавленої сульфатної кислоти (1:3) і додайте в першу гранулку цинку, в другу – кусочок мідного дроту, в третю – маленький залізний цвях. Що спостерігається у кожній пробірці? Складіть рівняння реакцій.

4.3.2.2 В пробірку помістіть шматочок мідного дроту і обережно додайте 1 мл концентрованої сульфатної кислоти (витяжна шафа!). Закріпіть пробірку у затискачі, легенько нагрійте її, тримаючи отвором всередину шафи. Після цього охолодіть пробірку і її вміст перелийте у стакан з 5-8 мл води. На що вказує поява блакитного кольору розчину? Складіть рівняння реакції.

4.3.2.3 Проведіть аналогічний дослід з шматочком цинку. До отвору пробірки піднесіть смужку фільтрувального паперу, змоченого розчином плюмбум (II) ацетату. На що вказує чорний колір паперу?

4.3.2.4 Налийте у пробірку 1-2 мл сірководневої води і потім кілька крапель хлорної води. Напишіть рівняння реакції, враховуючи, що при цьому виділяється вільна сірка.

4.3.2.5 Налийте у пробірку 1-2 мл розчину $K_2Cr_2O_7$, додайте кілька крапель сульфатної кислоти і потім 1-2 мл розчину натрій сульфіді. Спостерігайте зміну забарвлення розчину. Складіть рівняння реакції.

4.4 Контрольні завдання

4.4.1 Визначити ступінь окиснення:

301) сульфуру у сполуках: H_2S , H_2SO_3 , H_2SO_4 , H_2SO_2 , CS_2 , $H_2S_2O_5$, $H_2S_2O_7$, MgS .

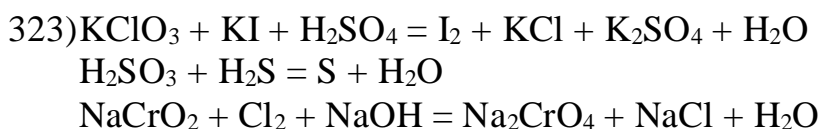
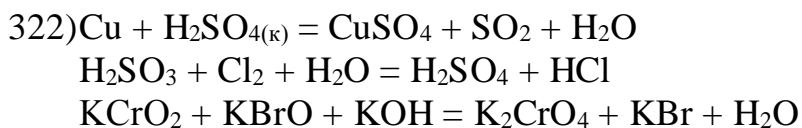
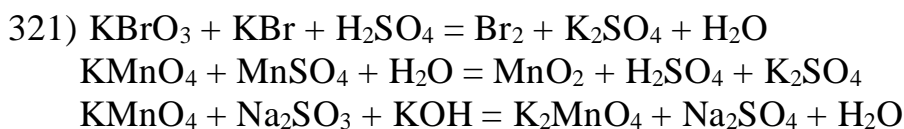
302) мангану у сполуках: MnO , Mn_2O_3 , MnO_2 , MnO_3 , Mn_2O_7 , K_2MnO_3 , K_2MnO_4 , $KMnO_4$.

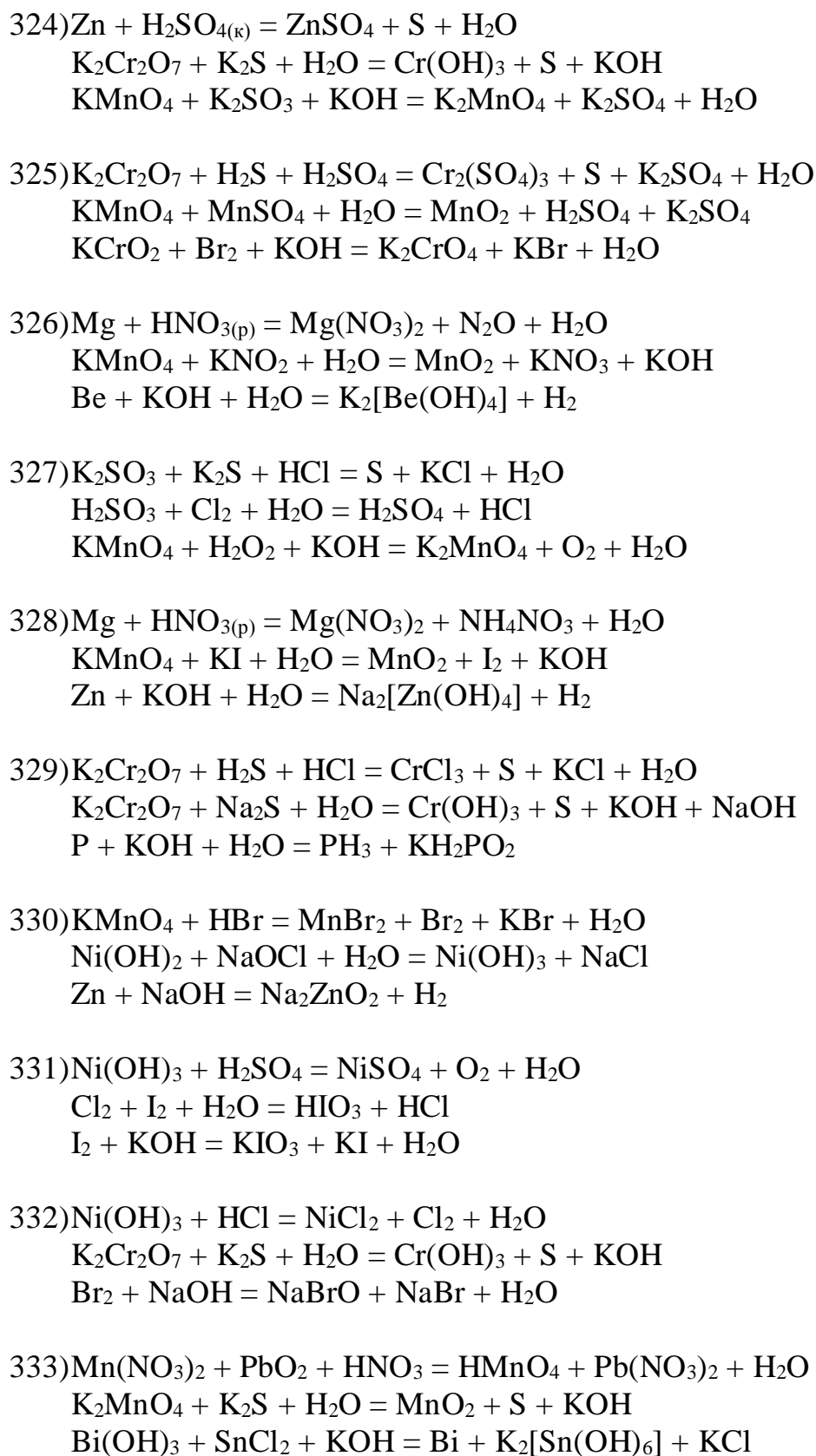
303) хрому у сполуках: CrO , Cr_2O_3 , CrO_3 , $KCrO_2$, K_2CrO_4 , $K_2Cr_2O_7$, $Mg(CrO_2)_2$, Cr_2S_3 .

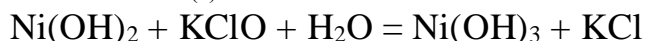
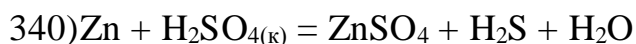
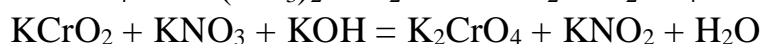
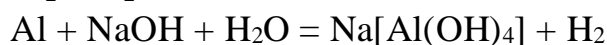
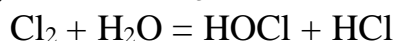
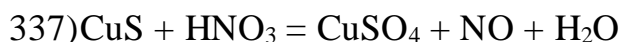
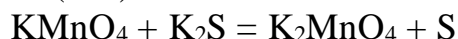
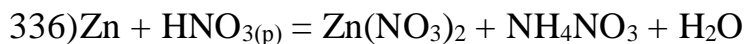
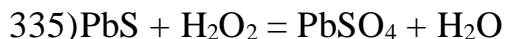
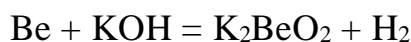
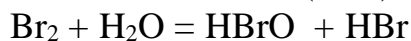
304) бром у сполуках: HBr , $KBrO$, $KBrO_3$, $KBrO_4$, $AlBr_3$, Br_2O , BrO_2F .

- 305) фосфору у сполуках: PH_3 , K_3PO_4 , K_2HPO_4 , KH_2PO_4 , K_2HPO_3 , KH_2PO_2 , $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$.
- 306) феруму у сполуках: FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , KFeO_2 , K_2FeO_4 , $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, FeCl_2 .
- 307) нітрогену у сполуках: NH_3 , NH_4Cl , N_2O_3 , NO_2 , NaNO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, N_2O , NaNO_2 .
- 308) хлору у сполуках: HCl , HClO , HClO_2 , HClO_3 , HClO_4 , Cl_2O , ClO_2 , Cl_2O_7 .
- 309) йоду у сполуках: KI , KIO , KIO_3 , KIO_4 , I_2O_5 , ICl , I_2 .
- 310) арсену у сполуках: AsH_3 , HAsO_2 , H_3AsO_3 , HAsO_3 , H_3AsO_4 , $\text{H}_4\text{As}_2\text{O}_7$, AsCl_5 .
- 311) селену у сполуках: H_2Se , SeO_2 , SeO_3 , H_2SeO_3 , H_2SeO_4 , Na_2Se , CSe_2 , BaSe .
- 312) ніколу у сполуках: NiO , $\text{Ni}(\text{OH})_2$, Ni_2O_3 , $\text{Ni}(\text{OH})_3$, $\text{Ni}(\text{ClO}_4)_2$, $\text{Ni}(\text{CN})_2$, NiSO_4 .
- 313) плюмбуму у сполуках: PbO , PbO_2 , Pb_3O_4 , $\text{Pb}(\text{OH})_2$, K_2PbO_3 , PbCrO_4 , $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$.
- 314) стибію у сполуках: Sb_2O_3 , Sb_2O_5 , Sb_2O_4 , NaSbO_2 , Na_3SbO_4 , SbOCl , KSbO_3 .
- 315) фосфору у сполуках: PH_3 , K_3PO_4 , K_2HPO_4 , KH_2PO_4 , PCl_3 , PCl_5 , CaHPO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$.
- 316) нітрогену у сполуках: NH_3 , N_2H_4 , NH_2OH , $(\text{NH}_4)_2\text{S}$, NH_4NO_3 , $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, N_2O , KNO_2 .
- 317) титану у сполуках: TiO_2 , H_2TiO_3 , $\text{Ti}_2(\text{SO}_4)_3$, Na_4TiO_4 , $\text{Ti}(\text{OH})_3$, TiH_2 , TiOCl_2 , $\text{Ti}(\text{SO}_4)_2$.
- 318) магнію у сполуках: MgO , MgO_2 , $\text{Mg}(\text{ClO}_4)_2$, MgSO_4 , MgH_2 , $(\text{MgOH})_2\text{CO}_3$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, $[\text{Mg}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{SO}_4$.
- 319) кобальту у сполуках: CoO , Co_2O_3 , $[\text{Co}_2(\text{CO})_8]$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$, CoCl_3 , $\text{Co}(\text{OH})_3$, $\text{Na}_2[\text{Co}(\text{CN})_4]$.
- 320) молібдену у сполуках: MoS_2 , MoO_3 , Mo , K_2MoO_4 , Na_2MoS_4 , MoS_3 , MoOF_4 , PbMoO_4 .

4.4.2 Методом іонно-електронного балансу знайти коефіцієнти у рівняннях реакцій

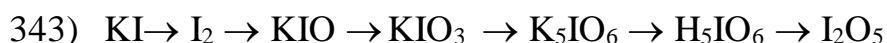
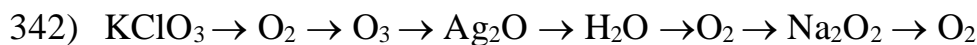
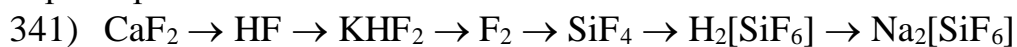






4.4.3 Хімічні ланцюги

Скласти рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити такі перетворення:



- 347) $\text{KBr} \rightarrow \text{Br}_2 \rightarrow \text{BrF}_3 \rightarrow \text{HBrO}_3 \rightarrow \text{HBr} \rightarrow \text{AgBr} \rightarrow \text{Br}_2$
- 348) $\text{S} \rightarrow \text{S}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{SO}_2 \rightarrow \text{SOCl}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{S}_2\text{O}_8 \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$
- 349) $\text{KIO}_3 \rightarrow \text{KI} \rightarrow \text{I}_2 \rightarrow \text{HIO}_3 \rightarrow \text{I}_2 \rightarrow \text{INO}_3 \rightarrow \text{I}(\text{NO}_3)_3$
- 350) $\text{Te} \rightarrow \text{TeO}_2 \rightarrow \text{H}_6\text{TeO}_6 \rightarrow \text{TeO}_3 \rightarrow \text{TeO}_2 \rightarrow \text{H}_2[\text{TeI}_6]$
- 351) $\text{KClO}_3 \rightarrow \text{ClO}_2 \rightarrow \text{Cl}_2\text{O}_6 \rightarrow \text{KClO}_3 \rightarrow \text{KCl} \rightarrow \text{Cl}_2 \rightarrow \text{S}_2\text{Cl}_2$
- 352) $\text{H}_2\text{Se} \rightarrow \text{Se} \rightarrow \text{K}_2\text{Se} \rightarrow \text{K}_2\text{SeO}_4 \rightarrow \text{H}_2\text{SeO}_4 \rightarrow \text{Se} \rightarrow \text{SeF}_4$
- 353) $\text{HBr} \rightarrow \text{KBr} \rightarrow \text{Br}_2 \rightarrow \text{NaBrO} \rightarrow \text{NaBrO}_3 \rightarrow \text{NaBrO}_4$
- 354) $\text{FeS}_2 \rightarrow \text{SO}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{S} \rightarrow \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{S} \rightarrow \text{S}_2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{SO}_2 \rightarrow \text{SO} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_2$
- 355) $\text{F}_2 \rightarrow \text{OF}_2 \rightarrow \text{HF} \rightarrow \text{KHF}_2 \rightarrow \text{F}_2 \rightarrow \text{NF}_3$
- 356) $\text{Se} \rightarrow \text{Na}_2\text{Se} \rightarrow \text{H}_2\text{Se} \rightarrow \text{H}_2\text{SeO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SeO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SeO}_4 \rightarrow \text{SeO}_3$
- 357) $\text{KHF}_2 \rightarrow \text{F}_2 \rightarrow \text{NF}_3 \rightarrow \text{SiF}_4 \rightarrow \text{K}_2[\text{SiF}_6]$
- 358) $\text{Te} \rightarrow \text{Al}_2\text{Te}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{Te} \rightarrow \text{Te} \rightarrow \text{TeO}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{TeO}_3 \rightarrow \text{H}_6\text{TeO}_6$
- 359) $\text{Cl}_2 \rightarrow \text{HClO} \rightarrow \text{HClO}_3 \rightarrow \text{ClO}_2 \rightarrow \text{NaClO}_2 \rightarrow \text{NaCl} \rightarrow \text{Cl}_2$
- 360) $\text{Mn}_2\text{O}_7 \rightarrow \text{O}_2 \rightarrow \text{O}_3 \rightarrow \text{HgO} \rightarrow \text{O}_2 \rightarrow \text{KO}_2 \rightarrow \text{KOH} \rightarrow \text{O}_2$

4.4.4 Задачі для самостійного розв'язання

- 361) При нагріванні 62,2 г калій перманганату одержали 3,36 л кисню. Визначити ступінь розкладу KMnO_4 і склад твердого залишку.
Відповідь: 76,2%; 14,8 г KMnO_4 ; 29,55 г K_2MnO_4 ; 13,05 г MnO_2 .
- 362) Обчислити, яку кількість бертолетової солі KClO_3 можна одержати із 168 г калій гідроксиду.
Відповідь: 61,25 г.
- 363) Який об'єм кисню виділиться із 400 г 3%-ного розчину H_2O_2 за його повного розкладу (н.у.)?
Відповідь: 3,95 л.
- 364) Визначити відсотковий вміст KMnO_4 у солі, якщо при дії на 20 г її концентрованим розчином HBr одержано 40 г бром (враховуючи, що

виділився увесь бром).

Відповідь: 79%.

365) Скільки грамів 20%-ного розчину NaHSO_3 потрібно для виділення усього йоду із 1,6 л розчину NaIO_3 з $C_H = 0,4$? В результаті реакції утворюється натрій гідрогенсульфат і натрій сульфат.

Відповідь: 832 г.

366) Визначити склад суміші, що одержується при сплавленні 28 г залізних ошурків і 24 г порошкоподібної сірки.

Відповідь: 44 г FeS ; 8 г S .

367) На окиснення йоду витрачено 2,34 л хлору (н.у.) Скільки йодатної кислоти HIO_3 утворилося при цьому?

Відповідь: 7,35 г.

368) При взаємодії бромиду з розчином соди при нагріванні утворюється бромід і бромат натрію. Скільки кг бромиду буде витрачено на взаємодію з 1 м³ 14%-ного розчину Na_2CO_3 (густина 1,15 г/см³)? Який об'єм CO_2 (н.у.) виділиться при цьому?

Відповідь: 243 кг; 34 м³.

369) 1 грам активованого вугілля поглинає 0,36 г хлору. Який об'єм (н.у.) повітря, що містить три об'ємних відсотки хлору, можна очистити, якщо пропускати його через протигаз, у якому міститься 50 г активованого вугілля?

Відповідь: 189,3 л.

370) До 200 мл розчину купрум (II) сульфату додали розчин калій йодиду, при цьому утворилося 10,16 г йоду. Обчислити молярну концентрацію CuSO_4 .

Відповідь: $C_M = 0,4$.

371) Оксид хлору містить 47,42 г кисню. Густина пари його за воднем 33,73. Знайдіть формулу оксиду.

Відповідь: ClO_2 .

372) У 100 г води за 20 °С розчиняється 3,6 г бромиду. Скільки грамів бромної води потрібно для окиснення 7,6 г FeSO_4 у розчині H_2SO_4 ?

Відповідь: 111 г.

373) Деяку кількість хлорного вапна додали до підкисленого розчину KI . Маса йоду, що виділилася, дорівнює 0,258 г. Скільки активного хлору міститься у зразку хлорного вапна?

Відповідь: 0,072 г.

374) У зразку чилійської селітри міститься 0,2% домішок NaIO_3 . Обчислити, скільки йоду можна добути із 1 тонни цієї селітри.

Відповідь: 1,28 кг.

375) Який об'єм 6%-ного розчину KBrO_3 (густина 1,04 г/см³) потрібно для окиснення 50 мл розчину FeSO_4 з $C_M = 0,75$ у розчині H_2SO_4 ?

Відповідь: 16,7 мл.

376) Обчислити об'єм хлору (н.у.), який виділиться при обробці концентрованою хлоридною (соляною) кислотою 80 г KMnO_4 , що містить 1,25% домішок, які не взаємодіють з кислотою.

Відповідь: 28 л.

377) До розчину, що містить 11,9 г калій броміду, додали 20 г аргентум (I) нітрату. Одержаний осад AgBr відфільтрували. Що міститься у фільтраті і в якій кількості?

Відповідь: 3,0 г AgNO_3 ; 10,1 г KNO_3 .

378) Обчислити відсотковий вміст KIO_3 у розчині, якщо 3,21 г розчину, що реагує з надлишком KI у розчині H_2SO_4 , утворює 0,635 г йоду.

Відповідь: 5,55%.

379) Скільки грамів йоду виділиться при взаємодії розчину KI зі 150 мл 6%-ного розчину KMnO_4 (густина $1,04 \text{ г/см}^3$) у кислому середовищі?

Відповідь: 37,6 г.

380) Скільки сульфатної (сірчаної) кислоти можна одержати із 1 тонни залізного колчедану, що містить 45% FeS_2 ?

Відповідь: 735 кг.

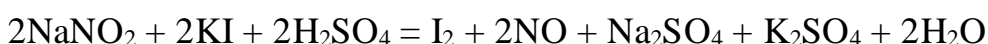
Лабораторна робота № 5

Хімія р-елементів V-III А підгруп

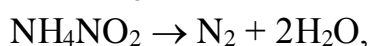
5.1 Мета: вивчити властивості р-елементів V-III А підгруп головних груп та їх важливіших сполук

5.2 Короткі теоретичні відомості

Зверніть увагу, що оксиди нітрогену N_2O , NO – несолетвірні, тоді як N_2O_3 , NO_2 , N_2O_5 , – кислотні. Нітритна (азотиста) кислота HNO_2 – електроліт середньої сили ($K = 4 \cdot 10^{-4}$), її солі нітрити, активні відновники, але проявляють і властивості окисників:



Найбільше значення має нітратна (азотна) кислота HNO_3 , активний окисник ($E_{\text{NO}_3^-/\text{NO}_2^-} = + 1,88 \text{ В}$; $E_{\text{NO}_3^-/\text{NO}} = + 0,96 \text{ В}$). Солі – нітрати, нетермостійкі, розкладаються відповідно до ряду активностей: від літію до магнію : $2\text{MeNO}_3 \rightarrow 2\text{MeNO}_2 + \text{O}_2$; від магнію до міді (включно):



а також: $4\text{LiNO}_3 \rightarrow \text{Li}_2\text{O} + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$ (виняток).

Зверху вниз по групі зростають металічні властивості.

Стійкість водневих сполук $\text{NH}_3 \rightarrow \text{PH}_3 \rightarrow \text{AsH}_3 \rightarrow \text{SbH}_3 \rightarrow \text{BiH}_3$ зліва направо знижується. Крім NH_3 , усі інші гідриди одержують непрямим

шляхом. Солі амонію NH_4^+ термічно нестійкі, розкладаються з виділенням NH_3 і відповідної кислоти: $\text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{NH}_3 + \text{HCl}$, крім NH_4NO_3 , NH_4NO_2 та $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Важливе значення мають нітриди: солетворні (Mg_3N_2 , Na_3N); ковалентні (BN , AlN) та металопоподібні (TiN).

Сполуки нітрогену і фосфору – важливіші добрива: NH_4NO_3 , KNO_3 , NaNO_3 – амонійна, калійна і натрієва селітри; CaCN_2 – кальцій ціанамід; $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ – сечовина; $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ – фосфоритне борошно; $2\text{CaSO}_4 + \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ – суперфосфат; $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ – подвійний суперфосфат; $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – преципітат та ін.

Зверніть увагу, що оксиди CO і SiO – несолетвірні, тоді як CO_2 і SiO_2 – кислотні, яким відповідають карбонатна та силікатна кислоти H_2CO_3 і H_2SiO_3 ($x\text{SiO}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$). Важливе практичне значення мають солеподібні карбіди – CaC_2 , Al_4C_3 , карбіди включення з d-металами (Ti , Ta та ін.) і ковалентні карбіди – SiC , B_4C .

Оксиди германію, стануму і плюмбуму – GeO , SnO і PbO , їх гідроксиди – $\text{Ge}(\text{OH})_2$, $\text{Sn}(\text{OH})_2$, $\text{Pb}(\text{OH})_2$ – амфотерного характеру, діоксиди GeO_2 , SnO_2 , PbO_2 і відповідні їм гідроксиди, володіють в основному кислотними властивостями, які послаблюються від германію до плюмбуму.

Оксид бору B_2O_3 кислотного характеру. Важливіші сполуки бору – це ортоборатна кислота H_3BO_3 і бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. При переході до алюмінію металічні властивості різко зростають, оксид і гідроксид алюмінію є амфотерними сполуками.

5.3 Експериментальна частина

5.3.1 Окиснювально-відновні властивості солей нітритної кислоти

5.3.1.1 До 1-2 мл розчину KMnO_4 , підкисленого розчином сульфатної кислоти (1-2 мл), додайте 1-2 мл розчину натрій нітриту. Чим пояснити зникнення забарвлення розчину KMnO_4 ? Складіть рівняння реакції.

5.3.1.2 До розчину калій йодиду (1-2 мл), підкисленого сульфатною кислотою, додайте 1-2 мл розчину натрій нітриту. Чим пояснити забарвлення рідини у коричневий колір? Напишіть рівняння реакції.

5.3.1.3 В одній пробірці збовтайте з водою 0,1-0,2 г манган діоксиду, у другій – плюмбум діоксиду. У кожену пробірку додайте 1-2 мл розведеної HNO_3 . Розчинні осадки чи ні? Додайте в пробірки розчин натрій нітриту. Що спостерігається? Напишіть рівняння реакцій. Зробіть висновок, що окиснюється і що відновлюється. Чому NO_2^- -іон проявляє двоїсту природу?

5.3.2 Властивості нітратної кислоти

В усіх дослідах з нітратною кислотою слід дотримуватися надзвичайної обережності: уникати попадання кислоти на незахищені частини тіла (реакція на білок!), а самі досліди проводити у витяжній шафі.

5.3.2.1 Кілька крапель нітратної кислоти (конц.) перенесіть на клаптик забарвленої тканини. Змочене кислотою місце знебарвлюється і швидко руйнується.

5.3.2.2 У дві пробірки помістіть по 1-2 мл невеликих шматочків мідної стружки, в одну прилийте 1-2 мл HNO_3 (густиною $1,2 \text{ г/см}^3$), а у другу - HNO_3 (густиною $1,4 \text{ г/см}^3$). Чи спостерігається різниця у взаємодії Cu з кислотою у пробірках? Складіть рівняння реакцій.

5.3.2.3 Налийте у пробірку 1-2 мл сильно розведеної HNO_3 і додайте 0,05-0,1 г цинкового пилу, закрийте пробірку гумовою пробкою. Вміст пробірки енергійно збовтайте протягом кількох хвилин, після чого рідину профільтруйте. До фільтрату додайте надлишок концентрованого розчину лугу і нагрійте приблизно до кипіння. Якщо до отвору пробірки піднести вологий червоний лакмусовий папір, він забарвлюється у синій колір. Чим можна пояснити це явище? Складіть рівняння реакцій за стадіями.

5.3.3 Властивості сполук Ві

5.3.3.1 Відновлення V^{3+} -іонів. Додайте у пробірку 2-3 краплі розчину станум (II) хлориду і потім краплями розчин їдкового лугу до тих пір, доки осад станум дигідроксиду не розчиниться. Додайте до одержаного розчину 1 краплю розчину солі V^{3+} – з'являється чорний осад елементарного бісмуту. Складіть рівняння реакцій.

5.3.3.2 Одержання комплексної солі калій тетраїodobісмутату (III). Додайте у пробірку 1-2 краплі концентрованого розчину $\text{V}(\text{NO}_3)_3$, підкисліть його декількома краплями HNO_3 , додайте 2-3 краплі розчину KI , чорний осад VI_3 розчиниться у надлишку розчину KI . Складіть рівняння реакцій.

5.3.4 Властивості сполук Са

5.3.4.1 Властивості кальцій карбїду. (Дослід проводять під витяжною шафою!). Помістіть у пробірку декілька крупинок кальцій карбїду і додайте потім води. Складіть рівняння реакції. Дайте характеристику відомим Вам карбїдам.

5.4.3.2 Налийте у три пробірки 0,5-1 мл розчину солей Ca^{2+} , Ba^{2+} і Pb^{2+} , потім додайте до них розчин Na_2CO_3 . Напишіть рівняння реакцій і опишіть характер (колір, вигляд) осадів.

5.3.5 Властивості сполук Sn

5.3.5.1 У дві пробірки помістіть по 2-3 краплі розчинів Sn^{2+} і Pb^{2+} , додайте по 1-2 краплі розчину NaOH . Дослідіть амфотерність одержаних гідроксидів стануму і плюмбуму.

5.3.5.2 До порошку PbO_2 додайте концентрованої HCl і нагрійте до кипіння. Як змінюється колір осаду? Напишіть рівняння реакції.

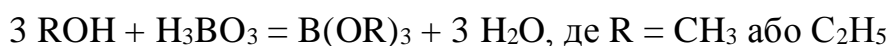
5.3.5.3 У пробірку налейте 1-2 мл розчину SnCl_2 і краплями додайте розчин HgCl_2 . Випадає білий осад каломелі Hg_2Cl_2 , який реагує з надлишком SnCl_2 . Напишіть рівняння реакцій.

5.3.5.4 У три пробірки налейте по 1-2 мл розчину $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ і подійте розчинами: у першій – сульфатної кислоти, у другій – калій йодиду, у третій – хлоридної кислоти. Опишіть колір осадів, які утворилися. Напишіть рівняння реакцій.

5.3.6 Властивості сполук В

5.3.6.1 У пробірку налейте 4-5 крапель розчину бури $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$, обережно (витяжна шафа!) прилийте 2-3 краплі концентрованої сульфатної кислоти. При охолодженні випадають білі кристали ортоборатної кислоти H_3BO_3 . До яких електролітів вона належить?

5.3.6.2 У невелику порцелянову чашку (витяжна шафа!) покладіть 2-3 кристали ортоборатної кислоти, потім додайте 2-3 краплі концентрованої сульфатної кислоти та 10-15 крапель спирту, суміш розмішайте і підпаліть. Полум'я зеленого кольору, яке характерне для полум'я борнометилового (етилового) естеру $\text{B}(\text{OR})_3$, вказує на наявність бору.



Напишіть рівняння реакції горіння цього естеру.

5.3.6.3 Розчиніть у дистильованій воді кілька кристалів бури і випробуйте розчин універсальним індикаторним папірцем. Яка реакція водного середовища бури? Напишіть рівняння реакції гідролізу бури.

5.3.7 Властивості сполук Al

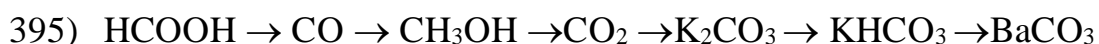
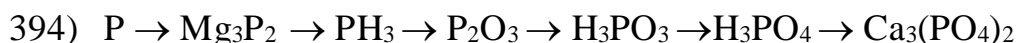
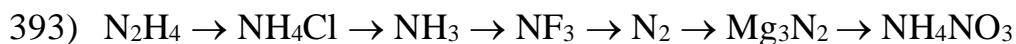
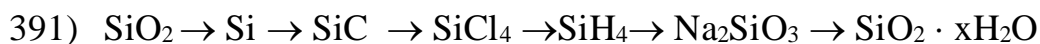
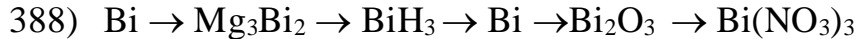
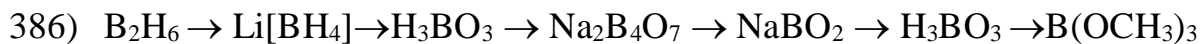
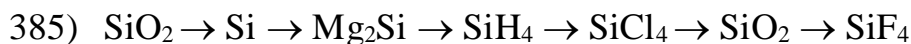
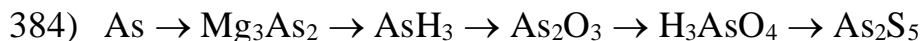
5.3.7.1 Дія лугів і кислот на алюміній (витяжна шафа!). Помістіть у три пробірки небагато алюмінієвої стружки або дроту і додайте у першу 30%-ний розчин NaOH , у другу – розведеної HCl , у третю – концентровану HNO_3 (2-3 краплі у кожному випадку). Пробірки з розчинами лугу і нітратної кислоти нагрійте. У концентрованій HNO_3 алюміній пасивнішає. Напишіть рівняння реакцій.

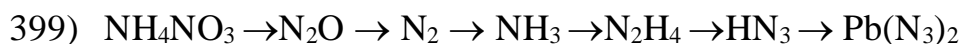
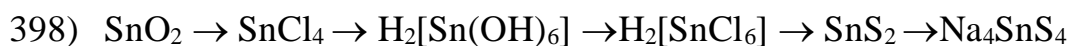
5.3.7.2 Перевірте універсальним індикаторним папірцем реакцію середовища водного розчину діалюміній трисульфату. Напишіть рівняння реакції гідролізу цієї солі (к. ч. 6).

5.4 Контрольні завдання

5.4.1 Хімічні ланцюги

Складіть рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити наступні перетворення:





5.4.2 Задачі для самостійного розв'язання

401) На нейтралізацію продуктів гідролізу натрій амідю NaNH_2 витрачено 23,5 мл розчину HCl з $C_H = 0,5$. Обчисліть кількість натрій амідю, яка вступила у реакцію нейтралізації.

Відповідь: 0,229 г.

402) На нейтралізацію продуктів гідролізу фосгену COCl_2 витрачено 27,5 мл розчину луку з $C_H = 0,524$. Обчислити об'єм (н.у.) фосгену, який піддали гідролізу (врахувати нейтралізацію лише HCl).

Відповідь: 0,161 л.

403) Для виробництва цементу використовують вапняк, який містить 92% CaCO_3 , і глину, що містить 48% SiO_2 . Скільки глини потрібно взяти на 1 тону цементу, щоб у ньому оксид SiO_2 становив 22%? Скільки відсотків при цьому становитиме оксид CaO ?

Відповідь: глини 458 кг; CaO – 27,91 %.

404) Обчислити середню добову потребу у вапняку содового заводу, що працює за сульфатним способом з середньою місячною продуктивністю 2400 тонн кристалічної соди. При розрахунках прийняти вміст CaCO_3 у вапняку 85% і втрати у виробництві 10%.

Відповідь: 98,69 тонни.

405) Обчислити витрати фосфориту, який містить 40% P_2O_5 , кремнезему і коксу, що необхідні для добування 1 тонни фосфору, якщо вихід готового продукту становить 80% теоретично можливого. Побічні продукти реакції CO і CaSiO_3 .

Відповідь: 7,157 тонни; 3,62 тонни; 1,21 тонни.

406) Наважку Sn масою 0,2374 г повністю розчинили у нітратній (азотній) кислоті (густина 1,4 г/см³). Обчисліть: а) скільки грамів β -олов'яної кислоти утворилося при цьому; б) скільки літрів нітроген (IV) оксиду виділилося?

Відповідь: а) 0,3374 г; б) 0,1792 л.

407) У виробництві кальцинованої соди аміачним способом водний розчин NaCl насичується NH_3 і CO_2 , осад NaHCO_3 , що утворюється при цьому, відфільтровують і прожарюють. Обчисліть витрати сировини – об'єм розсолу з вмістом 300 г NaCl на 1 л, NH_3 і CO_2 (у м³ за н.у.), які необхідні для виробництва 1 тонни кальцинованої соди, враховуючи, що лише 2/3 NaCl перетворюється у соду, а CO_2 , що утворюється при прожарюванні NaHCO_3 , без втрат повертається у виробничий цикл.

Відповідь: 5,517 м³; 422,46 м³ NH_3 ; 211,23 м³ CO_2 .

- 408) До розчину, що містить 32 г натрій гідроксиду, додали 42,6 г P_2O_5 , після чого об'єм розчину став 800 мл. Визначте молярну концентрацію солей, що утворилася.
Відповідь: $C_{M(NaH_2PO_4)}=0,5$; $C_{M(Na_2HPO_4)}=0,25$.
- 409) Який об'єм газової суміші (н.у.), що містить 11% NH_3 , потрібно для одержання 1 тонни нітратної (азотної) кислоти за відсутності втрат нітрогену?
Відповідь: 3230 м³.
- 410) Які матеріали і у якій кількості необхідні для одержання 1 тонни карборунду SiC?
Відповідь: SiO₂ – 1,5 тонни; C – 0,9 тонни.
- 411) Якщо пропускати водяну пару над розжареним вугіллям, то утворюється карбон (II) оксид і водень. Який об'єм "водяного" газу добувають із 6 кг вугілля?
Відповідь: 22,4 м³.
- 412) Скільки грамів Si, масова частка домішок у якому становить 8%, вступило у реакцію з натрій гідроксидом, якщо при цьому утворилося 5,6 л водню (н.у.)?
Відповідь: 3,8 г.
- 413) Обчислити об'єм розчину AgNO₃ з $C_H = 0,25$, який потрібно витратити для одержання Cl⁻-іонів, що одержуються внаслідок гідролізу 200 мл фосгену COCl₂ (н.у.).
Відповідь: 71,3 мл.
- 414) У результаті окиснення фосфору 60%-ним розчином HNO₃ (густина 1,373 г/см³) отримано 19,6 г ортофосфатної кислоти. Обчисліть об'єм розчину HNO₃, витрачений на окиснення фосфору.
Відповідь: 25,49 мл.
- 415) Скільки тонн амоній нітрату потрібно змішати із 1 тонною амоній сульфату для одержання добрива, яке містить 30% азоту?
Відповідь: 1,76 тонни.
- 416) Виходячи із складу скла Na₂O · CaO · 6SiO₂ обчисліть, у яких кількостях необхідно взяти вихідні речовини для виготовлення 1 тонни скла?
Відповідь: 0,2218 тонни Na₂CO₃; 0,209 тонни CaCO₃; 0,754 тонни SiO₂.
- 417) Скільки бору міститься у 1 м³ 3%-ного розчину ортоборатної кислоти (густина 1,011 г/см³)?
Відповідь: 5,38 кг.
- 418) Скільки кілограмів ортоборатної кислоти H₃BO₃ і який об'єм 23%-ного розчину Na₂CO₃ (густина 1,25 г/см³) необхідно витратити для одержання 1 тонни бури Na₂B₄O₇ · 10H₂O?
Відповідь: 649,21 кг; 965,17 л.

419) На реакцію з 0,3824 г $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ витрачено 20,5 мл розчину HCl . Обчисліть C_{H} хлоридної (соляної) кислоти.

Відповідь: $C_{\text{H}} = 0,977$.

420) При сплавленні 71 г суміші силіцій (IV) оксиду і соди маса суміші зменшилася до 57,8 г. Визначте склад взятої і одержаної сумішей, якщо при дії на сплав кислотою виділяється карбон (IV) оксид.

Відповідь: 18 г SiO_2 ; 53 г Na_2CO_3 ; 36,6 г Na_2SiO_3 ; 21,2 г Na_2CO_3 .

Лабораторна робота № 6

Хімія d-елементів

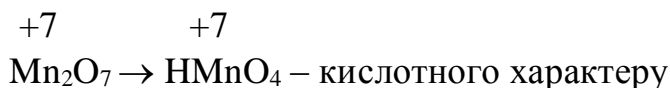
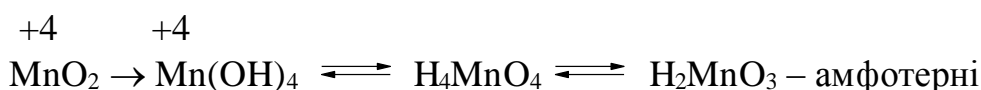
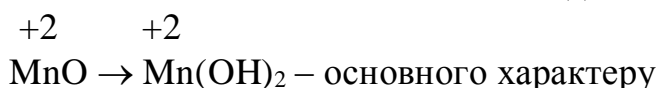
6.1 Мета: вивчити властивості важливіших d-елементів та їх сполук.

6.2 Короткі теоретичні відомості

Звернути увагу, що всі d-елементи – метали з високою твердістю, тугоплавкістю, значною електропровідністю та високою комплексоутворюючою здатністю. Для кожної декади d-елементів найстійкішими є електронні конфігурації d^0 (Sc, Y, La), d^5 (Mn, Tc, Re) і d^{10} (Zn, Cd, Hg), тому є стійкими і Ti^{4+} (d^0), Fe^{3+} (d^5), Zn^{2+} (d^{10}).

В утворенні хімічних зв'язків беруть участь спочатку s-електрони зовнішнього шару, а потім d-електрони передзовнішнього енергетичного рівня (виняток – підгрупа цинку і Pd – $4d^{10}5s^0$). Цим пояснюється великий набір їх валентних станів, тобто широкі діапазони зміни окисно-відновних і кислотно-основних властивостей d-елементів.

Полярність зв'язків у сполуках зі зростанням ступеня окиснення (ст. окис.) зменшується: для ст. окис. 1 і 2 – зв'язок близький до іонного; для максимального ст. окис. – наближається до ковалентного.



Багато сполук d-елементів мають змінний склад, особливо оксиди, сульфіди, нітриди, карбіди, силіциди, фосфіди і галогеніди. З воднем утворюють сполуки втілення (клатрати), які зберігають велику електропровідність, металічний блиск.

6.3 Експериментальна частина

6.3.1 Властивості Cr та його сполук

6.3.1.1 У пробірку помістіть 0,5-1 г порошку хрому, налейте 1-2 мл хлоридної кислоти і нагрійте. У який колір забарвлюється розчин? Напишіть рівняння реакції.

6.3.1.2 Опустіть пластинку хрому в розчин концентрованої HNO_3 і витримайте 5-6 хв, потім обмийте її водою, опустіть у пробірку з HCl . Чи відбувається виділення водню? Чому? Напишіть рівняння реакції.

6.3.1.3 В пробірку з сіллю хрому (III) додайте 1-2 краплі розчину NaOH . Дослідіть розчинність $\text{Cr}(\text{OH})_3$ у кислотах і надлишку лугу. У якому випадку утворюється комплексна сполука?

6.3.1.4 До розчину $\text{Na}[\text{Cr}(\text{OH})_4]$ з попереднього досліду додайте кілька крапель хлорної води і прокип'ятіть (витяжна шафа!). Яке забарвлення з'являється у розчині? Напишіть рівняння реакції.

6.3.1.5 Встановіть дослідним шляхом, що калій нітрит у кислому середовищі відносно калій дихромату є відновником (розчин слід підігріти). Складіть рівняння реакції і обчисліть ΔE^0 .

6.3.2 Властивості Mn та його сполук

6.3.2.1 До кількох крапель HCl і H_2SO_4 , які містяться у 2 пробірках, додайте невелику кількість порошку мангану. Що спостерігається? Напишіть рівняння реакцій.

6.3.2.2 У три пробірки налейте 1-2 мл розчину калій перманганату, у першу прилийте такий же об'єм сульфатної кислоти, у другу – лугу і у третю – дистильованої води. Потім у кожну пробірку додайте 1-2 мл розчину калій сульфату (або 0,1-0,2 г сухої солі K_2SO_3). Складіть рівняння реакцій, визначіть еквівалент і еквівалентну масу KMnO_4 та ΔE^0 у цих реакціях.

6.3.2.3 До розчину MnSO_4 прилийте кілька крапель NaOH . Що відбувається? Розділіть вміст пробірки на три частини, у першу додайте HCl , у другу – NaOH , у третю – хлорної води. Що спостерігається? Напишіть рівняння реакцій.

6.3.3 Властивості Zn, Cu та їх сполук

6.3.3.1 У дві пробірки налейте 1-2 мл розчину солей цинку і купрум (II), додайте 3-4 краплі розчину NaOH . Який колір мають осаді? Дослідіть їх розчинність у HCl , NaOH , $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Напишіть рівняння відповідних реакцій.

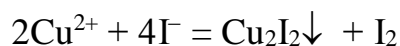
6.3.3.2 Дослідіть рН розчинів солей CuSO_4 , ZnSO_4 . Напишіть рівняння реакцій гідролізу, враховуючи, що координаційне число Cu^{2+} і Zn^{2+} дорівнює 4.

6.3.3.3 Одержання дикупрум дигідроксид карбонату. У пробірку налейте 0,5-1 мл розчину купрум (II) сульфату і поступово прилийте 0,5-1 мл розчину натрій карбонату. Випадає зелений осад. Поясніть, чому у цій реакції виділяється CO_2 . Напишіть рівняння реакції.

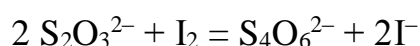
6.3.3.4 У дві пробірки помістіть 3-4 краплі розчину лугу, додайте 0,2г порошку цинку в одну і Cu у другу. У якому випадку виділяється водень? Чи можна відокремити (вилучити) цинк від Cu в латуні дією лугу?

6.3.3.5 Налийте у пробірку 0,5-1 мл розчину цинк сульфату і прилийте 0,5-1 мл розчину аміаку. Випадає білий осад цинк дигідроксиду. Вміст пробірки поділіть на дві частини і до однієї додайте розчин аміаку, а до другої – розчин амоній хлориду. В обох випадках спостерігається розчинення осаду з утворенням комплексної сполуки $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$. Напишіть рівняння реакцій.

6.3.3.6 Окиснювальні властивості Cu^{2+} -іонів. Налийте у пробірку 0,5-1мл розчину купрум (II) сульфату і додайте небагато розчину KI . Спостерігайте зміну забарвлення розчину і випадання осаду. Іонне рівняння реакції:



Йод, що виділився при цьому, відновлюють, додаючи у пробірку небагато натрій тіосульфату $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$:



На дні пробірки залишається білий осад Cu_2I_2 .

6.3.4 Властивості Ag та його сполук

6.3.4.1 Одержання галідів аргентума. У три пробірки додайте 2-3 краплі розчину AgNO_3 і потім прилийте 1-2 краплі: у першу із них – розчин NaCl , у другу – NaBr , у третю – KI . Який колір мають осади? Перевірте їх розчинність у розчині аміаку та зробіть висновок.

6.3.4.2 Одержання калій дийодидоаргентату (I). Налийте у пробірку 2-3 краплі розчину AgNO_3 і потім краплю розчину KI . Утворюється осад, який розчиняється у надлишку реагенту. Складіть рівняння реакцій.

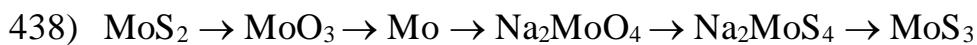
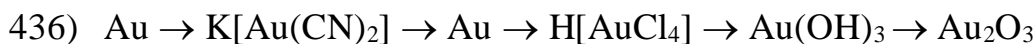
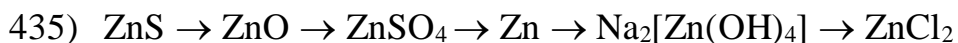
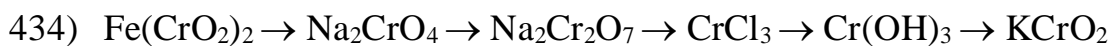
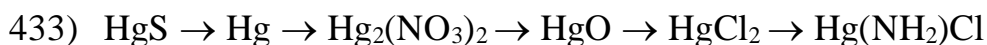
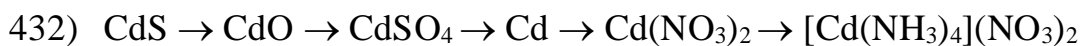
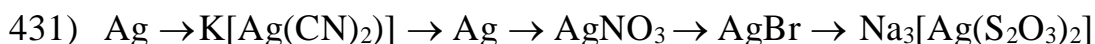
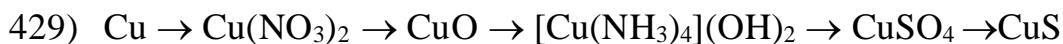
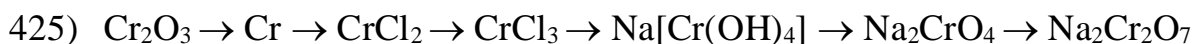
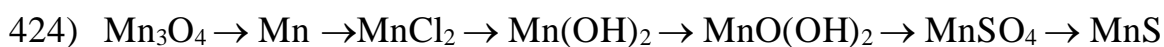
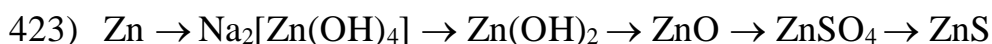
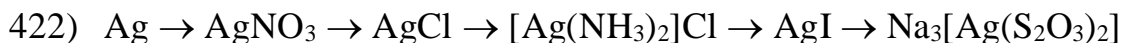
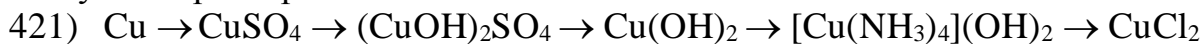
6.3.4.3 Одержання комплексного іону $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$. На осад AgBr (дослід 6.3.4.1) подійте розчином $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, осад розчиняється:



6.4 Контрольні завдання

6.4.1 Хімічні ланцюги

Складіть рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити наступні перетворення:





6.4.2 Задачі для самостійного розв'язання

441) При розкладі 273,4 г суміші бертолетової солі і калій перманганату утворилося 49,28 л кисню (н.у.). Визначте вміст KMnO_4 і KClO_3 у суміші.

Відповідь: 126,4 г KMnO_4 ; 147 г KClO_3 .

442) У виробництві $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ добуто 1 тону 98%-ного розчину купрум (II) сульфату CuSO_4 , на що витрачено 0,48 тонни мідного брухту. Який відсоток теоретично можливого становить вихід мідного купоросу?

Відповідь: 81,67%.

443) На осадження Cl^- -іонів із розчину комплексної сполуки $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_4\text{Cl}_2]\text{Cl}$ витрачено 20 мл розчину AgNO_3 з $C_{\text{H}} = 0,1$. Скільки солі містилося у розчині?

Відповідь: 0,465 г.

444) Для одержання аргентум (I) йодиду взято 113,4 г 15%-ного розчину AgNO_3 і 180 г 10%-ного розчину KI . Скільки утворилося при цьому AgI ? Яка вихідна речовина залишилася у надлишку?

Відповідь: 23,5 г; 1,4 г KI .

445) Скільки грамів аргентум (I) броміду випаде в осад, якщо додати надлишок аргентум (I) нітрату до 238 г 10%-ного розчину KBr ?

Відповідь: 37,6 г.

446) Який об'єм розчину AgNO_3 з $C_{\text{H}} = 0,1$ потрібний для осадження Cl^- -іонів із 25 мл розчину $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$ з $C_{\text{M}} = 0,1$?

Відповідь: 50 мл.

447) Який об'єм розчину $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ з $C_{\text{H}} = 1,0$ необхідно додати, щоб осадити із розчину у вигляді сульфідів Zn^{2+} -, Cd^{2+} - і Hg^{2+} -іони, якщо загальний вміст у розчині солей ZnSO_4 , CdSO_4 , $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ становить 1,0 г, а відсотковий вміст кожної солі: ZnSO_4 – 40%; CdSO_4 – 10% і $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ – 50%.

Відповідь: 9 мл.

448) Карбонат деякого металу містить 65,19, а нітрат – 47,54% цього металу. Обчисліть відносну атомну масу й ступінь окиснення металу.

Відповідь: $A_{\text{r}(\text{Cd})} = 112,4$ а.о.м.; 2.

449) Скільки грамів 20%-го розчину AgNO_3 при дії на розчин натрій хлориду утворюють 2,87 г аргентум (I) хлориду?

Відповідь: 17 г.

450) При прожарюванні 1,56 г суміші цинк карбонату з цинк оксидом отримали 1,34 г цинк оксиду. Обчисліть склад вихідної суміші (у відсотках до маси).

Відповідь: 40,2% ZnCO_3 ; 59,8% ZnO .

- 451) 1 г сплаву Cu з алюмінієм обробили надлишком лугу. Осад, що залишився, розчинили в нітратній (азотній) кислоті, сіль виділили і прожарили. Маса залишку після прожарювання дорівнює 0,4 г. Який відсотковий склад сплаву?
Відповідь: 32% Cu; 68% Al.
- 452) При розчиненні 4,0 г сплаву цинку і алюмінію в нітратній (азотній) кислоті добули 25,08 г нітратів цинку і алюмінію. Обчисліть відсотковий склад сплаву.
Відповідь: 67,5% Al; 32,5% Zn.
- 453) Скільки цинку можна отримати при 98%-ному виході із 970 кг цинкової обманки, яка містить 90% цинк сульфід ZnS ?
Відповідь: 573,3 кг.
- 454) Під час аналізу деякого сплаву, що містить Ag, одержано масу $AgCl$, яка точно дорівнює масі сплаву, який взяли для аналізу. Обчисліть відсотковий вміст Ag у сплаві.
Відповідь: 75,26%.
- 455) Наважку масою 1,2048 г частково вивіреного мідного купоросу розчинили у воді, SO_4^{2-} -іони, які містяться у розчині, осаджені у вигляді $BaSO_4$ масою 1,1872 г. Скільки відсотків кристалізаційної води залишилося у досліджуваному мідному купоросі?
Відповідь: 32,6%.
- 456) Знайдіть найпростішу формулу хром оксиду, який містить 68,4% хрому.
Відповідь: Cr_2O_3 .
- 457) На відновлення MnO_4^- -іонів, що містяться в підкисленому розчині $KMnO_4$, витрачено 40,7 мл розчину $FeSO_4$ з $C_H = 0,208$. Скільки грамів $KMnO_4$ у вихідному розчині?
Відповідь: 0,267 г.
- 458) Речовина містить 26,53% калію, 35,37% хрому і 38,1% кисню. Знайдіть її найпростішу формулу.
Відповідь: $K_2Cr_2O_7$.
- 459) На окиснення $FeSO_4$ у $Fe_2(SO_4)_3$ у розчині витрачено 49 мл розчину $K_2Cr_2O_7$ з $C_H = 0,1082$. Скільки грамів $FeSO_4$ містилося у розчині?
Відповідь: 0,8058 г.
- 460) Обчисліть об'єм розчину $KMnO_4$ з $C_H = 0,1046$, який потрібно витратити на окиснення залізо (II) сульфату, одержаного розчиненням 0,1242 г заліза у надлишку розбавленої сірчаної (сульфатної) кислоти.
Відповідь: 21,2 мл.

Розділ 2

ОСНОВИ ЯКІСНОГО АНАЛІЗУ

Завданням якісного аналізу є виявлення речовин, елементів (іонів), функціональних груп та ідентифікація речовин – встановлення їх аналогії з певним еталоном (стандартом).

Систематичний аналіз катіонів заснований на одній із аналітичних класифікацій (сульфідній, аміачно-фосфатній або кислотно-основній).

За кислотно-основною класифікацією усі катіони поділяють на шість груп (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1- Групи катіонів за кислотно-основною класифікацією

	ГРУПА					
	I	II	III	IV	V	VI
Катіони	Li ⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , NH ₄ ⁺	Ag ⁺ , Hg ₂ ²⁺ , Pb ²⁺	Ca ²⁺ , Sr ²⁺ , Ba ²⁺	Al ³⁺ , Cr ³⁺ , Zn ²⁺ , Sn ²⁺ , Sn (IV)	Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Mg ²⁺ , Bi ³⁺ , Mn ²⁺	Cu ²⁺ , Hg ²⁺ , Co ²⁺ , Ni ²⁺ , Cd ²⁺
Груповий реактив	Немає	HCl	H ₂ SO ₄	NaOH	NaOH	NH ₃ ·H ₂ O
Склад і властивості осадів		MeCl, MeCl ₂ Не розчинний у кислотах і лугах	MeSO ₄ Не розчинний у кислотах і лугах	Me(OH) _n Розчинний у надлишку луку	Me(OH) _n Не розчинний у надлишку луку	Me(OH) _n Розчинний у надлишку NH ₃

Метод, заснований на застосуванні реакцій, якими можна виявити індивідуальні іони у будь-якій послідовності, не запобігаючи до певної схеми систематичного аналізу, називають дробним методом аналізу.

Лабораторна робота № 7

Якісні реакції на катіони I аналітичної групи

7.1 Мета: навчитися виявляти катіони першої аналітичної групи за допомогою характерних реакцій

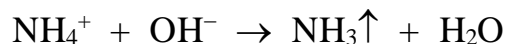
7.2 Короткі теоретичні відомості

До першої аналітичної групи катіонів відносяться Li⁺, Na⁺, K⁺ і NH₄⁺-катіони. Груповий реактив для катіонів даної аналітичної групи відсутній. Тому, кожний з наведених вище катіонів, виявляють за допомогою відповідних реакцій. Необхідно звернути увагу на забарвлення полум'я леткими солями літію, натрію і калію.

7.3 Експериментальна частина

7.3.1 Виявлення NH_4^+ -іонів

7.3.1.1 Дія лугів (KOH, NaOH). Додайте у пробірку 2-3 краплі розчину солі амонію, потім декілька крапель KOH чи NaOH ($C_H = 2,0$). Підігрійте вміст пробірки. Сильні луги розкладають солі амонію з виділенням NH_3 :

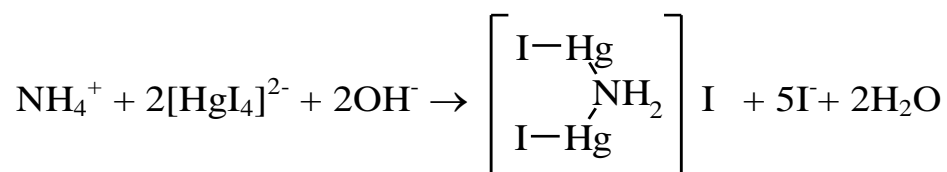


Аміак, що виділяється, виявляють за посинінням червоного лакмусового або за почервонінням незабарвленого фенолфталеїнового паперів, змочених дистильованою водою; за утворенням білого “диму” амоній хлориду, коли до отвору пробірки піднести скляну паличку, змочену концентрованою хлоридною кислотою:



Чутливість реакції з гідроксидами 0,01мкг і дозволяє виявити – NH_4^+ -іони за наявності усіх катіонів.

7.3.1.2 Дія реактиву Несслера. Додайте до 1 краплі розчину солі амонію 1-2 краплі розчину реактиву. За наявності іонів амонію утворюється жовто-бурий осад або жовте забарвлення (сліди амонію):



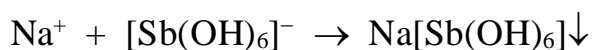
Мінімум, який можна відкрити, 0,25 мкг. Заважають – Hg^{2+} , Sn^{2+} , Sb^{3+} (руйнують реактив), а також Co^{2+} , Ni^{2+} (утворюють з OH^- – іонами забарвлені осад).

NH_4^+ -іони утворюють осад з $\text{NaHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ (білий), $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ (жовтий), $\text{H}_2[\text{PtCl}_6]$ (жовтий), $\text{Na}_2\text{Pb}[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]$ (чорний), що заважає виявленню K^+ -іонів цими реактивами.

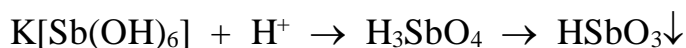
7.3.1.3 Дробний метод виявлення NH_4^+ -іонів. До 2-3 мл розчину, що аналізують, додають NaOH до сильно лужної реакції за універсальним індикаторним папером. При появі значного осаду гідроксидів, його вилучають центрифугуванням. Розчин зливають у іншу пробірку, закривають її фільтрувальним папером, змоченим реактивом Несслера і нагрівають до кипіння. Поява бурого плями свідчить про наявність аміаку або солей амонію у розчині, який досліджують (хімізм реакції-див.7.3.1.2).

7.3.2 Виявлення Na^+ -іонів

7.3.2.1 Реакція з $\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$. Калій гексагідроксоантимонат (V) осаджує із розчинів солей натрію білий кристалічний осад ($\text{pH} = 7$):



До 2-3 крапель розчину солі натрію додайте стільки ж розчину $\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$ і потріть скляною паличкою об стінки пробірки. При цьому випадає білий кристалічний осад. Реакцію проводять за $\text{pH} = 7,0$, оскільки у сильно лужному розчині осад не утворюється, а у кислому – випадає білий аморфний осад метаантимонатної кислоти:

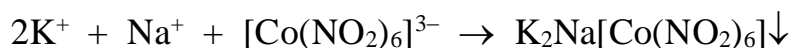


Заважають: Li^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} -іони. Мінімум, який можна відкрити, 0,8 мкг.

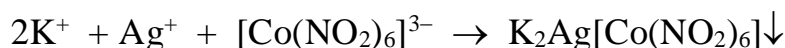
7.3.2.2 Реакція забарвлення полум'я. Леткі сполуки натрію забарвлюють полум'я пальника у характерний жовтий колір.

7.3.3 Виявлення K^+ -іонів

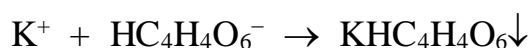
7.3.3.1 Реакція з $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$. Додайте у пробірку 1-2 краплі розчину солі калію і 2-3 краплі розчину оцтової кислоти з $\text{C}_\text{H} = 2,0$ до слабокислої реакції ($\text{pH} \approx 3,0$). Потім до розчину додайте 1-2 краплі свіжевиготовленого розчину натрій гексанітрокобальтату (III), при цьому випадає жовтий осад:



Чутливість реакції підвищується за наявності Ag^+ -іонів за рахунок утворення подвійної солі, менш розчинної у воді:

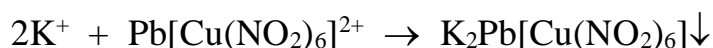


7.3.3.2 Реакція з $\text{NaHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$. Додайте у пробірку 2-3 краплі розчину солі калію з $\text{pH} = 7,0$ і 2 краплі розчину натрій гідрогентартрату, потріть скляною паличкою об стінки пробірки, при цьому випадає білий кристалічний осад:



Чутливість реакції 50 мкг. Заважають: NH_4^+ і катіони d-елементів, які попередньо вилучають.

7.3.3.3 Реакція з $\text{Na}_2\text{Pb}[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]$. Натрій-свинець гексанітрокупрат (II) осаджує ($\text{pH} = 7,0$) чорний осад калій-свинець гексанітрокупрату (II), кристали якого мають кубічну форму:

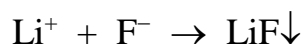


Заважають: NH_4^+ -іони.

7.3.3.4 Реакція забарвлення полум'я. Леткі сполуки калію забарвлюють полум'я пальника у фіолетовий колір. За наявності солей натрію воно маскується жовтим кольором, тому полум'я розглядають через синє скло, яке не пропускає жовте проміння.

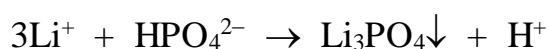
7.3.4 Виявлення Li⁺-іонів

7.3.4.1 Реакція з NH₄F або KF. Додайте у пробірку 2-3 краплі розчину солі літію і стільки ж крапель розчину амоній (калій) флюориду (фториду) та 2-3 краплі розчину аміаку. Суміш нагрійте до кипіння. Виділяється білий аморфний осад, який розчиняється у оцтовій кислоті:



Чутливість реакції 50 мкг. Заважають: Mg²⁺, Ca²⁺, Sr²⁺, Ba²⁺, які утворюють осад флюоридів (фторидів).

7.3.4.2 Реакція з Na₂HPO₄. Натрій гідрогенфосфат у нейтральному середовищі утворює з солями літію білий осад, малорозчинний у воді (0,03/100 г води):



Чутливість реакції 5 мкг. Заважають: катіони s²⁻, p- і d-елементів, що утворюють осад фосфатів.

7.3.4.3 Реакція забарвлення полум'я. Леткі сполуки літію забарвлюють полум'я пальника у карміно-червоний колір.

7.4 Аналіз суміші NH₄⁺, K⁺, Na⁺, Li⁺-іонів

Запам'ятайте, що аналіз суміші, як правило, починається з визначення реакції середовища (рН) за допомогою індикаторного паперу або додають краплю індикатору у розчин (окрема проба).

Така перевірка дає можливість зробити певні висновки, а саме: сильнолужна реакція розчину, що не містить осаду і не пахне NH₃, вказує на наявність солей типу Na₂CO₃ або вільних лугів та на відсутність NH₄⁺- і Mg²⁺-іонів; кисла реакція середовища – на наявність солей амонію з сильними кислотами або вільних кислот.

7.4.1 Хід аналізу

7.4.1.1 Виявлення і вилучення NH₄⁺ –іонів. Додайте у дві пробірки 5 крапель розчину, який аналізують. До однієї пробірки (проба 1), де мається на увазі виявити K⁺-іони, додайте 5 крапель розчину Na₂CO₃ або NaOH з C_H=2,0. У іншу пробірку (проба 2), де мається на увазі виявити Na⁺-іони, прилийте 5 крапель розчину K₂CO₃ або KOH з C_H=2,0. Нагрійте обидві пробірки до кипіння та виявіть наявність чи відсутність NH₃ (див.7.3.1.1). Виявленню NH₄⁺-іонів інші катіони не заважають.

7.4.1.2 Виявлення K⁺-іонів. За відсутності NH₄⁺-іонів, виявлення K⁺-іонів здійснюють із загальної проби за допомогою реактиву Na₃[Co(NO₂)₆] і ін.(див. 7.3.3.1- 4). Якщо ж NH₄⁺-іони присутні, вилучіть їх кип'ятінням із проби 1, після чого розчин підкисліть CH₃COOH і виявіть K⁺-іони за допомогою Na₃[Co(NO₂)₆].

7.4.1.3 Виявлення Li^+ -іонів. До розчину (1-2 мл), що аналізують, додайте $\approx 0,1$ г K_2CO_3 і кип'ятіть розчин. За наявності Li^+ -іонів випадає осад Li_2CO_3 , який вилучають фільтруванням, розчиняють при кип'ятінні у HCl і виявляють Li^+ -іони реакціями, описаними у 7.3.4.1-3.

7.4.1.4 Виявлення Na^+ -іонів. За відсутності NH_4^+ -іонів, виявлення Na^+ -іонів здійснюють із загальної проби за допомогою реактиву $\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$ (див.7.3.2.1).

Якщо ж NH_4^+ -іони присутні, вилучіть їх кип'ятінням із проби 2, підкисліть CH_3COOH , а потім додайте до розчину $\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$.

7.5 Додаткові перевірочні реакції

Перевірте наявність Na^+ , K^+ і Li^+ -іонів реакцією забарвлення полум'я. Заповніть таблицю 7.1 за наведеними прикладами, відмітьте характерні реакції для NH_4^+ , Na^+ , K^+ і Li^+ -іонів (домашнє завдання).

Таблиця 7.1 – Якісні реакції катіонів I аналітичної групи

Катіон	Номер реакції, реагент	Продукт реакції і його властивості
NH_4^+	1) KOH , NaOH	NH_3 , вологий лакмусовий або універсальний папірець синіє; $\text{NH}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NH}_4\text{Cl}$, білий дим
	2) $\text{K}_2[\text{HgI}_4] + \text{KOH}$	$[\text{NH}_2\text{Hg}_2\text{I}_2]\text{I}$, жовто-бурий осад або жовте забарвлення
Na^+		
K^+		
Li^+		

Лабораторна робота № 8

Якісні реакції на катіони II – III аналітичних груп

8.1 Мета: навчитися виявляти катіони другої аналітичної групи та вміти їх розрізняти характерними реакціями

8.2 Короткі теоретичні відомості

Хлоридна (соляна) кислота, як груповий реактив, осаджує катіони цієї групи у вигляді хлоридів.

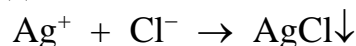
Забарвленими сполуками є хромати, дихромати, манганати, перманганати, гексанітрокобальтати (III).

У реакціях окиснення-відновлення сполуки аргентума, меркурію (I), п्लомбуму (IV) є окисниками.

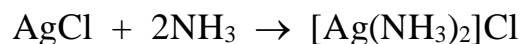
8.3 Експериментальна частина

8.3.1 Виявлення Ag^+ -іонів

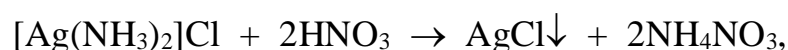
8.3.1.1 Реакція з HCl і розчинними хлоридами. Додайте у пробірку 1 краплю AgNO_3 і 1 краплю розчину HCl або NaCl . Випадає білий сироподібний осад:



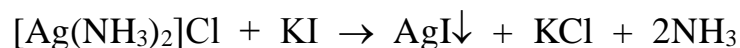
AgCl чорніє на світлі внаслідок часткового відновлення Ag^+ до Ag^0 . Осад не розчиняється у сильних кислотах, розчиняється у розчині аміаку:



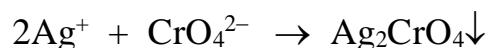
Діамінаргентум (I) хлорид розкладається нітратною (азотною) кислотою:



а з розчином калій йодиду утворює жовтий осад:

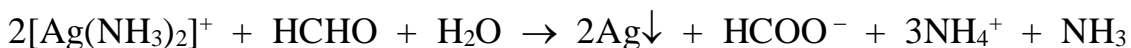


8.3.1.2 Реакція з K_2CrO_4 . До 1-2 крапель розчину AgNO_3 додайте 1-2 краплі розчину K_2CrO_4 . Випадає червоно-бурий осад, розчинний у HNO_3 і розчині NH_3 :



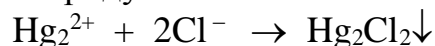
Реакцію проводять за $\text{pH} = 7,0$.

8.3.1.3 Реакція срібного дзеркала. У чисту пробірку додайте 1-2 краплі розчину, що містить Ag^+ -іони, і стільки ж крапель розчину аміаку та декілька крапель розчину формальдегіду. Після занурення пробірки у теплу воду на стінках пробірки осаджується дзеркало металічного срібла:



8.3.2 Виявлення Hg_2^{2+} -іонів

8.3.2.1 Реакція з хлоридами. Додайте у пробірку 1-2 краплі розчину меркурій (I) нітрату і стільки ж крапель HCl або NaCl (KCl). Випадає білий осад меркурій (I) хлориду:



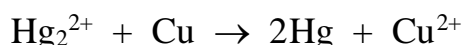
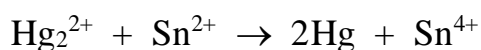
Осад чорніє на світлі внаслідок реакції розкладу:



З розчинами аміаку меркурій (I) хлорид утворює осад, який чорніє внаслідок реакції розкладу:

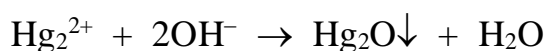


8.3.2.2 Реакція з відновниками. Hg_2^{2+} -іони відновлюються SnCl_2 або Cu до елементарного меркурію (осад чорного кольору):



Якщо розчин солі меркурію (I) нанести на мідну монету, то через 2-3 хв вона покривається сірим шаром амальгами міді і після протирання шматочком вовни стає блискучою.

8.3.2.3 Реакція з лугами (NaOH , KOH) супроводжується утворенням чорного осаду:

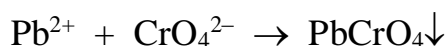


8.3.2.4 Реакція з йодидами супроводжується утворенням бруднозеленого осаду:



8.3.3 Виявлення Pb^{2+} -іонів

8.3.3.1 Реакція з K_2CrO_4 . Додайте у пробірку 1-2 краплі розчину солі Pb^{2+} і 1-2 краплі розчину K_2CrO_4 або $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. Випадає жовтий осад:



За наявності оцтової кислоти осад не розчиняється (на відміну від інших хроматів).

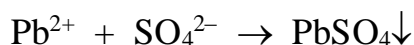
Заважають: Ba^{2+} , Hg^{2+} , Bi^{3+} -іони та ін.

8.3.3.2 Реакція з KI . До 1-2 крапель розчину солі Pb^{2+} додайте 1-2 краплі розчину KI . Випадає жовтий осад:

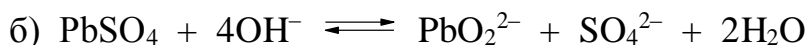
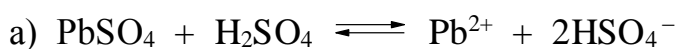


Осад розчиняється у гарячій воді і оцтовій кислоті, при охолодженні випадає у вигляді золотистих пластівців.

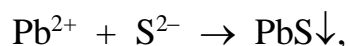
8.3.3.3 Реакція з сульфатною кислотою або сульфатами. До 1-2 крапель розчинної солі Pb^{2+} додайте розчин сульфатної кислоти або будь-якого SO_4^{2-} -іону, утворюється білий осад:



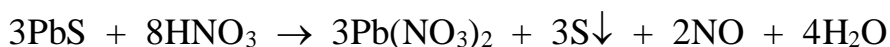
Осад розчиняється у концентрованій сульфатній кислоті (а), їдких лугах (б) і амоній ацетаті (в):



8.3.3.4 Реакція з Na₂S. Натрій сульфід осаджує із розчину солі Pb²⁺ осад чорного кольору:



який розчиняється у HNO₃ з виділенням елементарної сірки:



8.4 Аналіз суміші Ag⁺, Hg₂²⁺, Pb²⁺-іонів

У конічну колбу вміщують 2-3 мл розчину, який аналізують, і додають 2-3 мл розчину HCl з C_H= 2,0. Осад центрифугують і промивають холодною водою, після чого обробляють гарячою водою: плюмбум (II) хлорид переходить у розчин (розчин 1), а AgCl і Hg₂Cl₂ залишаються в осаді (осад 2).

У розчині 1 виявляють наявність Pb²⁺-іонів за допомогою розчину KI і досліджують властивості осаду PbI₂ (див.8.3.3.2).

До осаду 2 приливають краплями розчин аміаку. Якщо присутні Hg₂²⁺-іони, то осад набуває чорного забарвлення (8.3.2.1), AgCl при цьому переходить у розчин (розчин 2) у вигляді [Ag(NH₃)₂]Cl, а сіль [HgNH₂]Cl і Hg залишаються в осаді, який не відокремлюють.

Розчин 2 розділяють на 2 частини, до однієї з них додають розчин KI, до іншої – HNO₃ (див.8.3.1.1). За наявності Ag⁺-іонів утворюються осадки AgI і AgCl. Заповніть таблицю 8.1 (домашнє завдання).

Таблиця 8.1 – Якісні реакції катіонів II аналітичної групи

Катіон	Номер реакції	Продукт реакції і його властивості
Ag ⁺		
Hg ₂ ²⁺		
Pb ²⁺		

8.5 Якісні реакції на катіони третьої аналітичної групи

8.5.1 Мета: навчитися виявляти катіони третьої аналітичної групи характерними реакціями

8.5.2 Короткі теоретичні відомості

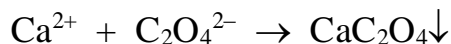
Сульфатна (сірчана) кислота, як груповий реактив, осаджує катіони цієї групи у вигляді сульфатів. Амоній карбонат (NH₄)₂CO₃ за наявності NH₄Cl+NH₃·H₂O за рН = 9 – 9,2 осаджує ці катіони у вигляді карбонатів.

Більшість сполук катіонів III аналітичної групи незабарвлені і мало розчинні у воді. Забарвлені: хромати, дихромати, манганати, перманганати і гексанітрокобальтати (III). Відносно стійкі до окисників і відновників.

8.5.3 Експериментальна частина

8.5.3.1 Виявлення Ca^{2+} -іонів

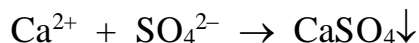
8.5.3.1.1 Реакція з $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$. До 2-3 крапель розчину солі Ca^{2+} додайте стільки ж крапель розчину амоній оксалату. Випадає білий кристалічний осад:



Осад нерозчинний в оцтовій кислоті (на відміну від оксалатів барію і стронцію) і у розчині аміаку, розчиняється у сильних кислотах (утворюється $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$). Реакцію проводять за $\text{pH} = 6 - 6,5$.

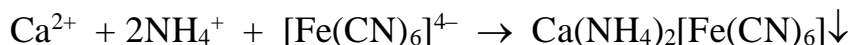
Заважають: Sr^{2+} , Ba^{2+} -іони, які попередньо необхідно вилучити.

8.5.3.1.2 Сульфат-іони SO_4^{2-} утворюють з Ca^{2+} -іонами осад CaSO_4 , малорозчинний у воді ($P_{\text{CaSO}_4} = 7,9 \cdot 10^{-3}$ моль/л; $\text{DP}_{\text{CaSO}_4} = 5,5 \cdot 10^{-6}$). Повноту осадження збільшують, додаючи до суміші рівну кількість етилового спирту:



Осад нерозчинний у кислотах і лугах.

8.5.3.1.3 Калій гексаціаноферат (II) за наявності NH_3 і NH_4Cl осаджує із концентрованих розчинів або за наявності етанолу білий осад:



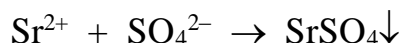
Реакцію проводять при кип'ятінні. Чутливість реакції 25 мкг. Заважають: катіони d-елементів, які осаджуються реактивом.

8.5.3.1.4 Забарвлення полум'я. Солі кальцію, змочені розчином HCl , забарвлюють полум'я пальника у цегляно-червоний колір.

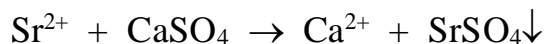
8.5.3.1.5 Ca^{2+} -іони можна виявити реакціями з Na_2HPO_4 (білий осад CaHPO_4) і CO_3^{2-} -іонами (білий осад CaCO_3).

8.5.3.2 Виявлення Sr^{2+} -іонів

8.5.3.2.1 Реакція з SO_4^{2-} -іонами. Сульфат-іони утворюють з Sr^{2+} -іонами білий осад, нерозчинний у кислотах і лугах:



При взаємодії розчинів солей стронцію з гіпсовою водою (насичений розчин CaSO_4) утворюється осад SrSO_4 (на відміну від Ca^{2+} , що не дає осаду з реагентом):



($\text{DP}_{\text{SrSO}_4} = 5,3 \cdot 10^{-7}$; $P_{\text{SrSO}_4} = 6 \cdot 10^{-4}$ моль/л; $\text{DP}_{\text{CaSO}_4} = 2,3 \cdot 10^{-5}$).

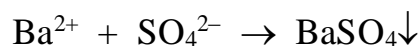
Реакція Sr^{2+} -іонів з $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ застосовується як дробна; попередньо Pb^{2+} -іони відновлюють Zn у середовищі NH_3 , а Ba^{2+} -іони осаджують $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ у середовищі CH_3COONa

8.5.3.2.2 Забарвлення полум'я. За наявності солей стронцію полум'я пальника забарвлюється у карміново-червоний колір.

8.5.3.3.2 Sr^{2+} -іони реагують з $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$ (білий осад SrC_2O_4), з Na_2HPO_4 (білий осад SrHPO_4), з K_2CrO_4 (жовтий осад SrCrO_4), з $\text{K}_4[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]$ (синьо-зелений осад $\text{K}_2\text{Sr}[\text{Cu}(\text{NO}_2)_6]$).

8.5.3.3 Виявлення Ba^{2+} -іонів

8.5.3.3.1 Реакція з SO_4^{2-} -іонами. Сульфат-іони утворюють з Ba^{2+} -іонами білий осад, малорозчинний у воді ($P_{\text{BaSO}_4} = 1,0 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $\text{DP}_{\text{BaSO}_4} = 1,1 \cdot 10^{-10}$), нерозчинний у кислотах і лугах:



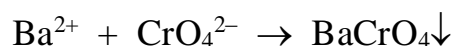
При дії на BaSO_4 надлишку Na_2CO_3 одержують осад BaCO_3 ($P_{\text{BaCO}_3} = 8,9 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $\text{DP}_{\text{BaCO}_3} = 8 \cdot 10^{-9}$), розчинний у кислотах.

Чутливість реакції з сульфат-іонами 10 мкг.

Осад BaSO_4 можна вилучити від CaSO_4 за розчинністю останнього у надлишку $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. CaSO_4 і SrSO_4 частково розчинні у воді (гіпсова і стронцієва вода), застосовують для виявлення Ba^{2+} -іонів. Реакція із стронцієвою водою є специфічна на Ba^{2+} -іони.

Реакція з сульфатами дозволяє виявити Ba^{2+} -іони за наявності Ca^{2+} і Sr^{2+} -іонів при додаванні до аналізуемого розчину невеликої кількості KMnO_4 , який втілюється у кристалічну ґратку осаду BaSO_4 і забарвлює його у фіолетовий колір, стійкий до дії відновників. Осад SrSO_4 забарвлюється незначно (Ba^{2+} можна виявити за наявності Sr^{2+} до співвідношення $\text{Ba} : \text{Sr} = 1 : 5000$), а осад CaSO_4 не забарвлюється.

8.5.3.3.2 Солі хроматної кислоти утворюють з Ba^{2+} -іонами жовтий кристалічний осад BaCrO_4 , нерозчинний у сильних кислотах і оцтовій кислоті (на відміну від CaCrO_4 і SrCrO_4); $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ осаджує Ba^{2+} -іони також у вигляді BaCrO_4 :



Реакція з $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ за наявності CH_3COONa специфічна для Ba^{2+} -іонів і дозволяє виявити його за наявності Ca^{2+} і Sr^{2+} -іонів.

8.5.3.3.3 Забарвлення полум'я. Леткі солі барію BaCl_2 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ – забарвлюють полум'я пальника у жовто-зелений колір.

8.5.3.3.4 Ba^{2+} -іони можна виявити реакціями з оксалатами (білий осад BaC_2O_4), Na_2HPO_4 (білий осад BaHPO_4).

Заповніть таблицю 8.2 (домашнє завдання).

Таблиця 8.2 – Якісні реакції катіонів III аналітичної групи

Катіон	Номер реакції, реагент	Продукт реакції і його властивості
Ca^{2+}		
Sr^{2+}		
Ba^{2+}		

8.6 Аналіз суміші Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} -іонів

Хід аналізу

8.6.1 Виявлення Ba^{2+} -іонів

У пробірку додають 4-5 крапель розчину, який аналізують, додають 3-4 краплі оцтової кислоти і 3-4 краплі розчину K_2CrO_4 . Утворення жовтого осаду BaCrO_4 свідчить про наявність у розчині Ba^{2+} -іонів. Осад відфільтровують (центрифугують).

8.6.2 Виявлення Sr^{2+} -іонів

Фільтрат перевіряють на повноту осадження Ba^{2+} -іонів. Поміщають 4-5 крапель фільтрату в пробірку, приливають кілька крапель гіпсової води, нагрівають на водяній бані, відстоюють. Утворення білого осаду свідчить про наявність Sr^{2+} -іонів.

8.6.3 Виявлення Ca^{2+} -іонів

Додають у пробірку 4-5 крапель фільтрату (після вилучення Ba^{2+} -іонів), потім стільки ж розчину Na_2CO_3 . Осади CaCO_3 і SrCO_3 відокремлюють, промивають водою, розчиняють в CH_3COOH і додають розчин $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Sr^{2+} -іони утворюють осад SrSO_4 , який відфільтровують, а у фільтраті залишаються Ca^{2+} -іони. Фільтрат розділяють на дві частини, до однієї додають $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$. Поява осаду свідчить про наявність Ca^{2+} -іонів у розчині. Другу частину фільтрату використовують для перевірки правильності результатів.

8.7 Аналіз суміші катіонів I – III аналітичних груп

8.7.1 Аналіз розчину без осаду (таблиця 8.3)

В окремій пробі виявляють катіони NH_4^+ нагріванням з розчином NaOH . Після цього досліджуваний розчин розділяють на дві частини. Першу використовують для систематичного аналізу, другу – для контрольних визначень.

У пробірку наливають 1,5 мл розчину, що аналізують, додають 3-4 краплі концентрованої HCl , перемішують і центрифугують. Осад (I) (AgCl , Hg_2Cl_2 , PbCl_2) промивають підкисленою водою і аналізують на присутність катіонів другої аналітичної групи, як це описано вище.

Центрифугат (I) містить катіони I та III аналітичних груп і невелику кількість Pb^{2+} -іонів, які не повністю осаджені HCl . До цього центрифугату приливають 0,5 мл розчину $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, нагрівають 5 хв на водяній бані, відстоюють осад і центрифугують. Осад (II) (BaSO_4 , CaSO_4 , SrSO_4 , PbSO_4) обробляють 30 %-ним гарячим розчином амоній ацетату $\text{CH}_3\text{COONH}_4$, при цьому PbSO_4 розчиняється з утворенням $(\text{NH}_4)_2[\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_4]$, а в осаді (III) залишаються лише BaSO_4 , SrSO_4 , CaSO_4 .

Осад (III) промивають дистильованою водою, переносять у порцелянову чашку, додають 4-5 мл розчину K_2CO_3 ($\text{C}_\text{H} = 10,0$), кип'ятять 4-5 хв. Після охолодження у порцелянову чашку додають 2 мл води, відстоюють і зливають прозору рідину. Знову додають 4-5 мл розчину K_2CO_3 , нагрівають і центрифугують. Осад III сульфатів третьої аналітичної групи переводять в осад у вигляді BaCO_3 , SrCO_3 і CaCO_3 , який відмивають теплою водою від сульфат-іонів, потім розчиняють його в CH_3COOH . Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} -іони виявляють, як це описано вище. Центрифугат (II) може містити NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Ca^{2+} -іони, які виявляють за допомогою характерних реакцій.

Схема систематичного ходу аналізу суміші катіонів I – III аналітичної груп наведено в таблиці 8.3.

8.8 Контрольні завдання

Аналіз суміші катіонів I – III аналітичних груп

- 461) Складіть схему систематичного ходу аналізу K^+ -катіона за наявності Ag^+ - і Ba^{2+} -іонів. Які катіони заважають виявленню K^+ -іонів при дії реактиву натрій гідрогентартрату?
- 462) Складіть схему систематичного ходу аналізу Na^+ -катіона за наявності Hg_2^{2+} - і Ca^{2+} -іонів. Яке значення рН повинен мати розчин, при виявленні Na^+ -іонів реактивом калій гексагідроксоантимонатом (V)? Поясніть чому?
- 463) Складіть схему систематичного ходу аналізу Li^+ -катіона за наявності Pb^{2+} - і Sr^{2+} -іонів. Які катіони заважають виявленню Li^+ -іонів при дії реактиву амоній флюорида (фторида) чи калій флюорида (фторида)?
- 464) Складіть схему систематичного ходу аналізу NH_4^+ -катіона за наявності Ag^+ - і Ca^{2+} -іонів. Чи заважають Ag^+ - і Ca^{2+} -іони виявленню NH_4^+ -іонів реактивом Несслера? Да / Ні? Чому?

Таблиця 8.3 – Схема систематичного ходу аналізу суміші катіонів I-III аналітичних груп

1) В окремій пробі виявляють катіон NH_4^+ нагріванням з розчином NaOH	
2) До розчину, який аналізують, додають розчин HCl з $C_{\text{H}}=10,0$, центрифугують (фільтрують), промивають осад 0,5%-ним розчином HCl	
3) Осад (I) AgCl , Hg_2Cl_2 , PbCl_2 аналізують	4) Центрифугат (фільтрат) містить катіони Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+} , Pb^{2+} , K^+ , Na^+ , NH_4^+ . Додають $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, дають відстоятись і центрифугують (фільтрують).
5) Осад (II) BaSO_4 , SrSO_4 , CaSO_4 , PbSO_4 обробляють гарячим 30%-ним розчином $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (для вилучення PbSO_4), центрифугують (фільтрують), осад промивають водою	6) Центрифугат (фільтрат) (II) K^+ , Na^+ , NH_4^+ , Ca^{2+} : 6.1) Відкривають Ca^{2+} в окремій пробі з амоній оксалатом $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$; перевіряють на забарвлення полум'я; 6.2) За наявності Ca^{2+} відкривають Na^+ -іони із окремої проби центрифугату, додаючи K_2CO_3 . Осад CaCO_3 відокремлюють і відкривають Na^+ розчином $\text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$ і за забарвленням полум'я; 6.3) За наявності Ca^{2+} -іонів відкривають катіон K^+ . Випаровують частину центрифугату (фільтрату) у порцеляновій чашці, вилучають NH_4^+ -іони, розчиняють у гарячій воді залишок, додають Na_2CO_3 , вилучають CaCO_3 і відкривають K^+ -іони розчином $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ у слабооцтовому середовищі.
7) Осад (III) BaSO_4 , SrSO_4 , CaSO_4 переводять у карбонати обробкою K_2CO_3 і аналізують	
8) Центрифугат (фільтрат) (III) відкидають.	

- 465) Складіть схему систематичного ходу аналізу K^+ -катиона за наявності Hg_2^{2+} - і Sr^{2+} -іонів. Яке значення рН повинен мати розчин при виявленні K^+ -іонів реактивом натрій гексанітрокобальтатом (III)? Чому?
- 466) Складіть схему систематичного ходу аналізу Na^+ -катиона за наявності Pb^{2+} - і Ca^{2+} -іонів. Чи заважають Pb^{2+} - і Ca^{2+} -іони виявленню Na^+ -катиона реакцією забарвлення полум'я пальника?
- 467) Складіть схему систематичного ходу аналізу Li^+ -катиона за наявності Ag^+ - і Ca^{2+} -іонів. Чи заважають Ag^+ - і Ca^{2+} -іони виявленню Li^+ -іонів при дії реактиву натрій гідрогенфосфату?
- 468) Складіть схему систематичного ходу аналізу NH_4^+ -катиона за наявності Pb^{2+} - і Ba^{2+} -іонів. Чи заважають дані катіони виявленню NH_4^+ -іонів при дії на суміш сильних лугів (NaOH, KOH)?
- 469) Складіть схему систематичного ходу аналізу Ba^{2+} -катиона за наявності Na^+ - і Ag^+ -іонів. За допомогою якого реактиву можна вилучити осад аргентум (I) хромату від осаду барій хромату?
- 470) Складіть схему систематичного ходу аналізу Pb^{2+} -катиона за наявності K^+ - і Ca^{2+} -іонів. Яким реактивом потрібно подіяти на осад, що містить $PbSO_4$ і $CaSO_4$, щоб вилучити із нього $PbSO_4$?
- 471) Складіть схему систематичного ходу аналізу Ag^+ -катиона за наявності Li^+ - і Sr^{2+} -іонів. Чи заважають дані катіони виявленню Ag^+ -іонів реакцією утворення срібного дзеркала?
- 472) Складіть схему систематичного ходу аналізу Hg_2^{2+} -катиона за наявності K^+ - і Ba^{2+} -іонів. У вигляді яких солей: KCl і $BaCl_2$ чи KNO_3 і $Ba(NO_3)_2$ потрібно взяти K^+ - і Ba^{2+} -катіони для аналізу цієї суміші? Чому?
- 473) Складіть схему систематичного ходу аналізу Ca^{2+} -катиона за наявності NH_4^+ - і Pb^{2+} -іонів. Чи заважають дані катіони виявленню Ca^{2+} -іонів при дії на суміш реактивом калій гексаціаноферата (II)?
- 474) Складіть схему систематичного ходу аналізу Sr^{2+} -катиона за наявності Na^+ - і Ag^+ -іонів. Чи заважають Na^+ - і Ag^+ -іони виявленню Sr^{2+} -катиона реакцією забарвлення полум'я пальника?
- 475) Складіть схему систематичного ходу аналізу Hg_2^{2+} -катиона за наявності Li^+ - і Ba^{2+} -іонів. У вигляді яких солей: $Hg_2(NO_3)_2$, Li_2SO_4 і $BaCl_2$ чи

Hg₂(NO₃)₂, LiNO₃ і Ba(NO₃)₂ потрібно взяти Li⁺- і Ba²⁺-катіони для аналізу суміші? Чому?

- 476) Складіть схему систематичного ходу аналізу Ag⁺-катіона за наявності NH₄⁺- і Sr²⁺-іонів. За допомогою якого реактиву можна вилучити осад аргентум (I) хромату від осаду стронцій хромату?
- 477) Складіть схему систематичного ходу аналізу Pb²⁺-катіона за наявності K⁺- і Sr²⁺-іонів. У якому випадку розчин містить осад, якщо змішати: а) KNO₃, Sr(NO₃)₂ і Pb(NO₃)₂; б) KCl, SrCl₂ і Pb(NO₃)₂? Чому?
- 478) Складіть схему систематичного ходу аналізу Ba²⁺-катіона за наявності Na⁺- і Hg₂²⁺-іонів. У якому випадку розчин містить осад, якщо змішати: а) Na₂SO₄, Hg₂(NO₃)₂ і BaCl₂; б) NaOH, Ba(NO₃)₂ і Hg₂(NO₃)₂? Чому?
- 479) Складіть схему систематичного ходу аналізу Ca²⁺-катіона за наявності Li⁺- і Pb²⁺-іонів. У якому випадку розчин містить осад, якщо змішати: а) Li₂SO₄, Pb(NO₃)₂ і CaCl₂; б) LiCl, Pb(NO₃)₂ і CaCl₂? Чому?
- 480) Складіть схему систематичного ходу аналізу Sr²⁺-катіона за наявності NH₄⁺- і Ag⁺-іонів. За допомогою якого реактиву можна вилучити осад стронцій хромату від осаду аргентум (I) хромату?

Лабораторна робота № 9

Якісні реакції на катіони IV аналітичної групи

9.1. Мета: навчитися виявляти катіони четвертої аналітичної групи за допомогою характерних реакцій

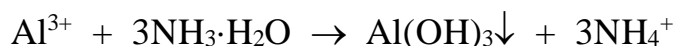
9.2 Короткі теоретичні відомості

Груповим реактивом на катіони IV аналітичної групи є NaOH. Осади гідроксидів з вираженими амфотерними властивостями розчиняються у надлишку реагенту.

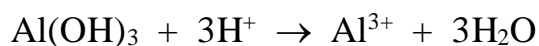
9.3 Експериментальна частина

9.3.1 Виявлення Al³⁺-іонів

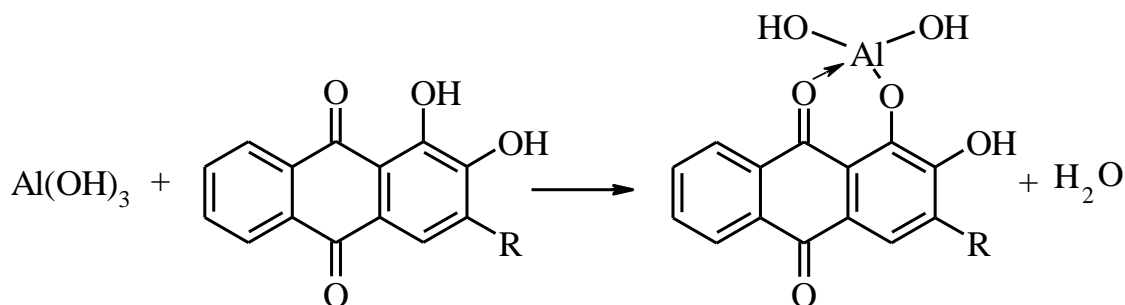
9.3.1.1 Реакція з амоній гідроксидом. Додайте у пробірку 2-3 краплі розчину солі алюмінію і 3-4 краплі розчину аміаку з C_H = 6,0, нагрійте суміш. Випадає білий осад:



Осад розчиняється у кислотах і лугах:



9.3.1.2 Реакція з алізарином. Алізарин з Al^{3+} -іонами утворює комплексну сполуку $\text{Al}(\text{OH})_2[\text{C}_{14}\text{O}_3\text{H}_6(\text{OH})]$ червоного кольору, яка не розчиняється в оцтовій кислоті. Ця сполука називається “алюмінієвим лаком”. Алізарин малорозчинний у воді, тому на практиці використовують алізариновий червоний – натрієву сіль 1,2-діоксіантрахінон-3 сульфокислоти:



де $\text{R}=\text{H}, \text{SO}_3\text{Na}$

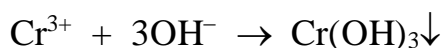
Заважають: $\text{Fe}^{2+}, \text{Cu}^{2+}, \text{V}^{3+}$ -іони (дають теж забарвлені осади).

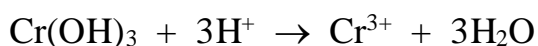
До 0,5 мл розчину, що аналізують, додають розчин NaOH з $\text{C}_\text{H}=2,0$ до сильнолужної реакції. Якщо випадає осад (присутні $\text{Fe}^{2+}, \text{Cu}^{2+}, \text{V}^{3+}$ -іони), його вилучають і до прозорого розчину краплями додають 0,5 мл 0,2 %-ного розчину алізарину; спочатку з'являється фіолетове забарвлення, потім додають краплями розчин CH_3COOH з $\text{C}_\text{H} = 2,0$ доти, доки воно не зникне. За наявності алюмінію (залежно від концентрації) розчин забарвлюється в червоний колір або випадає червоний осад.

9.3.1.3 Реакцію можна проводити краплинним методом. Для цього на смужку фільтрувального паперу наносять 1 краплю розчину $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ і в центрі утвореної плями вміщують 1 краплю досліджуваного розчину. При цьому усі катіони III і IV аналітичних груп, крім Al^{3+} , осаджуються у вигляді гексаціанофератів і залишаються в центрі плями, тоді як Al^{3+} -іони по капілярах переміщуються на периферію плями. Після цього обробляють пляму аміаком, тримаючи папір над отвором склянки з розчином аміаку і змочують зовнішню зону плями розчином алізарину. Потім обробляють пляму газоподібним аміаком, папір висушують і зовнішню зону плями змочують розчином CH_3COOH з $\text{C}_\text{H}=1,0$. За наявності Al^{3+} -іонів з'являється рожеве кільце.

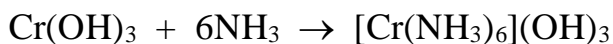
9.3.2 Виявлення Cr^{3+} -іонів

9.3.2.1 Реакція з лугами. Гідроксиди лужних металів осаджують $\text{Cr}(\text{OH})_3$ сіро-зеленого кольору, який розчиняється у надлишку лугів і в кислотах:





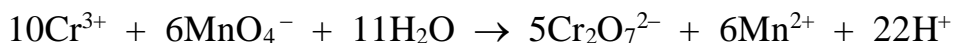
9.3.2.2 Реакція з аміаком. Розчини аміаку осаджують $\text{Cr}(\text{OH})_3$, який не розчиняється у солях амонію, але трохи розчиняється у надлишку аміаку з утворенням комплексного аміакату фіолетового кольору:



9.3.2.3 Окиснення Cr^{3+} до CrO_4^{2-} у лужному середовищі. До 0,5 мл досліджуваного розчину доливають 2-3 мл концентрованого лугу, перемішують і краплями приливають 1-2 мл H_2O_2 . Суміш нагрівають до кипіння. Розчин забарвлюється в жовтий колір:



9.3.2.4 Окиснення Cr^{3+} до $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ у кислому середовищі. До 0,5 мл досліджуваного розчину добавляють 7-8 крапель сульфатної кислоти з $C_{\text{H}} = 2,0$, 2 мл розчину KMnO_4 з $C_{\text{H}} = 0,1$ і суміш нагрівають 4-5 хв. За наявності Cr^{3+} -іонів розчин забарвлюється в оранжевий колір:



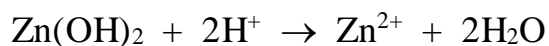
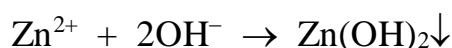
9.3.2.5 Утворення пероксиду хрому CrO_5 . У пробірку додають 0,5 мл H_2O_2 , 0,5 мл розчину сульфатної кислоти з $C_{\text{H}} = 2,0$ та 0,5 мл етеру (ефіру) або амілового спирту, суміш збовтують, після чого додають 2-3 краплі досліджуваного розчину (який містить $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ -іони) і знову збовтують. Верхній шар (етер, аміловий спирт) забарвлюється в синій колір:



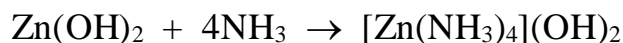
Реакція чутлива – 2,5 мкг і специфічна.

9.3.3 Виявлення Zn^{2+} -іонів

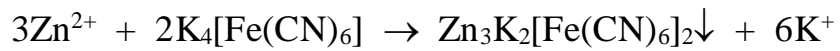
9.3.3.1 Реакція з лугами. Гідроксиди лужних металів осаджують із водних розчинів осад $\text{Zn}(\text{OH})_2$ білого кольору, розчинний у надлишку реактиву і кислотах:



9.3.3.2 Реакція з аміаком. Аміак утворює з катіоном Zn^{2+} осад гідроксиду, який розчиняється у надлишку аміаку, а також в солях амонію:



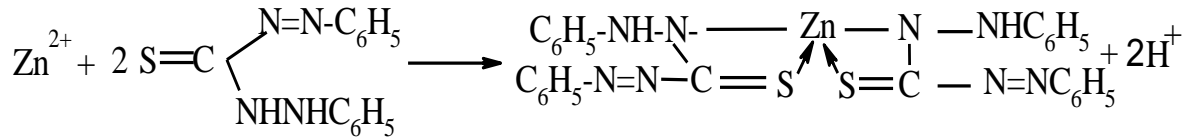
9.3.3.3 Реакція з $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Додайте у пробірку 2-3 краплі розчину солі цинку і 3 краплі $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, нагрійте суміш до кипіння, при цьому утворюється білий осад, який не розчиняється в кислотах, а з лугами утворює цинкат:



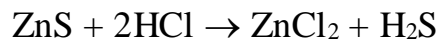
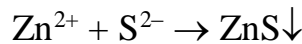
Реакція дозволяє відрізнити катіон Al^{3+} від Zn^{2+} .

9.3.3.4 При додаванні хлороформного розчину дитизону до водного розчину солі цинку ($\text{pH} > 7$) утворюється цинк дитизонат, який забарвлює хлороформний шар у червоний колір.

Чутливість реакції 0,025 мкг.



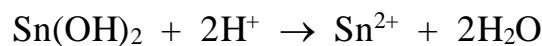
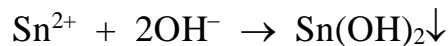
9.3.3.5 Натрій сульфід осаджує із водних розчинів солей цинку білий осад цинк сульфід, нерозчинний у оцтовій кислоті, розчинний у розведеній HCl :



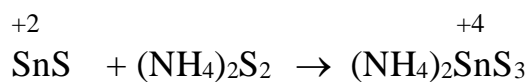
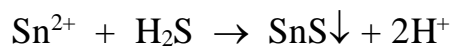
9.3.4 Виявлення Sn^{2+} -іонів

Станум утворює два ряди сполук, у яких має ступінь окиснення +2 і +4. Розчини солей станума незабарвлені (безкольорові).

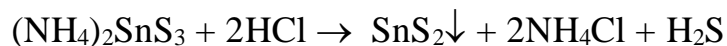
9.3.4.1 Гідроксиди лужних металів осаджують із розчинів солей станума (II) білий осад, розчинний у надлишку луку і в кислотах:



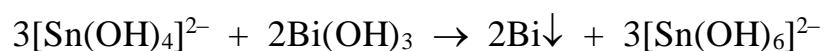
При дії H_2S (за наявності HCl) на Sn^{2+} -іони утворюється темно-бурий осад SnS основного характеру, нерозчинний у лугах і сульфідах амонію (натрію), розчинний в $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2$:



Тіосоли розкладаються мінеральними кислотами:



9.3.4.2 Солі станума (II) – сильні відновники; відновлюють солі бісмуту (III) і меркурію (II) у лужному середовищі:



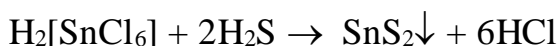
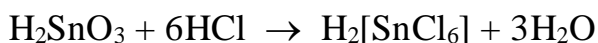
Утворюються чорні осади Bi і Hg .

9.3.5 Виявлення станума (IV)

9.3.5.1 Реакція з купфероном $C_6H_5N(NO)ONH_4$.

Реактив утворює з станум (IV) у кислому середовищі малорозчинний осад. За допомогою цього реактиву можна кількісно осадити і вилучити станум (IV) від більшості інших елементів.

9.3.5.2 При дії H_2S ($pH \approx 0,5$) на розчин станума (IV), підкисленого HCl , утворюється жовтий осад SnS_2 , розчинний в Na_2S і лугах, але нерозчинний в $(NH_4)_2CO_3$:



Заповніть таблицю 9.1 (домашнє завдання).

Таблиця 9.1– Якісні реакції катіонів IV аналітичної групи

Катіон	Номер реакції, реагент	Продукт реакції і його властивості
Al^{3+}		
Cr^{3+}		
Zn^{2+}		
Sn^{2+}		

9.4 Аналіз суміші Al^{3+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} , Sn^{2+} -іонів

До розчину, який аналізують (біля 1 мл), додають 1 мл розчину аміаку і стільки ж H_2O_2 , суміш нагрівають на водяній бані 5-7 хв. Утворений осад (I) $Al(OH)_3$ центрифугують (фільтрують), розчиняють у 0,5 мл HCl і виявляють Al^{3+} -іони характерними реакціями.

Центрифугат (фільтрат), що містить CrO_4^{2-} , $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$, SnO_3^{2-} нейтралізують CH_3COOH , нагрівають на водяній бані 2-3 хв, додають 0,5мл розчину Na_2CO_3 і осаджують цинк у вигляді основної солі $Zn_2(OH)_2CO_3$.

Осад (II) вилучають і розчиняють у 5-6 краплях CH_3COOH та виявляють Zn^{2+} -іони.

Фільтрат може містити CrO_4^{2-} -аніон, який виявляють за допомогою реакції утворення надхромової кислоти H_2CrO_6 (пероксиду хрому CrO_5).

Таблиця 9.2 – Хід аналізу суміші катіонів IV аналітичної групи

1) До досліджуваного розчину додають розчини NH_3 і H_2O_2 , вміст пробірки нагрівають і центрифугують (фільтрують)		
2) Осад (I) $\text{Al}(\text{OH})_3$ обробляють HCl і визначають Al^{3+} -іони характерними реакціями – реакція з алізарином	3) Центрифугат (фільтрат) (I) CrO_4^{2-} , $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, SnO_3^{2-} – нейтралізують CH_3COOH , додають розчин Na_2CO_3 і центрифугують (фільтрують)	
	4) Осад (II) $\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ розчиняють у CH_3COOH і виявляють Zn^{2+} -іони	5) Центрифугат (фільтрат) (II) – CrO_4^{2-} -іони виявляють у вигляді CrO_5 , SnO_3^{2-} - реакцією з H_2S або купфероном

☞ Якщо відомо, що у досліджуваному розчині відсутні йони Арсену та Стануму, то катіони Цинку виявляють в окремій пробі розчину 1 реакціями 46 та 47.

Якщо ймовірно, що у розчині 1 присутні йони і Цинку, і Арсену, і Стануму, **то йони Цинку спочатку відокремлюють**. Для цього відбирають пробу розчину 1, для відрегулювання кислотності нейтралізують до слабокислої реакції, додають 2-3 cm^3 розчину хлоридної кислоти ($C_m=2$), нагрівають до кипіння і пропускають у розчин сірководень до утворення осаду. Центрифугують, перевіряють на повноту осадження і відокремлюють осад (**осад 2**) від розчину, який далі не аналізують.

Осад 2 переносять у фарфорову чашку і при слабкому нагріванні паличкою додають до нього 2-3 cm^3 розчину амонію полісульфіду. Центрифугують і відокремлюють осад (**осад 3**) від розчину. **Осад 3** – цинк сульфід – розчиняють у концентрованій хлоридній кислоті, нейтралізують і виявляють йони Цинку реакцією 46.

Лабораторна робота № 10

Якісні реакції на катіони V аналітичної групи

10.1 Мета: навчитися виявляти катіони п'ятої аналітичної групи за допомогою характерних реакцій

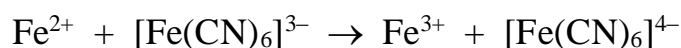
10.2 Короткі теоретичні відомості

Груповим реактивом на катіони цієї групи є NaOH , який осаджує відповідні гідроксиди $\text{Me}(\text{OH})_n$, нерозчинні у надлишку реагенту, розчинні у сильних кислотах.

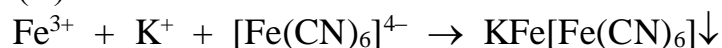
10.3 Експериментальна частина

10.3.1 Виявлення Fe^{2+} -іонів

10.3.1.1 Калій гексаціаноферат (III) $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ окиснює Fe^{2+} в Fe^{3+} :



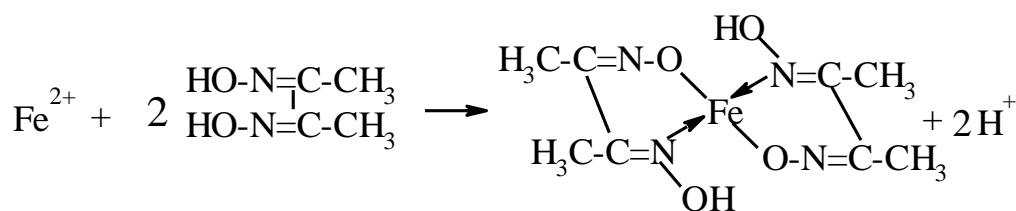
Fe³⁺-іони, які утворюються при цьому, взаємодіють з аніоном гексаціаноферату (II):



Сполука KFe[Fe(CN)₆] носить тривіальну назву турнбулевої блакиті і за даними рентгеноструктурних досліджень ідентична з берлінською блакиттю KFe[Fe(CN)₆], яка одержується в реакції Fe³⁺ з K₄[Fe(CN)₆]. Реакція проводиться у кислому середовищі (pH=2,0). Чутливість реакції – 0,05 мкг.

Додайте у пробірку 1-2 краплі розчину солі ферума (II) і 1-2 краплі розчину K₃[Fe(CN)₆]. Миттєво утворюється осад турнбулевої блакиті.

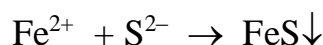
10.3.1.2 Діацетилдіоксим у аміачному середовищі утворює з Fe^{2+} -іонами комплекс:



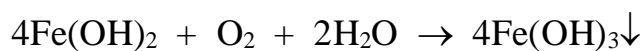
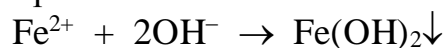
Додайте у пробірку 1-2 краплі розчину солі Fe^{2+} , 1 краплю розчину винної (тарtratної) кислоти, 2-3 краплі розчину аміаку і 2-3 краплі спиртового розчину діацетилдіоксиму. Розчин забарвлюється у карміново-червоний колір.

Заважають: Ni^{2+} -іони, які можна зв'язати у комплекс $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-}$. Чутливість реакції – 0,4 мкг.

10.3.1.3 Амоній сульфід утворює з Fe^{2+} -іонами чорний осад, розчинний у розведених мінеральних кислотах:

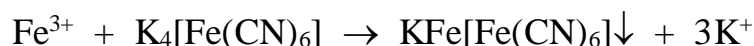


10.3.1.4 Гідроксиди лужних металів осаджують зелений осад $\text{Fe}(\text{OH})_2$, який буріє на повітрі:



10.3.2 Виявлення Fe^{3+} -іонів

10.3.2.1 Калій гексаціаноферат (II) у слабкокислому середовищі утворює темно-синій осад берлінської блакиті:



Додайте у пробірку 1-2 краплі розчину солі Fe^{3+} , 1-2 краплі розчину HCl і 2-3 краплі розчину $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, випадає осад берлінської блакиті.

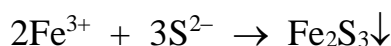
Реакція специфічна і чутлива (0,05 мкг); гранична концентрація – $1:1 \cdot 10^6$; граничне розведення – 1000000.

10.3.2.2 Реакція з NH_4SCN (KSCN). Додайте у пробірку 1 краплю розчину солі Fe^{3+} і 5 крапель води, потім 3-5 крапель розчину NH_4SCN (KSCN). З'являється криваво-червоне забарвлення.

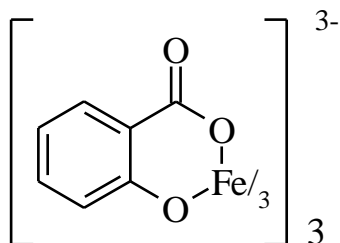
Склад комплексу, що утворюється, непостійний, залежить від концентрації Fe^{3+} і роданід-іонів, може коливатися від $[\text{Fe}(\text{SCN})]^{2+}$ до $[\text{Fe}(\text{SCN})_6]^{3-}$.

Чутливість реакції – 0,25 мкг. Заважають: PO_4^{3-} , AsO_4^{3-} , F^- , NO_2^- -іони.

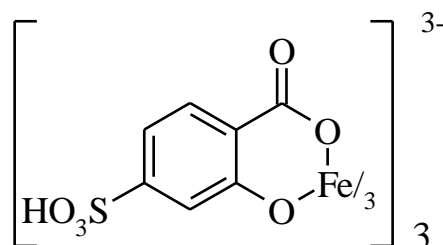
10.3.2.3 Натрій сульфід осаджує із розчинів солей Fe^{3+} осад чорного кольору, розчинний у мінеральних кислотах:



10.3.2.4 Сульфосаліцилова ($\text{pH} < 7$) і саліцилова ($\text{pH} > 7$) кислоти утворюють з Fe^{3+} -іонами комплекси червоно-фіолетового і жовтого кольору відповідно:



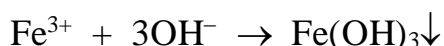
Ферум (III) саліцилат



Ферум (III) сульфосаліцилат

Чутливість реакції 5-10 мкг.

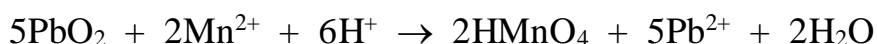
10.3.2.5 Гідроксиди лужних металів осаджують із розчинів солей Fe^{3+} осад, нерозчинний у надлишку реагенту:



10.3.3 Виявлення Mn^{2+} -іонів

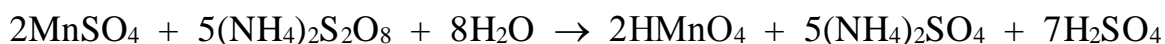
10.3.3.1 Дія окисників:

10.3.3.1.1 Додайте у пробірку 1 краплю розчину солі $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ або MnSO_4 (але не $\text{MnCl}_2!$), 5 крапель розведеної (1:1) нітратної (азотної) кислоти і невелику кількість PbO_2 (0,1г). Нагрійте суміш до кипіння, охолодіть, додайте 1-2 краплі дистильованої води, при цьому з'являється малиново-червоне забарвлення:



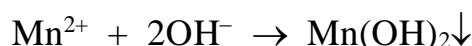
Реакція специфічна, дозволяє виявити Mn^{2+} за наявності усіх інших катіонів.

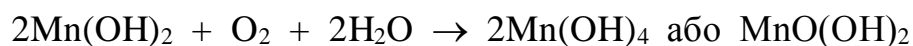
10.3.3.1.2 Амоній пероксодисульфат $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ окиснює Mn^{2+} -іон у MnO_4^- -іон у кислому середовищі:



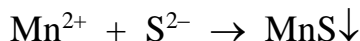
Реакцію виконують при нагріванні, каталізатор AgNO_3

10.3.3.2 Гідроксиди лужних металів осаджують із розчинів солей Mn^{2+} білий осад, який поступово буріє на повітрі:





10.3.3.3 Амоній сульфід осаджує із розчину солей Mn^{2+} осад тілесного кольору, який розчиняється у розведених мінеральних кислотах:

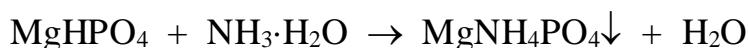
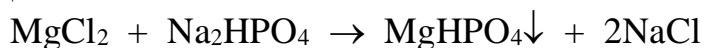


10.3.3.4 Реакція з $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ (за М.О.Тананаєвим). На фільтрувальний папір помістіть 1 краплю розчину, який досліджують, і 1 краплю розчину $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$. За наявності Mn^{2+} -іонів з'являється чорно-бура пляма:



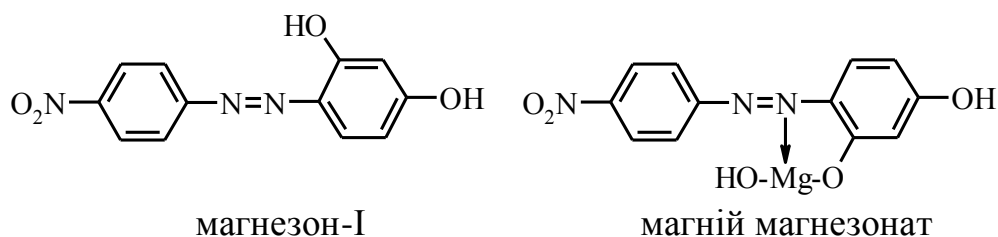
10.3.4 Виявлення Mg^{2+} -іонів

10.3.4.1 Реакція з Na_2HPO_4 . Додайте у пробірку по 2-3 краплі розчинів MgCl_2 і NH_4Cl та 2-3 краплі розчину Na_2HPO_4 . Перемішайте суміш скляною паличкою і додайте розчин аміаку до лужного середовища. Випадає білий кристалічний осад:



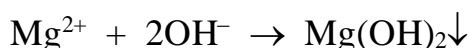
Заважають Li^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} і інші катіони, які утворюють нерозчинні фосфати. Чутливість – 10 мкг.

10.3.4.2 Магнезон-І (п-нітробензеназорезорцин) здатний у лужному середовищі адсорбуватися на осаді $\text{Mg}(\text{OH})_2$, змінюючи при цьому червоно-фіолетове забарвлення на синє забарвлення осаду:



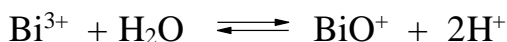
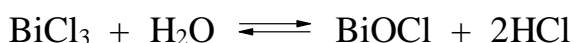
Заважають: Ni^{2+} , Cd^{2+} , Co^{2+} і ін. Чутливість – 0,5 мкг.

10.3.4.3 Їдкі луги за відсутності солей амонію осаджують Mg^{2+} у вигляді аморфного осаду, який розчиняється у кислотах і солях амонію:

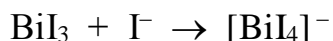


10.3.5 Виявлення Bi^{3+} -іонів

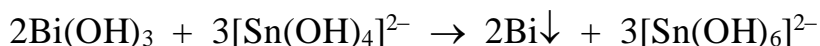
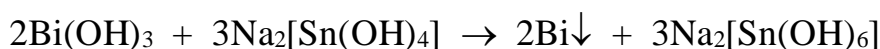
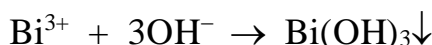
10.3.5.1 Гідроліз солей бісмуту. Розведіть 2-3 краплі розчину BiCl_3 або $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{NH}_4\text{Cl}$ 2-3-кратним об'ємом дистильованої води, при цьому випадає білий осад:



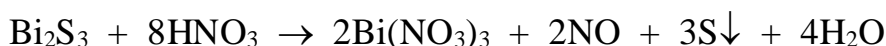
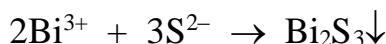
10.3.5.2 Калій йодид осаджує із розчину солей Bi^{3+} чорний осад, розчинний у надлишку KI:



10.3.5.3 Відновлення Bi^{3+} -іонів. Додайте у пробірку 2-3 краплі солі Bi^{3+} , декілька крапель розчину NaOH (KOH) до появи осаду і потім 2-3 краплі розчину станум дихлориду SnCl_2 , випадає чорний осад Bi:



10.3.5.4 Натрій сульфід утворює з Bi^{3+} -іонами чорний осад, нерозчинний у розведених кислотах, крім HNO_3 :



Заповніть таблицю 10.1 (домашнє завдання).

Таблиця 10.1 – Якісні реакції катіонів V аналітичної групи

Катіон	Номер реакції	Продукт реакції, його властивості
Fe^{2+}		
Fe^{3+}		
Mn^{2+}		
Mg^{2+}		
Bi^{3+}		

10.4 Аналіз суміші Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , Bi^{3+} -іонів

Спочатку з окремих проб досліджуваного розчину виявляють катіони Fe^{2+} і Fe^{3+} за допомогою $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ і $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_4]$.

Якщо катіони V аналітичної групи в досліджуваному розчині містяться у вигляді осаду $\text{Me}(\text{OH})_n$, то його розчиняють у HCl (до pH=4-6), додають п'ятикратний об'єм дистильованої води. За наявності солей Bi^{3+} випадає осад (I), який розчинюють у концентрованій HCl і відкривають Bi^{3+} -іони реактивом SnCl_2 у лужному середовищі.

Центрифугат (фільтрат), що містить Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} , обробляють розчином NaOH , додають H_2O_2 і нагрівають. Осад (II) – $\text{Fe}(\text{OH})_3$, MnO_2 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – центрифугують (фільтрують) і обробляють розчином NH_4Cl для вилучення $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Mg^{2+} -іони виявляють у фільтраті (центрифугаті) за допомогою реактиву Na_2HPO_4 або інших.

Осад (III) – $\text{Fe}(\text{OH})_3$ і MnO_2 – обробляють розведеною нітратною (азотною) кислотою HNO_3 для розчинення осаду залізо (III) гідроксиду $\text{Fe}(\text{OH})_3$, після чого Fe^{3+} -іони виявляють характерними реакціями.

Осад (IV) MnO_2 розчиняють у HCl або H_2SO_4 і виявляють Mn^{2+} -іони реакцією окиснення його до MnO_4^- -аніону.

Хід аналізу катіонів V аналітичної групи – див. таблицю 10.2.

Таблиця 10.2 – Хід аналізу катіонів V аналітичної групи

1) Якщо катіони V аналітичної групи містяться у вигляді осаду $\text{Me}(\text{OH})_n$, то його розчиняють в HCl .	
2) Відкривають Fe^{2+} і Fe^{3+} з $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ і $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ в окремих пробах.	
3) Солянокислий розчин нейтралізують розчином NaOH з $C_H = 0,5$ до появи слабкої каламуті, яку розчиняють, додаючи кілька крапель HCl . Розбавляють п'ятикратним об'ємом дистильованої води, центрифугують (фільтрують).	
4) Осад (I) BiOCl промивають водою, розчиняють в HCl і виявляють Bi^{3+} -іони характерними реакціями.	5) Центрифугат (фільтрат) (I) Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Mg^{2+} осаджують $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}_2$, нагрівають, центрифугують (фільтрують).
6) Осад (II) $\text{Fe}(\text{OH})_3$, MnO_2 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$ обробляють розчином NH_4Cl .	
7) Фільтрат (III) MgCl_2 . Mg^{2+} -іони виявляють з Na_2HPO_4 і ін.	8) Осад (III) $\text{Fe}(\text{OH})_3$ і MnO_2 розчиняють у розведеній нітратній кислоті HNO_3 .
9) Осад (IV) MnO_2 розчиняють в HCl і Mn^{2+} -іони окиснюють в MnO_4^- -аніон.	10) Фільтрат (IV) Fe^{3+} виявляють з амоній роданідом NH_4SCN

Лабораторна робота № 11

Якісні реакції на катіони VI аналітичної групи

11.1 Мета: навчитися виявляти катіони шостої аналітичної групи характерними реакціями

11.2 Короткі теоретичні відомості

Груповим реактивом на катіони цієї аналітичної групи є розчин аміаку, який осаджує осад $\text{Me}(\text{OH})_n$, розчинні у надлишку реагенту.

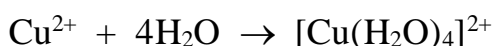
11.3 Експериментальна частина

11.3.1 Виявлення Cu^{2+} -іонів.

11.3.1.1 До 1-2 крапель розчину купрум (II) сульфату додайте 1-2 краплі розведеного розчину аміаку, випадає синьо-зелений осад, розчинний у надлишку реактиву:

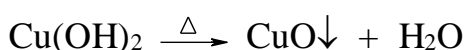
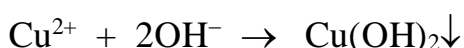


Тетраамінкупрум (II) – іон руйнується кислотами, внаслідок чого синє забарвлення переходить в блакитне:

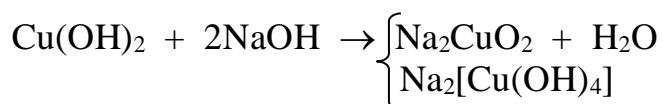
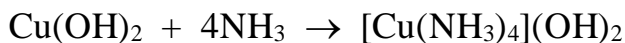


Заважають: Ni^{2+} , Co^{2+} .

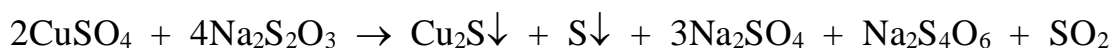
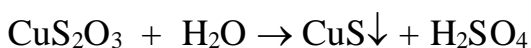
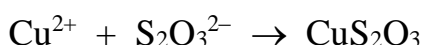
11.3.1.2 Їдкі луги осаджують із водних розчинів солей Cu^{2+} блакитний осад, який при нагріванні розкладається з утворенням чорного осаду:



$\text{Cu}(\text{OH})_2$ розчиняється у розчинах аміаку і в органічних кислотах (винна, лимонна), а також у концентрованих розчинах лугів:

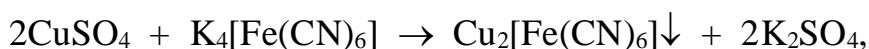


11.3.1.3 Натрій тіосульфат $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ осаджує чорний осад CuS (еквівалентні кількості) або осад Cu_2S і сірки (надлишок реагенту):

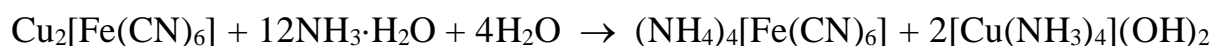


Реакція дозволяє вилучити Cu^{2+} -іон від Hg^{2+} -іонів (HgS нерозчинний в HNO_3).

11.3.1.4 Реакція з $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. До кількох крапель розчину солі Cu^{2+} додайте 1-2 краплі розчину $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, утворюється червоний осад:



який не розчиняється у розведених кислотах, розчиняється у розчині аміаку:



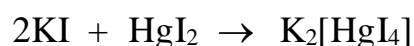
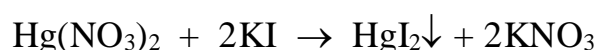
11.3.1.5 Полум'я газового пальника забарвлюється солями купруму в зелений колір.

11.3.2 Виявлення Hg^{2+} -іонів

11.3.2.1 Розчин аміаку осаджує із розчинів Hg^{2+} -іонів білий осад $[\text{HgNH}_2]^+$, розчинний у надлишку реактиву з утворенням незабарвленої комплексної сполуки:



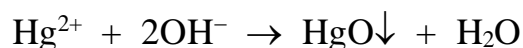
11.3.2.2 Реакція з KI. Додайте у пробірку 5 крапель розчину солі меркурію $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ і 1-2 краплі розчину KI. Випадає яскраво-червоний осад, розчинний у надлишку реагенту:



Заважають: Cu^{2+} , Ag^+ , Pb^{2+} , Bi^{3+} -іони.

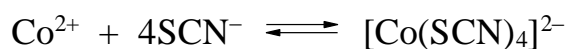
За наявності усіх катіонів Hg^{2+} -іони виявляють краплинним методом: на папері утворюється червона пляма HgI_2 , яка залишається при розмиванні реагентом у центрі плями.

11.3.2.3 Їдкі луги осаджують із розчинів солей Hg^{2+} жовтий осад:



11.3.3 Виявлення Co^{2+} -іонів

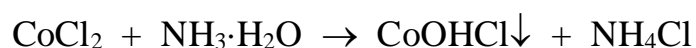
11.3.3.1 Реакція з NH_4SCN . У пробірку наливають 0,1-0,2 мл розчину солі Co^{2+} , додають 0,1-0,2 мл насиченого розчину NH_4SCN і 0,5 мл суміші амілового спирту і етеру (ефіру) (1:1), суміш збовтують, верхній шар при цьому забарвлюється у синій колір:

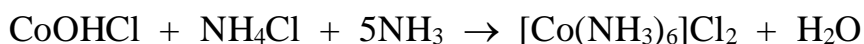


Чутливість реакції 0,5 мкг. Заважають: Cu^{2+} , Fe^{2+} , Bi^{3+} -іони.

За наявності усіх катіонів Co^{2+} -іони виявляють на фільтрувальному папері: наносять на папір краплю розчину NH_4SCN , краплю розчину, який досліджують, витримують папір у парі NH_3 і підсушують. За наявності Co^{2+} -іонів периферична частина плями набуває синього забарвлення.

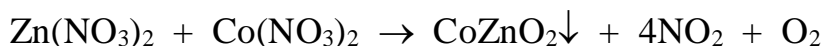
11.3.3.2 Реакція з аміаком. Розчин аміаку осаджує із розчинів солей Co^{2+} синій осад основної солі, розчинний у надлишку реактиву з утворенням комплексної сполуки жовтого кольору:





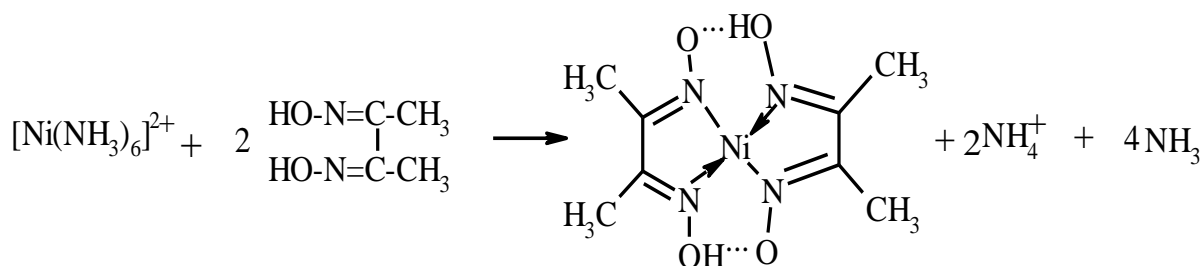
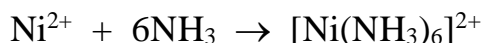
11.3.3.3 Сульфід осаджує CoS чорного кольору, який розчиняється у мінеральних кислотах.

11.3.3.4 Після спалювання шматочка фільтрувального паперу, змоченого розчином цинку і кобальт (II) нітратів, одержується попел зеленого забарвлення (“зелень Рінмана”):



11.3.4 Виявлення Ni^{2+} -іонів

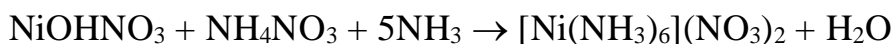
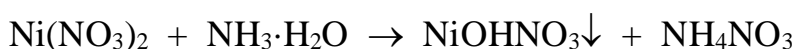
11.3.4.1 Дія реактиву Чугаєва. Додайте у пробірку 1 краплю розчину солі Ni^{2+} , 3-6 крапель розчину аміаку і 1-2 краплі спиртового розчину діацетилдіоксиму; утворюється комплексна сполука яскраво-червоного кольору:



Чутливість реакції 0,16 мкг, гранична концентрація $-1:3 \cdot 10^5$; граничне розведення – 300000.

Реакцію можна проводити на папері краплинним методом.

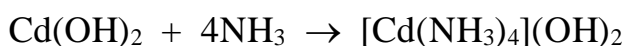
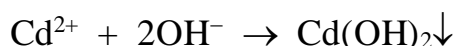
11.3.4.2 Розчин аміаку осаджує із розчинів солей Ni^{2+} зелений осад основної солі, розчинний у надлишку реактиву з утворенням комплексної солі синьо-червоного кольору:



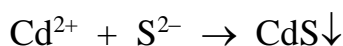
Ni^{2+} -іони можна виявити реакціями з сульфідами (чорний осад NiS), гідрогенфосфатами (зелений осад NiHPO_4) і ін.

11.3.5 Виявлення Cd^{2+} -іонів

11.3.5.1 Їдкі луги осаджують із розчинів солей Cd^{2+} білий осад, нерозчинний у надлишку лугів, розчинний у кислотах і розчині аміаку (незабарвлена комплексна сполука):



11.3.5.2 Сульфіди осаджують Cd^{2+} -іони у вигляді осаду CdS жовтого або оранжевого кольору (за $\text{pH} < 7$), нерозчинний у кислотах:



Заповніть таблицю 11.1(домашнє завдання).

Таблиця 11.1 – Якісні реакції катіонів VI аналітичної групи

Катіон	Номер реакції, реагент	Продукт реакції і його властивості
Cu^{2+}		
Hg^{2+}		
Ni^{2+}		
Co^{2+}		
Cd^{2+}		

11.4 Аналіз суміші Cu^{2+} , Hg^{2+} , Ni^{2+} , Co^{2+} , Cd^{2+} -іонів

Схема систематичного ходу аналізу катіонів VI аналітичної групи наведена в таблиці 11.2.

До досліджуваного розчину (0,5 мл) суміші катіонів VI аналітичної групи доливають 1 мл розчину аміаку з $\text{C}_\text{H}=2,0$, перемішують, нагрівають 2-3хв. Осад (I) – $\text{Co}(\text{OH})\text{Cl}$, HgNH_2Cl –центрифугують (фільтрують). Центрифугат (фільтрат) (I) може містити аміакати купруму (II), кадмію і ніколу.

Таблиця 11.2 – Схема систематичного ходу аналізу катіонів VI аналітичної групи

1) До досліджуваного розчину суміші катіонів VI аналітичної групи доливають розчин аміаку з $\text{C}_\text{H} = 2,0$, нагрівають 2-3 хв., охолоджують і центрифугують (фільтрують)	
2) Осад (I) HgNH_2Cl , CoOHCl обробляють розчином сульфатної кислоти з $\text{C}_\text{H} = 2,0$ і центрифугують (фільтрують)	3)Центрифугат (фільтрат): $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ нейтралізують розчином сульфатної кислоти з $\text{C}_\text{H} = 2,0$ до кислої реакції, добавляють кристали $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, нагрівають і центрифугують (фільтрують)
4) Осад (II) HgNH_2Cl розчиняють у концентрованій HNO_3 і виявляють Hg^{2+} -іони характерними реакціями (KI)	
6) Осад (III) Cu_2S розчиняють у розчині HNO_3 з $\text{C}_\text{H}=2,0$ і виявляють Cu^{2+} -іони з NH_3	5) Центрифугат (фільтрат) (II) CoSO_4 . Co^{2+} -іони виявляють за допомогою NH_4SCN
7) Центрифугат (фільтрат) (III) містить Ni^{2+} і Cd^{2+} -іони	8) Ni^{2+} -іони виявляють реактивом Чугаєва Cd^{2+} -іони – характерними реакціями

До осаду (I) додають 0,25 мл розчину H_2SO_4 з $C_{\text{H}}=2,0$, Co^{2+} -іони виявляють з NH_4SCN , а HgNH_2Cl залишається в осаді (II), який розчиняють у 0,25 мл концентрованої HNO_3 і виявляють Hg^{2+} -іони характерними реакціями.

Центрифугат (фільтрат) (I) нейтралізують розчином сульфатної (сірчаної) кислоти, додають кристалики $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, нагрівають на водяній бані 3-4 хв. Cu^{2+} -іони утворюють осад Cu_2S , Ni^{2+} і Cd^{2+} залишаються у розчині. Осад центрифугують (фільтрують), розчиняють Cu_2S в гарячій розведеній HNO_3 і виявляють Cu^{2+} -іони характерними реакціями.

У центрифугаті (фільтраті), розділивши його на дві частини, виявляють Cd^{2+} - і Ni^{2+} -іони характерними реакціями.

11.5 Аналіз суміші катіонів IV-VI аналітичних груп

Із окремих порцій розчину суміші катіонів виявляють Fe^{2+} -іони з $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ і Fe^{3+} -іони з $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

Якщо досліджуваний розчин містить осад, то його переміщують, відбирають 1,5 мл суміші в конічну колбу, додають 7-8 крапель HNO_3 з $C_{\text{H}}=2,0$, перемішують, нагрівають на водяній бані 4-5 хв. Якщо після нагрівання осад стає чорним або темно-сірим, то можуть бути відновлені Bi і Hg . Осад переносять у порцелянову чашку, розчиняють у 5-6 краплях концентрованої HNO_3 , розводять 0,5 мл дистильованої води і виявляють Hg^{2+} - і Bi^{3+} -іони характерними реакціями.

У тому випадку, коли осад повністю розчиняється в розведеній HNO_3 , відразу відокремлюють IV аналітичну групу катіонів. Для цього до розчину суміші катіонів IV-VI аналітичних груп, додають краплями розчин їдкого лугу до $\text{pH} = 9-10$, 5-6 крапель H_2O_2 , потім знову їдкого лугу до $\text{pH} = 10-12$. Суміш нагрівають на водяній бані 2-3 хв і центрифугують (фільтрують). В осаді (I) залишаються гідроксиди катіонів V і VI аналітичних груп, у фільтраті (I) – катіони IV аналітичної групи.

Фільтрат (I) нейтралізують HCl ($\text{pH} = 3,4$) і аналізують, як це описано в ході систематичного аналізу катіонів IV аналітичної групи.

Для розділення катіонів V і VI аналітичних груп, осад (I) розчиняють в HNO_3 , нагрівають і додають надлишок 25 %-ного розчину аміаку та кілька кристаликів NH_4Cl . Суміш перемішують, знову нагрівають на водяній бані і центрифугують (фільтрують). В осаді (II) залишаються гідроксиди катіонів V аналітичної групи, його розчиняють в HCl і аналізують, як це описано в систематичному ході аналізу катіонів V аналітичної групи.

В центрифугаті (фільтраті) залишаються катіони VI аналітичної групи у вигляді аміакатів і катіон Mg^{2+} , який виявляють в окремій пробі.

Центрифугат (фільтрат) (II) нейтралізують хлоридною кислотою HCl і аналізують, як це описано в ході систематичного аналізу катіонів VI аналітичної групи.

Схема систематичного ходу аналізу суміші катіонів IV-VI аналітичних груп наведено в таблиці 11.3.

Таблиця 11.3 – Систематичний хід аналізу суміші катіонів IV-VI аналітичних груп

1) Відкривають із окремих проб іони Fe^{2+} і Fe^{3+}	
2) До суміші катіонів IV-VI аналітичних груп додають NaOH до лужної реакції (pH = 10-12), розчин H_2O_2 і центрифугують (фільтрують)	
3) Осад (I): гідроксиди катіонів V і VI аналітичних груп розчиняють в HNO_3 при нагріванні, додають розчин аміаку і NH_4Cl , перемішують, нагрівають і центрифугують (фільтрують)	4) Центрифугат (фільтрат) (I) CrO_4^{2-} , ZnO_2^{2-} , AlO_2^- , SnO_3^{2-} нейтралізують хлоридною кислотою HCl (pH = 5-6) і аналізують на наявність катіонів IV аналітичної групи
5) Осад (II): гідроксиди катіонів V аналітичної групи. Аналізують за систематичним ходом аналізу катіонів V аналітичної групи	6) Центрифугат (фільтрат) (II): катіони VI аналітичної групи у вигляді аміакатів, Mg^{2+} -іони, які виявляють в окремій пробі характерними реакціями. Центрифугат (фільтрат) нейтралізують до pH = 3-4 і виявляють катіони VI аналітичної групи

11.6 Контрольні завдання

Аналіз суміші катіонів IV – VI аналітичних груп

- 481) Складіть схему систематичного ходу аналізу Al^{3+} -катіона за наявності Fe^{2+} - і Cd^{2+} -іонів. Чи заважають дані катіони виявленню Al^{3+} -катіона реактивом алізарином? Так / Ні? Чому?
- 482) Складіть схему систематичного ходу аналізу Sn^{2+} -катіона за наявності Fe^{2+} - і Ni^{2+} -іонів. За допомогою яких реактивів можна виявити Sn^{2+} -іони у сильно лужному середовищі?
- 483) Складіть схему систематичного ходу аналізу Cr^{3+} -катіона за наявності Bi^{3+} - і Co^{2+} -іонів. За допомогою якої специфічної реакції можна виявити $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ -аніон? Напишіть рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити такі перетворення: $\text{Cr}^{3+} \rightarrow \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} \rightarrow \text{CrO}_5$.
- 484) Складіть схему систематичного ходу аналізу Zn^{2+} -катіона за наявності Fe^{2+} - і Co^{2+} -іонів. Чи заважають дані катіони виявленню Zn^{2+} -катіона реакцією з $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$?
- 485) Складіть схему систематичного ходу аналізу Fe^{3+} -катіона за наявності Al^{3+} - і Ni^{2+} -іонів. Чи заважають дані катіони виявленню Fe^{3+} -катіона реакцією з NH_4SCN (KSCN)?

- 486) Складіть схему систематичного ходу аналізу Cu^{2+} -катиона за наявності Cr^{3+} - і Fe^{2+} -іонів. Чи впливають дані катіони на виявлення Cu^{2+} -іонів реакцією з $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$? Так / Ні? Чому?
- 487) Складіть схему систематичного ходу аналізу Cd^{2+} -катиона за наявності Zn^{2+} - і Fe^{3+} -іонів. Яким чином можна вилучити осад CdS від осаду, що містить ZnS і Fe_2S_3 ?
- 488) Складіть схему систематичного ходу аналізу Co^{2+} -катиона за наявності Sn^{2+} - і Fe^{3+} -іонів. Яким чином можна виявити Co^{2+} -катион за наявності усіх катіонів?
- 489) Складіть схему систематичного ходу аналізу Mn^{2+} -катиона за наявності Al^{3+} - і Co^{2+} -іонів. За допомогою якої реакції можна виявити Mn^{2+} -катиони за наявності усіх інших катіонів?
- 490) Складіть схему систематичного ходу аналізу Hg^{2+} -катиона за наявності Cr^{3+} - і Fe^{3+} -іонів. За допомогою якої реакції можна виявити Hg^{2+} -іони за наявності усіх катіонів?
- 491) Складіть схему систематичного ходу аналізу Ni^{2+} -катиона за наявності Zn^{2+} - і Mn^{2+} -іонів. Чи заважають дані катіони виявленню Ni^{2+} -іонів реактивом Чугаєва? Яка чутливість цієї реакції?
- 492) Складіть схему систематичного ходу аналізу Cu^{2+} -катиона за наявності Sn^{2+} - і Mn^{2+} -іонів. Чи заважають дані катіони виявленню Cu^{2+} -іонів реакцією з $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (надлишком)?
- 493) Складіть схему систематичного ходу аналізу Mg^{2+} -катиона за наявності Al^{3+} - і Hg^{2+} -іонів. Чому у даному випадку неможливо виявити Mg^{2+} -іони за допомогою реактиву Na_2HPO_4 ?
- 494) Складіть схему систематичного ходу аналізу Cd^{2+} -катиона за наявності Cr^{3+} - і Mn^{2+} -іонів. Яким чином можна вилучити осад CdS від осаду, що містить Cr_2S_3 і MnS ?
- 495) Складіть схему систематичного ходу аналізу Cu^{2+} -катиона за наявності Zn^{2+} - і Mg^{2+} -іонів. Чи заважають дані іони виявленню Cu^{2+} -іонів дією на суміш надлишку водного розчину аміаку? Так / Ні?
- 496) Складіть схему систематичного ходу аналізу Sn^{2+} -катиона за наявності Mg^{2+} - і Co^{2+} -іонів. Чи заважають дані катіони виявленню Sn^{2+} -іонів реакцією з $\text{Bi}(\text{OH})_3$ у сильно лужному середовищі? Так / Ні?

- 497) Складіть схему систематичного ходу аналізу Bi^{3+} -катиона за наявності Al^{3+} - і Cu^{2+} -іонів. Чи заважають дані катіони виявленню Bi^{3+} -іонів реакцією з KI ? Так / Ні? Чому?
- 498) Складіть схему систематичного ходу аналізу Ni^{2+} -катиона за наявності Cr^{3+} - і Mg^{2+} -іонів. Чи заважають дані катіони виявленню Ni^{2+} -іонів реактивом Чугаєва? Так / Ні?
- 499) Складіть схему систематичного ходу аналізу Zn^{2+} -катиона за наявності Bi^{3+} - і Co^{2+} -іонів. Чи заважають дані катіони виявленню Zn^{2+} -іонів реактивом $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$? Так / Ні?
- 500) Складіть схему систематичного ходу аналізу Cd^{2+} -катиона за наявності Sn^{2+} - і Bi^{3+} -іонів. Яким чином можна вилучити осад CdS від осаду, що містить ZnS і Bi_2S_3 ?

11.6 Аналіз суміші катіонів шести аналітичних груп

Перед тим, як аналізувати суміш катіонів усіх аналітичних груп, необхідно зробити певні спостереження:

- якщо розчин безбарвний, то можна зробити висновок про відсутність катіонів Cr^{3+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Co^{2+} і Ni^{2+} ;
- нейтральне середовище свідчить про відсутність катіонів Sn^{2+} , $\text{Sn}(\text{IV})$, Bi^{3+} , Hg^{2+} , солі яких гідролізуються і зумовлюють кисле середовище;
- в окремій пробі до розчину додають сульфатну кислоту, якщо осад не утворюється, то відсутні катіони Pb^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , а можливо, і Ca^{2+} -іони;
- якщо осад не випадає при додаванні хлоридної (соляної) кислоти HCl , то відсутні катіони Ag^+ , Hg_2^{2+} і, можливо, Pb^{2+} -іони;
- якщо (в окремій пробі) при додаванні розчину NaOH і SnCl_2 не з'являється чорний осад, то відсутні катіони Bi^{3+} , Hg^{2+} , Hg_2^{2+} .

Хід аналізу

В окремих пробах досліджуваного розчину попередньо виявляють катіони Fe^{2+} , Fe^{3+} та NH_4^+ .

Потім до розчину додають краплями концентровану HCl і осаджують катіони Pb^{2+} , Ag^+ , Hg_2^{2+} , центрифугують (фільтрують), осад промивають підкисленою водою і виявляють катіони другої аналітичної групи, як це описано вище.

Із центрифугату (фільтрату) розчином сульфатної кислоти з $C_H = 2,0$ осаджують катіони третьої аналітичної групи. Осад (BaSO_4 , SrSO_4 , CaSO_4) відокремлюють центрифугуванням (фільтруванням) і аналізують на наявність катіонів третьої аналітичної групи. Центрифугат (фільтрат) ділять

на дві частини: в першій виявляють катіони першої аналітичної групи, в другій – катіони четвертої, п'ятої та шостої аналітичних груп. Для цього відбирають 1 мл розчину, нейтралізують його до слабколужної реакції концентрованим розчином аміаку, додають 5-6 крапель розчину $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, суміш перемішують, осад центрифугують (фільтрують). Фільтрат випаровують до вилучення NH_4^+ -іонів, прожарюють сухий залишок, розчиняють його в 5-6 краплях дистильованої води і виявляють Na^+ і K^+ -іони.

У центрифугаті (фільтраті) після відокремлення катіонів третьої аналітичної групи виявляють катіони четвертої, п'ятої і шостої аналітичних груп. Для цього центрифугат (фільтрат) нейтралізують NaOH до $\text{pH} = 10-12$, додають розчин H_2O_2 і аналізують, як це описано при систематичному ході аналізу суміші катіонів IV – VI аналітичних груп.

В таблиці 11.4 наведено систематичний хід аналізу суміші катіонів першої – шостої аналітичних груп.

Таблиця 11.4 – Систематичний хід аналізу суміші катіонів I-VI аналітичних груп

1) Попередні випробування. В окремих пробах досліджуваного розчину виявляють катіони Fe^{2+} , Fe^{3+} , NH_4^+ .	
2) Відокремлення катіонів підгрупи аргентума. До 3-5 мл розчину, нагрітого до кипіння, додають розчин HCl з $\text{C}_\text{H} = 2,0$, перевіряють на повноту осадження і центрифугують (фільтрують).	
3) Осад (I) – AgCl , PbCl_2 , Hg_2Cl_2 , промивають підкисленою водою і виявляють катіони другої аналітичної групи.	4) Із центрифугату (фільтрату) (I) розчином сульфатної кислоти з $\text{C}_\text{H} = 2,0$ осаджують BaSO_4 , SrSO_4 , CaSO_4 , PbSO_4 (частково), центрифугують (фільтрують) і аналізують на присутність катіонів третьої аналітичної групи.
5) Центрифугат (фільтрат) (II) ділять на дві частини: перша частина – виявляють катіони першої аналітичної групи; друга частина – виявляють катіони четвертої, п'ятої та шостої аналітичних груп.	

Лабораторна робота № 12

Аналіз аніонів. Класифікація аніонів

12.1 Мета: засвоїти класифікацію аніонів та навчитися розрізняти їх за допомогою характерних реакцій.

12.2 Короткі теоретичні відомості

В основу класифікації аніонів покладена різна розчинність солей барію і аргентуму. Усі аніони можна поділити на три аналітичні групи (таблиця 12.1).

Таблиця 12.1 – Класифікація аніонів

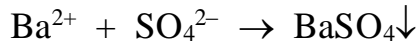
Група	Аніони	Груповий реактив	Характеристика груп
I	SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , SO_3^{2-} , PO_4^{3-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$, CrO_4^{2-}	BaCl_2 у нейтральному або слабо лужному розчині	Солі барію не розчинні у воді
II	Cl^- , Br^- , I^- , S^{2-}	AgNO_3 за наявності HNO_3	Солі аргентума не розчинні у воді і розведеної HNO_3
III	NO_3^- , NO_2^- , CH_3COO^-	Групового реактиву немає	Солі барію і аргентума розчинні у воді

Групові реактиви використовуються не для вилучення групи аніонів, а для того, щоб зробити висновок: чи варто далі проводити реакції для виявлення кожного з аніонів даної групи.

12.3 Експериментальна частина

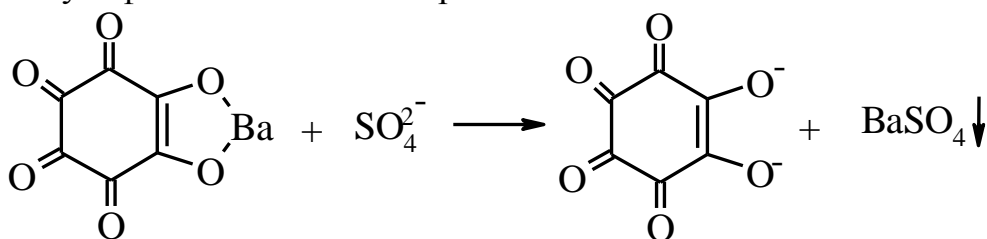
12.3.1 Виявлення SO_4^{2-} -іонів

12.3.1.1 З солями барію сульфати утворюють білий кристалічний осад, який не розчиняється у воді, кислотах і лугах:



Чутливість реакції підвищується при додаванні 1 краплі розчину KMnO_4 – осад BaSO_4 набуває фіолетового забарвлення.

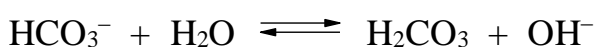
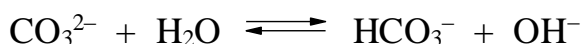
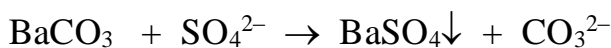
12.3.1.2 Реакція з барій родизонатом. На шматочок фільтрувального паперу наносять краплю розчину барій дихлориду BaCl_2 і краплю розчину натрій родизонату або родизонової кислоти. Утворюється червона пляма барій родизонату. Пляму змочують розчином, який досліджують (1-2 краплі). За наявності сульфат-іонів SO_4^{2-} забарвлення миттєво зникає:



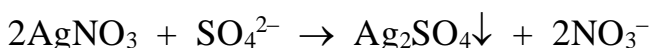
Чутливість реакції 5 мкг.

12.3.1.3 Реакція з BaCO_3 . 2-3 краплі розчину, що аналізують, з нейтральною реакцією ($\text{pH} = 7$) і 2-3 краплі суспензії BaCO_3 (х.ч.) випаровують у тиглі на водяній бані, сухий залишок змочують 1 краплею розчину фенол-

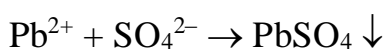
фталеїну. За наявності SO_4^{2-} -іонів, індикатор забарвлюється у малиново-червоний колір:



12.3.1.4 Аргентум (I) нітрат з SO_4^{2-} -іонами в концентрованих розчинах утворює білий осад, який розчиняється в HNO_3 :

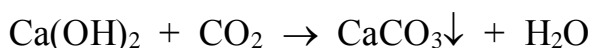
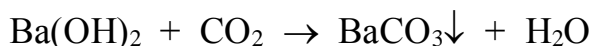
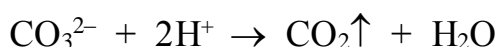


12.3.1.5 Плюмбум (II) нітрат з SO_4^{2-} -іонами утворює білий кристалічний осад, практично нерозчинний у воді та кислотах, добре розчинний в амоній ацетаті, утворюючи стійкий ацетатний комплекс:

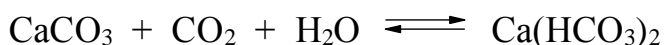
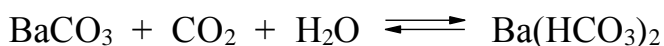


12.3.2 Виявлення CO_3^{2-} -іонів

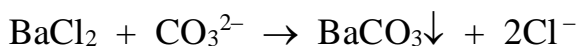
12.3.2.1 Карбонати лужних металів добре розчиняються у воді, решта карбонатів – погано. Усі карбонати розчиняються у мінеральних і оцтовій кислотах з виділенням CO_2 , який можна виявити (газовідвідна трубка!) за допомогою баритової або вапняної води:



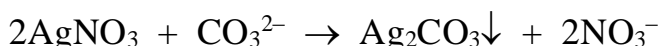
Осад розчиняється при додаванні надлишку CO_2 :



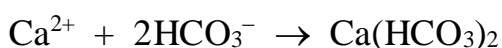
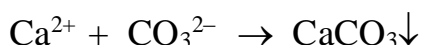
12.3.2.2 Барій дихлорид утворює з CO_3^{2-} -іонами білий осад, який розчиняється в кислотах (крім сульфатної кислоти):



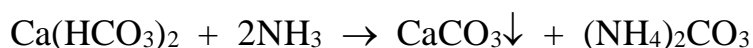
12.3.2.3 Аргентум (I) нітрат утворює з CO_3^{2-} -іонами білий осад, який розчиняється у кислотах (крім HCl):



12.3.2.4 Для виявлення HCO_3^- -іонів за наявності CO_3^{2-} -іонів до аналізованого розчину додають надлишок CaCl_2 :

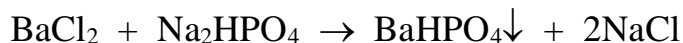


Осад CaCO_3 вилучають і до центрифугату (фільтрату) додають розчин аміаку. За наявності HCO_3^- -іонів знову виділяється осад:



12.3.3 Виявлення PO_4^{3-} -іонів

12.3.3.1 Барій дихлорид утворює з фосфат-іонами білий осад, який розчиняється у кислотах (крім сульфатної кислоти):

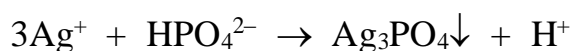


З лужних розчинів виділяється білий осад $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$.

12.3.3.2 Магnezіальна суміш ($\text{MgCl}_2 + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_3$) з аніоном PO_4^{3-} утворює білий кристалічний осад, який розчиняється в оцтовій і мінеральних кислотах:

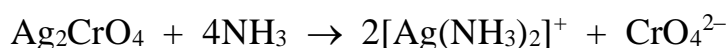


12.3.3.3 Аргентум (I) нітрат з PO_4^{3-} -іонами утворює жовтий осад, який розчиняється в розчині HNO_3 і у розчині аміаку:



12.3.4 Виявлення CrO_4^{2-} -іонів

12.3.4.1 З іонами Ag^+ , Ba^{2+} , Pb^{2+} хромат-іони CrO_4^{2-} утворюють важкорозчинні сполуки: Ag_2CrO_4 – цеглисто-червоного забарвлення, розчиняється в HNO_3 і у розчині аміаку:

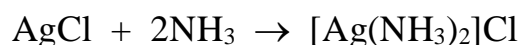
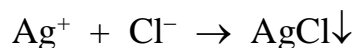


BaCrO_4 – жовтий осад, PbCrO_4 – жовтий осад, розчинний в HNO_3 і в розчинах їдких лугів:

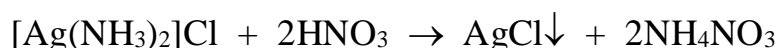


12.3.5 Виявлення Cl^- -іонів

12.3.5.1 Аргентум (I) нітрат утворює з Cl^- -іонами сироподібний білий осад, розчинний у розчині аміаку, нерозчинний у розведених кислотах:

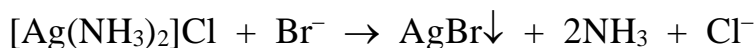


При дії HNO_3 комплексний іон розкладається:



AgCl розчиняється у розчинах $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ і KCN з утворенням дуже стійких комплексів: $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ і $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$.

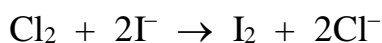
12.3.5.2 Виявлення Cl^- -іонів за наявності Br^- і I^- -іонів. На відміну від AgCl ($\text{ДР} = 1,56 \cdot 10^{-10}$), AgI практично нерозчинний у розчині аміаку ($\text{ДР} = 1,5 \cdot 10^{-16}$), а AgBr ($\text{ДР} = 7,7 \cdot 10^{-13}$) розчиняється у розчині аміаку і заважає виявленню Cl^- -іонів аргентум (I) нітратом. Щоб зменшити розчинність AgBr , осад AgCl , AgBr , AgI обробляють 12 %-ним розчином $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, при цьому AgCl перейде в розчин у вигляді $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$. Після вилучення осаду в центрифугаті (фільтраті) виявляють Cl^- -іони розчином KBr . За наявності Cl^- -іонів випадає жовтуватий осад AgBr :



12.3.5.3 Під дією сильних окисників типу MnO_2 , KMnO_4 , PbO_2 у кислому середовищі Cl^- -іони окиснюються до вільного хлору:



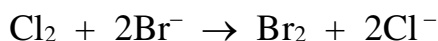
Cl_2 виявляють за запахом або посинінням йод-крохмального паперу:



Заважають: Br^- , I^- -іони.

12.3.6 Виявлення Br^- -іонів

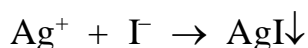
12.3.6.1 Окисники типу KMnO_4 , MnO_2 , NaClO , хлорна вода у кислому середовищі окиснюють Br^- -іони до вільного бром, який добре екстрагується CCl_4 , CHCl_3 , CS_2 або етером (ефіром), забарвлюючи їх у бурий колір:



12.3.6.2 Аргентум (I) нітрат осаджує жовтуватий осад AgBr , нерозчинний в HNO_3 , розчинний в концентрованих розчинах NH_3 , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ та KCN з утворенням $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Br}$, $\text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$, $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ відповідно.

12.3.7 Виявлення I^- -іонів

12.3.7.1 Аргентум (I) нітрат осаджує жовтий осад AgI , нерозчинний в HNO_3 і розчині аміаку, розчинний в $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ і KCN :



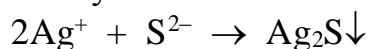
12.3.7.2 Солі Pb^{2+} осаджують жовтий осад PbI_2 :



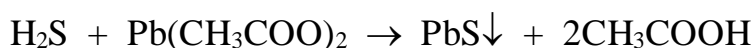
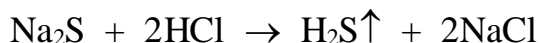
Осад розчиняється у гарячій воді і випадає при охолодженні у вигляді золотистих пластивців.

12.3.8 Виявлення S²⁻-іонів

12.3.8.1 Аргентум (I) нітрат утворює з сульфід-іонами чорний осад, нерозчинний у розведеній HNO₃ на холоді, розчинний при нагріванні, нерозчинний в розчині аміаку:

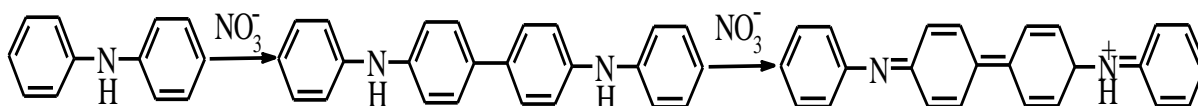


12.3.8.2. Кислоти (сульфатна, хлоридна) при дії на сульфіди розкладають їх з утворенням H₂S, який виявляють за характерним запахом та почорнінням свинцевого паперу, що містить Pb²⁺-іони:



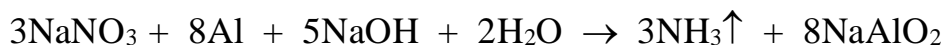
12.3.9 Виявлення NO₃⁻-іонів

12.3.9.1 Дифеніламін (C₆H₅)₂NH у сильно кислому середовищі з NO₃⁻ - іонами утворює сполуку інтенсивно-синього кольору, яка при подальшому окисненні переходить у сполуку білого кольору:



Реакція з дифеніламіном застосовується також для виявлення NO₂⁻-іонів. Чутливість реакції 0,5 мкг.

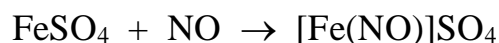
12.3.9.2 При відновленні NO₃⁻-іонів алюмінієм або цинком утворюється аміак, який виявляється вологим лакмусовим папером:



FeSO₄ відновлює NO₃⁻-іони до NO (при pH < 7):



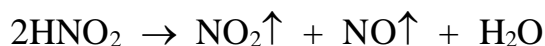
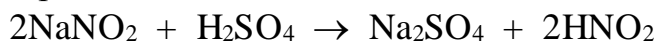
Нітроген (II) оксид утворює з FeSO₄ комплексну сполуку бурого кольору:



Реакцію здійснюють, обережно нашаровуючи на кристалик FeSO₄ розчин, який аналізують, і концентровану сульфатну (сірчану) кислоту. З'являється коричневе кільце. Чутливість – 2,5 мкг.

12.3.10 Виявлення NO₂⁻-іонів

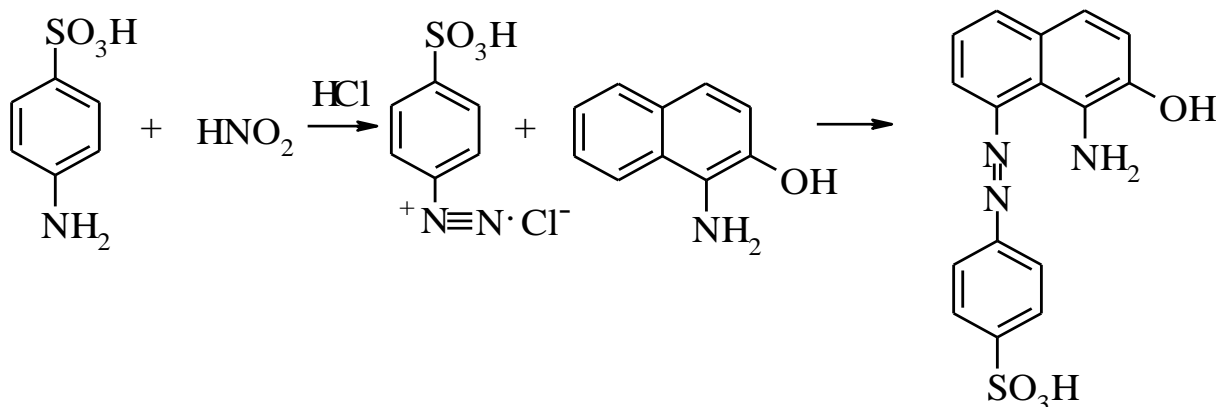
12.3.10.1 Розведені кислоти, наприклад, сульфатна (сірчана) кислота, розкладають усі нітрити на холоді з виділенням оксидів нітрогену:



12.3.10.2 Калій йодид взаємодіє з нітритами за рівнянням:



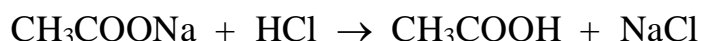
12.3.10.3 Реакція з сульфоніловою кислотою і 1-аміно-2-нафтолом (реакція Грісса) протікає з утворенням азобарвника яскраво-червоного кольору:



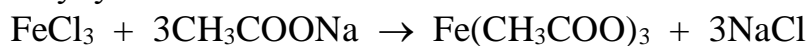
Чутливість реакції – 0,01 мкг.

12.3.11 Виявлення CH_3COO^- -іонів

12.3.11.1 Сильні кислоти виділяють із ацетатів оцтову кислоту, яка має характерний запах:



12.3.11.2 Реакція з ферум (III) хлоридом переводить ацетати у комплексну сполуку:



Спочатку утворюється осад червоно-бурого ферум (III) ацетату, який при розведенні водою перетворюється у комплексну сполуку.

Заповніть таблицю 12.1 (домашнє завдання).

Таблиця 12.1 – Якісні реакції аніонів I – III аналітичних груп

Аніон	Номер реакції, реагент	Продукт реакції і його властивості
SO_4^{2-}		
CO_3^{2-}		
PO_4^{3-}		
CrO_4^{2-}		
Cl^-		
Br^-		
I^-		
S^{2-}		
NO_3^-		
NO_2^-		
CH_3COO^-		

12.4 Аналіз суміші аніонів I – III аналітичних груп

Спочатку проводять попередні дослідження:

12.4.1 Визначення реакції середовища розчину (рН), що аналізують, дає можливість зробити певні висновки. У випадку, коли середовище кисле (рН < 7), то відсутні CO_3^{2-} , NO_2^- , SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ -аніони, солі яких розкладаються кислотами.

12.4.2 Якщо реакція середовища лужна (рН >7), то виявляють аніони легких кислот. Для цього у пробірку вносять кілька крапель розчину, що аналізують, 0,5 мл розчину сульфатної (сірчаної) кислоти з $C_H=2,0$, суміш перемішують, нагрівають. Виділення газу свідчить про наявність одного або кількох аніонів: CO_3^{2-} , NO_2^- , SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$. За запахом і кольором газів виявляють окремі аніони. Якщо гази не виділяються, то такі аніони відсутні.

12.4.3 Виявлення аніонів-окисників. Якщо розчин, що аналізують, безбарвний, то відсутні MnO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, CrO_4^{2-} -іони. У пробірку додають 0,25-0,5 мл розчину, підкислюють розчином сульфатної (сірчаної) кислоти з $C_H=2,0$, додають 2-3 краплі 1%-ного розчину крохмалю і 0,25 мл розчину КІ. Посиніння розчину свідчить про наявність NO_2^- -іонів.

12.4.4 Виявлення аніонів-відновників. До 0,25-0,5 мл розчину добавляють розчин сульфатної (сірчаної) кислоти з $C_H=2,0$ до рН = 7, потім ще 0,5 мл надлишку кислоти і краплями розчин KMnO_4 з $C_H=0,1$. Знебарвлення розчину KMnO_4 свідчить про наявність сульфід-іонів – S^{2-} , сульфід-іонів – SO_3^{2-} , тіосульфат-іонів – $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ та нітрит-іонів – NO_2^- .

12.4.5 Виявлення аніонів першої аналітичної групи. До 0,25-0,5 мл розчину (рН=7) добавляють 0,25-0,5 мл розчину BaCl_2 . Утворення осаду свідчить про наявність аніонів першої аналітичної групи. У цьому випадку проводять характерні реакції на виявлення кожного аніона цієї групи.

12.4.6 Виявлення аніонів другої аналітичної групи. До 0,25-0,5 мл розчину добавляють кілька крапель HNO_3 і 0,25-0,5 мл розчину AgNO_3 . Утворення осаду свідчить про наявність аніонів другої аналітичної групи; в окремих пробах проводять характерні реакції на виявлення аніонів цієї групи.

12.5 Виявлення окремих аніонів здійснюють із окремих порцій розчину, що аналізують, за допомогою характерних реакцій:

12.5.1 Аніон SO_4^{2-} – див. 12.3.1.

12.5.2 Аніон CO_3^{2-} – див. 12.3.2.

12.5.3 Аніон PO_4^{3-} – див. 12.3.3.

12.5.4 Аніон CrO_4^{2-} – див. 12.3.4 та за утворенням CrO_5 .

12.5.5 Аніон Cl^- – див. 12.3.5, за наявності Br^- -іонів – див. 12.3.5.2.

12.5.6 Аніон Br^- – див. 12.3.6.

Виявленню аніонів Cl^- , Br^- , I^- заважають аніони S^{2-} , які попередньо необхідно вилучити. Для цього до 0,25-0,5 мл розчину ($\text{pH} = 7$ або >7) приливають розчин ZnSO_4 , вміст пробірки нагрівають, осад ZnS відокремлюють фільтруванням і у фільтраті виявляють аніони Cl^- , Br^- , I^- .

12.5.7 Аніон I^- . До 0,25-0,5 мл розчину додають краплями (5-6) концентровану сульфатну (сірчану) кислоту, при цьому виділяється вільний йод, який виявляють за посинінням крохмального папірця:



12.5.8 Аніон S^{2-} – див. 12.3.8.

12.5.9 Аніон NO_3^- – якщо NO_2^- -іони відсутні, то NO_3^- -іони виявляють реакцією 12.3.9.1 (з дифеніламіном). За наявності NO_2^- -іонів їх попередньо вилучають за допомогою NH_4Cl .

12.5.10 Аніон NO_2^- – див. 12.3.10.

12.5.11 Аніон CH_3COO^- – див. 12.3.11.

Лабораторна робота № 13

Систематичний аналіз речовини

13.1 Мета: навчитися виявляти катіони та аніони методом систематичного аналізу невідомої речовини і робити висновок про її природу

13.2 Короткі теоретичні відомості

Перед тим, як проробити повний аналіз на виявлення катіонів і аніонів, лакмусовим папірцем визначають реакцію середовища розчину і роблять попередні висновки про наявність або відсутність тих чи інших іонів (див. вище).

Із окремих проб розчину за допомогою групових реактивів визначають, катіони яких аналітичних груп присутні.

13.3 Експериментальна частина

13.3.1 Дослідження на катіони першої аналітичної групи

До 0,5 мл розчину, який аналізують, приливають 0,5 мл розчину Na_2CO_3 . Якщо осад не випав, то в розчині присутні лише катіони першої аналітичної групи (NH_4^+ , K^+ , Na^+ , Li^+), тому що всі інші катіони утворюють осад з Na_2CO_3 . Із нової проби виявляють катіони першої аналітичної групи.

13.3.2 Дослідження на катіони другої аналітичної групи

Якщо при дії Na_2CO_3 випадає осад, то нову порцію розчину обробляють розчином HCl з $\text{C}_\text{H} = 2,0$. Осад, що утворюється при дії HCl , відокремлюють центрифугуванням (фільтруванням), промивають водою і виявляють у ньому катіони другої аналітичної групи (Ag^+ , Hg_2^{2+} , Pb^{2+}).

13.3.3 Дослідження на катіони третьої аналітичної групи

До 0,5 мл розчину, який аналізують, приливають розчин сульфатної (сірчаної) кислоти з $C_H = 2,0$ і нагрівають. Якщо осад випав, то це свідчить про наявність катіонів третьої аналітичної групи (Ba^{2+} , Sr^{2+} , Ca^{2+}), які виявляють за допомогою характерних реакцій.

13.3.4 Дослідження на катіони четвертої аналітичної групи

Якщо при дії розчину HCl та H_2SO_4 осад не утворюється, то до 0,5 мл розчину додають надлишок розчину $NaOH$. Розчинення осаду, що утворився від добавляння перших крапель $NaOH$, в надлишку лугу свідчить про наявність катіонів четвертої аналітичної групи (Al^{3+} , Cr^{3+} , Zn^{2+} , Sn^{2+} , $Sn(IV)$).

13.3.5 Дослідження на катіони п'ятої аналітичної групи

Якщо при дії розчину $NaOH$ на розчин, що аналізують, утворюється осад, який не розчиняється у надлишку лугу, то це свідчить про наявність катіонів п'ятої аналітичної групи (Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} , Bi^{3+} , Mn^{2+}).

13.3.6 Дослідження на катіони шостої аналітичної групи

До 0,5 мл розчину, що аналізують, додають краплями розчин аміаку. Якщо утворюється осад, який розчиняється у надлишку аміаку, то це свідчить про наявність катіонів шостої аналітичної групи (Cu^{2+} , Co^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+}).

13.3.7 Виявлення аніонів

Наявність окремих аналітичних груп аніонів виявляють відповідними груповими реактивами і характерними для них реакціями.

13.3.7.1 Дослідження на аніони першої аналітичної групи

До 0,5 мл нейтрального або слабколужного розчину додають 0,5 мл розчину $BaCl_2$. Якщо осад випадає, то це свідчить про наявність аніонів першої аналітичної групи.

13.3.7.2 Дослідження на аніони другої аналітичної групи

До 0,5 мл розчину приливають 0,5 мл розчину нітратної (азотної) кислоти з $C_H = 2,0$ і краплями розчин $AgNO_3$. Випадання осаду свідчить про наявність аніонів другої аналітичної групи.

13.3.7.3 Дослідження на аніони третьої аналітичної групи

Якщо від дії розчинів $BaCl_2$ і $AgNO_3$ осади не випали, то, можливо, присутні аніони третьої аналітичної групи, які виявляють характерними реакціями.

13.4 Контрольні завдання

- 501) Складіть схему якісного аналізу суміші NH_4Cl і Na_2SO_4 . Які катіони заважають виявленню NH_4^+ -іонів реактивом Несслера? Чому?
- 502) Складіть схему якісного аналізу суміші NaCl і KI . За допомогою яких реакцій можна підтвердити наявність у суміші Cl^- і I^- -іонів?
- 503) Складіть схему якісного аналізу суміші CaCl_2 і $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. За допомогою якого реактиву можливо вилучити (відокремити) осад BaSO_4 від CaSO_4 ?
- 504) Складіть схему якісного аналізу суміші ZnCl_2 і $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. За допомогою якого реактиву можливо відрізнити катіон Al^{3+} від Zn^{2+} .
- 505) Складіть схему якісного аналізу суміші AgNO_3 і $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$. Який із хроматів – Ag_2CrO_4 чи PbCrO_4 , розчиняється у розчині аміаку? Чи заважає Pb^{2+} -іон здійсненню реакції срібного дзеркала?
- 506) Складіть схему якісного аналізу суміші FeSO_4 і NiSO_4 . Яким чином можливо відкрити Fe^{2+} -іон за допомогою реактиву Чугуєва за наявності Ni^{2+} -іонів?
- 507) Складіть схему якісного аналізу суміші MnSO_4 і MgCl_2 . Якою специфічною реакцією можливо відкрити Mn^{2+} -іон за наявності усіх інших катіонів?
- 508) Складіть схему якісного аналізу суміші CuSO_4 і CoCl_2 . Якою крапельною реакцією можливо відкрити Co^{2+} -іон за наявності усіх інших катіонів?
- 509) Складіть схему якісного аналізу суміші CdSO_4 і NH_4Cl . Чи заважають Cd^{2+} -іони виявленню NH_4^+ -іонів реактивом Несслера?
- 510) Складіть схему якісного аналізу суміші FeCl_3 і Na_3PO_4 . Чи заважають PO_4^{3-} -іони виявленню Fe^{3+} -іонів реакцією з SCN^- -іонами?
- 511) Складіть схему якісного аналізу суміші ZnCl_2 і CuSO_4 . Чи заважає Zn^{2+} -іон виявленню Cu^{2+} -іонів розчином аміаку? Чому?
- 512) Складіть схему якісного аналізу суміші $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ і NH_4Cl . Чи заважають Ni^{2+} -іони виявленню NH_4^+ -іонів реактивом Несслера? Чому?

- 513) Складіть схему якісного аналізу суміші SnCl_2 і ZnSO_4 . Чи можливо вилучити Zn^{2+} -іони від Sn^{2+} -іонів при дії на суміш концентрованого розчину аміаку?
- 514) Складіть схему якісного аналізу суміші SrCl_2 і $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. За допомогою якої специфічної реакції можна вилучити Ba^{2+} -іони із цієї суміші?
- 515) Складіть схему якісного аналізу суміші NaCl і $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$. У вигляді якої сполуки знаходяться Bi^{3+} -іони у розчині, що містить надлишок I^- -іонів?
- 516) Складіть схему якісного аналізу суміші MnCl_2 і ZnSO_4 . Чи можливо вилучити Zn^{2+} -іони розчином аміаку від Mn^{2+} -іонів у даному випадку?
- 517) Складіть схему якісного аналізу суміші AlCl_3 і NH_4NO_3 . Напишіть рівняння хімічних реакцій, які протікають при дії надлишку натрій гідроксиду на цю суміш.
- 518) Складіть схему якісного аналізу суміші CaCl_2 і $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. Яким реактивом необхідно подіяти на суміш CaSO_4 і BaSO_4 , щоб вилучити із неї CaSO_4 ?
- 519) Складіть схему якісного аналізу суміші CuSO_4 і $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$. Чи можна вилучити Hg^{2+} -іони від Cu^{2+} -іонів дією надлишку I^- -іонів на суміш?
- 520) Складіть схему якісного аналізу суміші FeSO_4 і CoCl_2 . За допомогою якої краплинної реакції можливо виявити Co^{2+} -іони за наявності інших катіонів?

Розділ 3

ОСНОВИ КІЛЬКІСНОГО АНАЛІЗУ

Методи кількісного аналізу

Кількісний аналіз – це сукупність хімічних і фізичних методів визначення відносної кількості елементів, іонів чи хімічних сполук у досліджуваному об'єкті (речовині).

Хімічні методи аналізу ґрунтуються на хімічних реакціях. Найбільш поширеними із них є гравіметричний (ваговий), титриметричний (об'ємний), колориметричний та полярографічний.

Лабораторна робота № 14

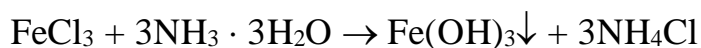
Гравіметричні (вагові) методи кількісного аналізу

14.1 Мета: засвоїти гравіметричні (вагові) методи кількісного визначення деяких хімічних елементів

14.2 Експериментальна частина

14.2.1 Визначення ферума гравіметричним методом

Визначення ферума в ферум (III) хлориді. Для солей ферум (III) осаджувачем є розчин аміаку, який реагує з іонами ферума за таким рівнянням:

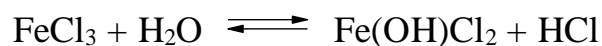


Ферум тригідроксид при прожарюванні перетворюється в ферум (III) оксид, склад якого відповідає формулі Fe_2O_3 :



Хід роботи

0,3-0,5 г ферум (III) хлориду зважують на годинниковому склі на аналітичних терезах з точністю до 0,0001 г. Наважку розчиняють у стакані ємністю 300 мл в 10 мл води, до якої додають 2 мл розчину хлоридної (соляної) кислоти з $C_H = 2,0$, щоб запобігти гідролізу солей ферума при розчиненні з утворенням основних солей за рівнянням:



Розчин нагрівають до кипіння і додають до нього краплями концентрований розчин аміаку до появи запаху. Надлишок розчину аміаку за запахом перевіряють після того, як змиють внутрішні стінки стакану і скляну паличку гарячою водою. Потім у стакан з аморфним осадом $\text{Fe}(\text{OH})_3$ доливають 80-100 мл гарячої води, вміст стакану перемішують і через кілька хвилин, коли осад збереться на дні стакану, декантують (зливають розчин з осаду) прозорий розчин крізь фільтр з червоною смужкою. Потім до осаду

знову приливають 15 мл гарячої води, зміст перемішують і декантують розчин крізь той самий фільтр. Так повторюють 3-4 рази. Після цього осад змивають на фільтр потужним струменем гарячої води з промивалки і промивають його на фільтрі ще 5-6 раз. Перевіряють повноту промивання в окремій пробірці, додаючи до 1-2 мл підкисленого HNO_3 фільтрату розчин AgNO_3 . Промивання вважають закінченим, якщо у фільтраті після додавання розчину AgNO_3 не утворюється осад AgCl .

Лійку з промитим осадом закривають фільтрувальним папером і протягом однієї години висушують у сушильній шафі за температури $110\text{ }^\circ\text{C}$. Сухий осад з фільтром переносять у зважений порцеляновий тигель і, загнувши верхню частину фільтра, прожарюють тигель з осадом у муфелі за $800\text{ }^\circ\text{C}$ до сталої маси. Муфель час від часу відкривають, даючи доступ повітрю для згоряння фільтра. Прожарювання можна вважати закінченим, якщо маса двох останніх зважувань після прожарювання осаду відрізнятись не більш, ніж на 0,1-0,2 мг. За ваговою формою осаду роблять обчислення результатів аналізу.

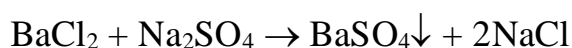
Масову частку ферума обчислюють за формулою:

$$\omega_{\text{Fe}} = \frac{2A_{\text{r Fe}} \cdot B}{M_{\text{r Fe}_2\text{O}_3} \cdot q} \cdot 100\% \quad (14.1)$$

де $A_{\text{r Fe}}$ – відносна атомна маса ферума; $M_{\text{r Fe}_2\text{O}_3}$ – відносна молекулярна маса вагової форми; B – маса осаду вагової форми в грамах; q – наважка в грамах.

14.2.2 Визначення сульфатів у вигляді барій сульфату

Одним із методів визначення сульфуру є ваговий метод, при якому сульфур переводять у кристалічний осад BaSO_4 :



Барій сульфат не зовсім відповідає вимогам до осадів у ваговому аналізі (розчинність BaSO_4 – 2,3 мг/л). Але розчинність осаду можна зменшити дією однойменних іонів. Потрібний для цього надлишок Ba^{2+} -іонів можна обчислити, виходячи з величини добутку розчинності BaSO_4 .

Для виготовлення розчину осаджувача на технічних терезах зважують 2 г BaCl_2 і розчиняють його в 50 мл води.

Хід роботи

Сульфат-іони осаджують у вигляді кристалічного осаду. Для аналізу беруть наважку, що становить 0,01 еквівалентної маси сульфату. На аналітичних терезах зважують 0,7-0,8 г натрій сульфату з точністю до 0,0001г і розчиняють у 100 мл води. Якщо в утвореному розчині є каламуті механічних домішок, його фільтрують, додають 2-3 краплі розчину метилового оранжевого і краплями концентрованої хлоридну (соляну)

кислоту, поки забарвлення індикатору не зміниться на червоне. Після цього ще додають 1 мл кислоти.

Розчини сульфату, що досліджують, і барій дихлориду нагрівають до кипіння і повільно, краплями додають до розчину сульфату розчин барій дихлориду, аж поки не додають 2/3 осаджувача, решту осаджувача доливають відразу.

Стакан з осадом закривають папером і залишають відстоюватися 2-2,5 год. Перевіряють повноту осадження: в окремій пробірці до прозорого розчину над осадом додають кілька крапель BaCl_2 . Якщо повноти осадження не досягнуто, то розчин з осадом нагрівають, додають 1 г барій дихлориду, розчиненого в 20 мл води, і вміст стакана знову відстоюють.

Осад після відстоювання відфільтровують крізь щільний фільтр із синьою смужкою і промивають його на фільтрі 2-3 рази малими порціями холодної води. У промивних водах перевіряють на наявність Cl^- або Ba^{2+} -іонів, щоб упевнитися у повноті промивання. Осад разом з фільтром висушують у сушильній шафі, переносять у зважений тигель, фільтр спалюють і осад прожарюють за температури 750-800 °С протягом 30 хвилин, тигель охолоджують в ексикаторі і зважують на аналітичних терезах. За знайденою масою барій сульфату обчислюють масову частку сульфату.

$$\omega_{\text{SO}_4^{2-}} = \frac{M_{r\text{SO}_4^{2-}} \cdot B}{M_{r\text{BaSO}_4} \cdot q} \cdot 100\% \quad (14.2)$$

де $M_{r\text{SO}_4^{2-}}$ і $M_{r\text{BaSO}_4}$ – відповідно відносні молекулярні маси

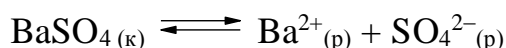
сульфат-іона і барій сульфату; B – маса осаду вагової форми в грамах; q – наважка в грамах.

14.3 Приклади розв'язання типових задач

14.3.1 Добуток розчинності (ДР). Застосування закону діючих мас до стану іонної рівноваги. Розчинність і добуток розчинності деяких важкорозчинних речовин – див. Додаток К.

Приклад 1 $DP_{\text{BaSO}_4} = 1,0 \cdot 10^{-10}$. Обчислити $[\text{Ba}^{2+}]$ і розчинність солі у грамах на 1 л насиченого розчину.

Розв'язування: Записують дисоціацію сильного, але важко розчинного електроліту для стану рівноваги:



$$[\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = DP_{\text{BaSO}_4} = 1,0 \cdot 10^{-10}$$

Оскільки $[\text{Ba}^{2+}] = [\text{SO}_4^{2-}]$, визначають (обчислюють) $[\text{Ba}^{2+}]$:

$$[\text{Ba}^{2+}] = \sqrt{1,0 \cdot 10^{-10}} = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Обчислюють розчинність BaSO_4 у грамах, яка складає: $m = v \cdot M$;
 $m = 1,0 \cdot 10^{-5} \cdot 233 = 0,00233 \text{ г BaSO}_4$ у 1 л насиченого розчину.

Приклад 2 Розчинність BaSO_4 складає $2,33 \cdot 10^{-3} \text{ г/л}$. Обчислити DP_{BaSO_4} .

Розв'язування: записують, чому дорівнює добуток розчинності BaSO_4 :

$$DP_{\text{BaSO}_4} = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$$

Обчислюють молярну концентрацію BaSO_4 :

$$v_{\text{BaSO}_4} = 2,33 \cdot 10^{-3} / 233 = 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Звідки: $DP_{\text{BaSO}_4} = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = (1,0 \cdot 10^{-5})^2 = 1,0 \cdot 10^{-10}$

Приклад 3 $DP_{\text{PbI}_2} = 8,0 \cdot 10^{-9}$. Обчислити розчинність солі у моль/л і г/л.

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

$$DP_{\text{PbI}_2} = [\text{Pb}^{2+}][\text{I}^-]^2 = S \cdot (2S)^2 = 4S^3$$

Тоді: $S = \sqrt[3]{DP_{\text{PbI}_2} / 4} = \sqrt[3]{8,0 \cdot 10^{-9} / 4} = \sqrt[3]{2 \cdot 10^{-9}} = 1,3 \cdot 10^{-3}$, моль/л

$M_{\text{PbI}_2} = 461 \text{ г/моль}$, звідки розчинність PbI_2 складе: $1,3 \cdot 10^{-3} \cdot 461 = 0,6 \text{ г/л}$.

14.3.2 Вплив однойменних іонів на добуток розчинності і розчинність

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

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



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

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

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

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

Приклад 5 Обчислити розчинність AgCl у розчині NaCl з $C_M = 0,1$ без врахування і з врахуванням коефіцієнта активності.

Розв'язування: а) Без врахування коефіцієнта активності (див. Приклади 1-4).

Розчинність AgCl у воді складає:

$$D_{\text{P}_{\text{AgCl}}} = [\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]; [\text{Ag}^+] = \sqrt{D_{\text{P}_{\text{AgCl}}}} = \sqrt{1,56 \cdot 10^{-10}} = 1,25 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

$$m_{\text{AgCl}} = 1,25 \cdot 10^{-5} \cdot 143,5 \approx 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ г/л}$$

Розчинність AgCl у розчині NaCl з $C_M = 0,1$:

$$[\text{Ag}^+] = \frac{D_{\text{P}_{\text{AgCl}}}}{[\text{Cl}^-]} = \frac{1,56 \cdot 10^{-10}}{0,1} = 1,56 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л}$$

$$m_{\text{AgCl}} = 1,56 \cdot 10^{-9} \cdot 143,5 = 2,24 \cdot 10^{-7} \text{ г/л}$$

б) З врахуванням коефіцієнта активності. У розчині NaCl з $C_M = 0,1$ ($I=0,1$ і $f = 0,81$ – див. таблицю 3.5).Тоді:

$$[\text{Ag}^+] = \frac{D_{\text{P}_{\text{AgCl}}}}{0,1 \cdot (0,81)^2} = \frac{1,56 \cdot 10^{-10}}{10^{-1} \cdot (0,81)^2} \approx 2,4 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л}$$

$$m_{\text{AgCl}} = 2,4 \cdot 10^{-9} \cdot 143,5 = 3,44 \cdot 10^{-7} \text{ г/л}$$

Таким чином, розчинність AgCl у розчині NaCl з $C_M = 0,1$ порівняно з його розчинністю у воді зменшується більш ніж у 8000 разів, якщо не враховувати коефіцієнт активності $[(1,25 \cdot 10^{-5} / 1,56 \cdot 10^{-9}) \approx 8013]$ і наближено у 5200 разів, якщо при обчисленні розчинності електроліту врахувати цей коефіцієнт $[(1,25 \cdot 10^{-5} / 2,4 \cdot 10^{-9}) \approx 5208]$.

Приклад 6 Обчислити розчинність CaSO_4 у воді і у розчині NaCl з $C_M = 0,1$.

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

сольовому розчині, насиченому сторонніми іонами, викликає підвищену розчинність електроліту.

а) Розчинність CaSO_4 у воді:

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

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

б) Розчинність CaSO_4 у розчині NaCl з $C_M = 0,1$ ($I=0,1$, $f = 0,44$ – див. таблицю 3.5):

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

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

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

Таким чином, розчинність CaSO_4 у розчині NaCl з $C_M = 0,1$ зростає порівняно з розчинністю у воді приблизно у 2,3 рази ($1,8 \cdot 10^{-2} / 7,9 \cdot 10^{-3} \approx 2,3$).

14.3.3 Обчислення умов утворення осаду

Важко розчинний електроліт може залишатися у розчині до того часу, доки добуток концентрації його іонів не перевищує ДР. Якщо при змішуванні розчинів добуток концентрацій іонів даного електроліту буде вище ДР, то надлишок його (електроліту) випаде в осад.

Приклад 7 $DP_{\text{CaSO}_4} = 6,0 \cdot 10^{-5}$. Чи випаде осад при змішуванні рівних об'ємів розчину CaCl_2 ($C_M = 0,01$) і Na_2SO_4 ($C_M = 0,02$)?

Розв'язування: Після змішування об'єм розчину стане вдвічі більше кожного із взятих розчинів, тому концентрація розчинених речовин у суміші буде вдвічі меншою:

$$C_{M \text{CaCl}_2} = 0,01 / 2 = 0,005 \text{ моль/л}$$

$$C_{M \text{Na}_2\text{SO}_4} = 0,02 / 2 = 0,01 \text{ моль/л}$$

Відповідно цьому: $[\text{Ca}^{2+}] = 0,005 \text{ моль/л} = 5,0 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$; $[\text{SO}_4^{2-}] = 0,01 \text{ моль/л} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}$, а їх добуток складе: $[\text{Ca}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}] = 5,0 \cdot 10^{-3} \cdot 1,0 \cdot 10^{-2} = 5,0 \cdot 10^{-5}$, що менше DP_{CaSO_4} ($6,0 \cdot 10^{-5}$).

Тому в даному випадку осад не випадає (у розглянутому прикладі не врахована активність іонів).

14.4 Контрольні завдання

521) У 1000 г насиченого розчину NH_4MgPO_4 міститься 0,0086 г цієї солі. Обчислити її ДР.

Відповідь: $\approx 2,5 \cdot 10^{-13}$.

522) Розчинність $\text{Ca}(\text{OH})_2$ у воді за 18°C складає $8,21 \cdot 10^{-2}$ г у 100 г води. Обчислити $ДР_{\text{Ca}(\text{OH})_2}$.

Відповідь: $5,47 \cdot 10^{-6}$.

523) Обчислити розчинність аргентум (I) фосфату у воді (у г/л) і у розчині Na_3PO_4 з $C_M = 0,01$ (у моль/л). $ДР_{\text{Ag}_3\text{PO}_4} = 1,8 \cdot 10^{-20}$.

Відповідь: $2,13 \cdot 10^{-3}$ г/л; $4,0 \cdot 10^{-7}$ моль/л.

524) Обчислити розчинність аргентум (I) хлориду у воді і у розчині NaCl ($C_M = 0,1$). $ДР_{\text{AgCl}} = 1,8 \cdot 10^{-10}$.

Відповідь: $1,34 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $1,8 \cdot 10^{-9}$ моль/л.

525) $ДР_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4} = 1,1 \cdot 10^{-12}$, $ДР_{\text{AgCl}} = 1,8 \cdot 10^{-10}$. Яка сіль більш розчинна у воді і у розчині AgNO_3 ($C_M = 0,1$)? Відповідь підтвердити розрахунками.

Відповідь: у воді розчинність AgCl складає $1,34 \cdot 10^{-5}$ моль/л, Ag_2CrO_4 – $6,5 \cdot 10^{-5}$ моль/л; у розчині AgNO_3 розчинність AgCl складає $1,8 \cdot 10^{-9}$ моль/л, Ag_2CrO_4 – $2,75 \cdot 10^{-11}$ моль/л.

526) Чи випаде осад SrSO_4 , якщо змішати 100 мл розчину SrCl_2 ($C_M = 0,0001$) і 200 мл розчину K_2SO_4 ($C_M = 5,0 \cdot 10^{-5}$)? $ДР_{\text{SrSO}_4} = 3,2 \cdot 10^{-7}$.

Відповідь: не випадає.

527) У 500 мл води за 18°C розчиняється 0,0165 г Ag_2CrO_4 . Обчислити $ДР_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4}$.

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

528) Чи випаде осад, якщо змішати 0,5 л розчину AgNO_3 ($C_M = 0,1$) з 0,5 л розчину K_2CrO_4 ($C_M = 0,01$)? $ДР_{\text{Ag}_2\text{CrO}_4} = 1,1 \cdot 10^{-12}$.

Відповідь: випадає.

529) Скільки грамів Ag_2SO_4 можна розчинити за кімнатної температури у 0,5 л води? $ДР_{\text{Ag}_2\text{SO}_4} = 1,6 \cdot 10^{-5}$.

Відповідь: 2,48 г.

530) Чи випаде осад, якщо змішати 10 л розчину CaCl_2 ($C_M = 0,02$) з 5 л розчину K_2CrO_4 ($C_M = 0,1$)? $ДР_{\text{CaCrO}_4} = 7,1 \cdot 10^{-4}$.

Відповідь: не випадає.

- 531) Розчинність $Pb_3(PO_4)_2$ за $20\text{ }^\circ\text{C}$ дорівнює $1,38 \cdot 10^{-5}$ г на 100 г води. Обчислити розчинність п्लомбум (II) фосфату у розчині Na_3PO_4 ($C_M = 10^{-3}$).
Відповідь: $6,72 \cdot 10^{-8}$ г / 100г води.
- 532) До 50 мл розчину HCl ($C_M = 10^{-3}$) додали 450 мл розчину $AgNO_3$ ($C_H = 10^{-4}$). Чи випаде осад $AgCl$?
Відповідь: випадає.
- 533) Скільки треба взяти HgS для насичення усієї води океанів ($1,3 \cdot 10^{21}$) л? У якому об'ємі води міститься один Hg^{2+} -іон? $DP_{HgS} = 4 \cdot 10^{-58}$.
Відповідь: $6,032 \cdot 10^{-6}$ г HgS ; $8,3 \cdot 10^4$ л.
- 534) Обчислити рН насичених розчинів $Fe(OH)_2$ і $Fe(OH)_3$ у воді.
 $DP_{Fe(OH)_2} = 4,8 \cdot 10^{-16}$; $DP_{Fe(OH)_3} = 3,8 \cdot 10^{-38}$.
Відповідь: рН = 8,77; рН = 4,28.
- 535) Розчинність $CaCO_3$ у воді дорівнює $6,9 \cdot 10^{-3}$ г/л. Обчислити розчинність $CaCO_3$ у розчині $CaCl_2$ ($C_M = 10^{-3}$).
Відповідь: $4,76 \cdot 10^{-4}$ г/л.
- 536) У 6 л насиченого розчину $PbSO_4$ міститься у вигляді іонів 0,186 г п्लомбуму. Обчислити добуток розчинності $PbSO_4$.
Відповідь: $2,25 \cdot 10^{-8}$.
- 537) Обчислити концентрацію $BaCrO_4$ в моль/л, $DP_{BaCrO_4} = 2,25 \cdot 10^{-10}$.
Відповідь: $1,5 \cdot 10^{-5}$.
- 538) Концентрація Mg^{2+} -іонів у насиченому розчині $Mg(OH)_2$ становить $2,6 \cdot 10^{-3}$ г/л. Обчислити $DP_{Mg(OH)_2}$.
Відповідь: $5 \cdot 10^{-12}$.
- 539) Обчислити розчинність CaF_2 у воді і у розчині $CaCl_2$ ($C_M = 0,05$). У скільки разів розчинність у другому випадку менша, ніж у першому?
 $DP_{CaF_2} = 4 \cdot 10^{-11}$.
Відповідь: а) $2,15 \cdot 10^{-4}$ моль/л; б) $1,41 \cdot 10^{-5}$ моль/л; в 15,2 рази.
- 540) Добуток розчинності Ag_3AsO_4 становить $1,0 \cdot 10^{-19}$. У якому об'ємі насиченого розчину міститься 36 мг розчиненої солі?
Відповідь: 10 л.
- 541) $DP_{AgCl} = 1,2 \cdot 10^{-10}$. Осад $AgCl$ промивався дистильованою водою. Яка маса Ag^+ -іонів, що вилучена із осаду 400-ми мл води?
Відповідь: 0,47 мг.
- 542) Добуток розчинності AgI складає $1,5 \cdot 10^{-16}$. Обчислити розчинність AgI у моль/л і г/л.
Відповідь: $1,2 \cdot 10^{-8}$ моль/л; $2,8 \cdot 10^{-6}$ г/л.

543) У 1 л насиченого за кімнатної температури розчину AgIO_3 міститься 0,044 г солі. Обчислити добуток розчинності AgIO_3 .

Відповідь: $2,4 \cdot 10^{-8}$.

544) Насичений розчин BaCrO_4 містить $1,5 \cdot 10^{-5}$ моль солі у 1 л розчину. Обчислити DP_{BaCrO_4} .

Відповідь: $2,25 \cdot 10^{-10}$.

545) Добуток розчинності CaSO_4 складає $6,1 \cdot 10^{-5}$. Скільки грамів Ca^{2+} -іонів міститься у 8 л насиченого розчину?

Відповідь: 2,5 г.

546) DP_{FeS} за 25°C дорівнює $3,7 \cdot 10^{-19}$. Обчислити розчинність FeS за цієї температури і концентрацію кожного із іонів.

Відповідь: $5,35 \cdot 10^{-8}$ г/л FeS ; $3,4 \cdot 10^{-8}$ г/л Fe^{2+} ; $1,9 \cdot 10^{-8}$ г/л S^{2-} .

547) У скільки разів зменшиться розчинність AgCl , якщо до 1 л його насиченого розчину додати 0,1 моль KCl ? Ступінь дисоціації KCl складає 0,86. $DP_{\text{AgCl}} = 1,5 \cdot 10^{-10}$.

Відповідь: зменшиться у ≈ 7000 разів.

548) У якому об'ємі насиченого розчину Ag_2S міститься 1 мг розчиненої солі? $DP_{\text{Ag}_2\text{S}} = 6,0 \cdot 10^{-50}$.

Відповідь: $1,6 \cdot 10^{11}$ л.

549) Обчислити DP_{PbBr_2} за 25°C , якщо розчинність солі за цієї температури складає $1,32 \cdot 10^{-2}$ моль/л.

Відповідь: $9,2 \cdot 10^{-6}$.

550) У скільки разів розчинність (моль/л) $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ($DP = 1,0 \cdot 10^{-15}$) у воді більше розчинності $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ($DP = 3,8 \cdot 10^{-38}$) за 25°C ?

Відповідь: у ≈ 32500 разів.

551) $DP_{\text{Ag}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} = 2,0 \cdot 10^{-7}$. Чи випадає осад при змішуванні рівних об'ємів розчинів AgNO_3 ($C_{\text{H}} = 0,01$) і $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ($C_{\text{H}} = 0,01$)?

Відповідь: не випадає.

552) У 500 мл води за 18°C розчиняється 0,0166 г Ag_2CrO_4 . Чому дорівнює DP цієї солі?

Відповідь: $4,0 \cdot 10^{-12}$.

553) Чи утворюється осад Ag_2SO_4 , якщо до розчину AgNO_3 з $C_{\text{M}} = 0,02$ додати рівний об'єм розчину H_2SO_4 з $C_{\text{M}} = 1,0$? $DP_{\text{Ag}_2\text{SO}_4} = 1,6 \cdot 10^{-5}$.

Відповідь: утворюється.

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

Відповідь: у 2233 разів.

555) Яка повинна бути мінімальна концентрація солі NaCl, щоб при додаванні до її розчину рівного об'єму розчину AgNO₃ з C_H = 0,001 з'явився осад за 25 °C? $DP_{AgCl} = 1,55 \cdot 10^{-10}$.

Відповідь: мінімальна концентрація NaCl > $3,1 \cdot 10^{-7}$ моль/л.

556) $DP_{Ag_3PO_4} = 1,8 \cdot 10^{-18}$. Обчислити розчинність Ag₃PO₄ у моль/л і г/л.

Відповідь: $1,6 \cdot 10^{-5}$ моль/л; $6,7 \cdot 10^{-3}$ г/л.

557) Один грам PbI₂ може бути розчинений у 1730 мл води. Обчислити добуток розчинності PbI₂.

Відповідь: $7,8 \cdot 10^{-9}$ л.

558) До 100 мл розчину MnSO₄ з C_H = 0,1 додали 50 мл розчину (NH₄)₂S з C_H = 0,2. Чи утворюється осад MnS? $DP_{MnS} = 1,1 \cdot 10^{-15}$.

Відповідь: утворюється.

559) Для розчинення 1,16 г PbI₂ витратили 2 л води. Обчислити добуток розчинності PbI₂.

Відповідь: $8,0 \cdot 10^{-9}$.

560) Чи утворюється осад PbCl₂, якщо до розчину Pb(NO₃)₂ з C_H = 0,1 додати рівний об'єм розчину NaCl з C_H = 0,4?

Відповідь: випадає.

561) Скільки грамів BaSO₄ розчиниться, якщо осад промити 200 мл води; а також розчином, 200 мл якого містить 0,50 г Na₂SO₄ ?

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

562) Скільки грамів AgCl перейде в розчин, якщо осад промити 100 мл води за температури 25 °C?

Відповідь: $1,79 \cdot 10^{-4}$.

563) Обчислити втрати Pb²⁺-іонів (в грамах), якщо осад PbCl₂ промити 300мл води. Врахувати, що вода насичується PbCl₂ на 50 %.

Відповідь: $\approx 0,5$ г Pb²⁺-іонів.

564) Скільки грамів MgC₂O₄ розчиниться, якщо осад промити 100 мл води; а також розчином, 200 мл якого містить 0,02 г H₂C₂O₄?

Відповідь: $\approx 0,1$ г; 1,73 г.

565) Скільки грамів SrCrO₄ перейде у розчин, якщо осад промити 200 мл води за температури 25 °C?

Відповідь: $\approx 0,25$ г.

566) Обчислити втрати SO₄²⁻-іонів (в грамах), якщо осад BaSO₄ промити 100 мл води за температури 25 °C.

Відповідь: $\approx 1,0 \cdot 10^{-4}$ г.

567) Скільки грамів SO₃²⁻-іонів перейде у розчин, якщо осад SrSO₃ промити 100 мл води?

Відповідь: $1,6 \cdot 10^{-3}$ г.

- 568) Скільки грамів кальцій йодата розчиниться, якщо осад промити 50 мл води?
Відповідь: 0,152 г.
- 569) Скільки грамів $\text{Mg}(\text{OH})_2$ розчиниться, якщо осад промити 200 мл води за температури $25\text{ }^\circ\text{C}$?
Відповідь: $\approx 1,28 \cdot 10^{-3}$ г.
- 570) Обчислити втрати Cd^{2+} -іонів (в грамах), якщо осад CdS промити 250 мл води. Врахувати, що вода насичується CdS на 30 %.
Відповідь: $5 \cdot 10^{-14}$ г.
- 571) Скільки грамів BaSO_4 розчиниться, якщо осад промити: а) 250 мл води; б) 250 мл води, яка містить 0,83 г $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$?
Відповідь: 0,61 мг; $2,5 \cdot 10^{-7}$ г.
- 572) Осад CaC_2O_4 промили 250 мл 1 %-ного розчину $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$. Скільки грамів Ca^{2+} -іонів буде втрачено із осаду CaC_2O_4 за рахунок розчинення його у промивній рідині?
Відповідь: $3,2 \cdot 10^{-7}$ г.
- 573) Скільки грамів CaC_2O_4 буде втрачено, якщо промивати осад CaC_2O_4 водою. Врахувати, що промивні води насичуються на 70 % по відношенню до CaC_2O_4 , а їх об'єм складає 200 мл.
Відповідь: $9,1 \cdot 10^{-4}$ г.
- 574) Осад, який містить 0,3 г CaCO_3 , промили 300 мл води. Приймавши, що між осадом і промивною рідиною встановилася рівновага, обчисліть, скільки грамів CaCO_3 розчиниться при цьому і яку частину від маси осаду складе (у %) втрата внаслідок розчинення.
Відповідь: 0,0021 г; 0,7 %.
- 575) Обчислити втрати Ba^{2+} -іонів (в грамах), якщо осад BaC_2O_4 промити 200мл води. Врахувати, що вода насичується BaC_2O_4 на 50 %.
Відповідь: $4,55 \cdot 10^{-3}$ г.
- 576) Скільки грамів AgCl перейде в розчин, якщо осад промити 200 мл води за температури $25\text{ }^\circ\text{C}$?
Відповідь: $3,58 \cdot 10^{-4}$ г.
- 577) Обчислити втрати Cd^{2+} -іонів (в грамах), якщо осад CdS промити 150 мл води. Врахувати, що вода насичується CdS на 50 %.
Відповідь: $5 \cdot 10^{-14}$ г.
- 578) Осад CaC_2O_4 промили 100 мл 2 %-ного розчину $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$. Скільки грамів Ca^{2+} -іонів буде втрачено із осаду CaC_2O_4 за рахунок розчинення його у промивній рідині?
Відповідь: $6,4 \cdot 10^{-8}$ г.
- 579) Скільки грамів BaSO_4 розчиниться, якщо осад промити: а) 150 мл води; б) розчином, 100 мл якого містить 0,75 г Na_2SO_4 ?
Відповідь: $3,63 \cdot 10^{-4}$ г; $4,66 \cdot 10^{-8}$ г.

580) Обчислити втрати Ba^{2+} -іонів (в грамах), якщо осад BaC_2O_4 промити 150мл води. Врахувати, що вода насичується BaC_2O_4 на 80%.

Відповідь: $5,44 \cdot 10^{-3}$ г.

Лабораторна робота № 15

Метод нейтралізації (кисотно-основного титрування)

15.1 Мета: засвоїти волюмометричні методи кількісного визначення деяких хімічних речовин.

15.2 Експериментальна частина

15.2.1 Визначення вмісту натрій гідрокарбонату в питній соді

Питна сода (NaHCO_3) може містити різні домішки (NaCl , Na_2SO_4). Тому при встановленні якості препаратів соди визначають вміст натрій гідрокарбонату.

Натрій гідрокарбонат гідролізується в водному розчині:



При титруванні такого розчину робочим розчином хлоридної (соляної) кислоти у точці еквівалентності в ньому залишається карбонатна кислота, тому у цьому випадку використовують індикатор метиловий оранжевий:



Для аналізу беруть питну соду, що є у продажу, обчислюють, яка наважка необхідна для виготовлення 250 мл розчину з $C_H = 0,1$. Еквівалентна маса натрій гідрокарбонату дорівнює його молярній масі, тобто 84,02г/моль. Таким чином, для виготовлення 250 мл розчину з $C_H = 0,1$ необхідно зважити:

$$\frac{84,02 \cdot 0,1 \cdot 250}{1000} = 2,1005 \text{ г NaHCO}_3$$

Хід роботи

Спочатку зважують на технічних терезах 2,1 г соди, а потім на аналітичних терезах з точністю до 0,0001 г. Наважку переносять у мірну колбу на 250 мл і розчиняють у дистильованій воді, доводячи до риски рівень рідини у колбі. Відбирають піпеткою у конічну колбу ємністю 150-200 мл 25мл виготовленого розчину NaHCO_3 , додають 1-2 краплі розчину метилового оранжевого і титрують робочим розчином хлоридної кислоти. З трьох титрувань беруть середній результат і роблять обчислення:

1) Обчислюють молярну концентрацію еквіваленту виготовленого розчину соди:

$$C_{\text{H}}(\text{NaHCO}_3) = \frac{V_{(\text{HCl})} \cdot C_{\text{H}}(\text{HCl})}{V_{(\text{NaHCO}_3)}} \quad (15.1)$$

- 2) Обчислюють титр розчину соди, тобто масу соди в грамах у розчині об'ємом 1 мл:

$$T_{(\text{NaHCO}_3)} = C_{\text{H}}(\text{NaHCO}_3) \cdot \frac{m_e}{1000} \text{ г/мл} \quad (15.2)$$

де m_e – еквівалентна маса NaHCO_3 , яка дорівнює 84,02 г/моль

- 3) Обчислюють масу соди в грамах у 250 мл виготовленого розчину:

$$B = T_{(\text{NaHCO}_3)} \cdot 250 \quad (15.3)$$

- 4) Обчислюють масову частку NaHCO_3 у питній соді, виходячи з наважки:

$$\omega_{(\text{NaHCO}_3)} = \frac{B}{q} \cdot 100\% \quad (15.4)$$

15.2.2 Визначення усувної твердості води

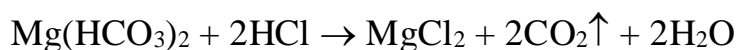
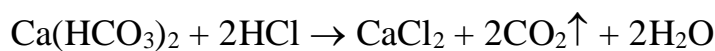
Твердість води зумовлена наявністю розчинних солей Ca^{2+} і Mg^{2+} . Розрізняють тимчасову (усувну) і постійну твердість.

Тимчасова (усувна), або карбонатна твердість залежить від наявності гідрогенкарбонатів кальцію і магнію. Цю твердість можна усунути кип'ятінням:



Постійна твердість води зумовлена наявністю хлоридів та сульфатів кальцію та магнію, тому ці солі під час кип'ятіння залишаються у розчині.

Щоб визначити тимчасову (карбонатну) твердість води, певний об'єм води титрують робочим розчином хлоридної (соляної) кислоти за наявності індикатора метилового оранжевого. При цьому відбуваються такі реакції:



Хід роботи

В колбу (або хімічну склянку) відберіть піпеткою 100 мл водопровідної води, додайте 2-3 краплі індикатору метилового оранжевого і титруйте воду робочим розчином хлоридної (соляної) кислоти з $C_{\text{H}}=0,1$ до одержання незникаючого оранжево-рожевого забарвлення.

Об'єм використаної кислоти запишіть з точністю до 0,05 мл. Гідрокарбонатна твердість води:

$$T_{\text{карб}} = C_{\text{H}}(\text{HCl}) \cdot V_{(\text{HCl})} \cdot 10, \text{ моль/м}^3 \text{ (моль-еквівалентів)}, \quad (15.5)$$

де $C_{H(NCl)}$ – молярна концентрація еквіваленту розчину HCl ;

$V_{(HCl)}$ – об'єм хлоридної (соляної) кислоти, витрачений на титрування досліджуваної води об'ємом 100 мл.

Примітка. Одиниця твердості води (ГОСТ 6055-86) моль/м³. Числове значення твердості води в молях на кубічний метр (моль/м³) дорівнює числовому значенню твердості в мг-екв/л (одиниця твердості води до 1986 р.). Один моль/м³ відповідає масовій концентрації еквівалентів іонів кальцію ($1/2 Ca^{2+}$) 20,04 г/м³ та іонів магнію ($1/2 Mg^{2+}$) 12,153 г/м³.

15.3 Метод нейтралізації

Приклади розв'язання типових задач

Приклад 1 На нейтралізацію 20 мл розчину кислоти затрачено 10 мл розчину луку ($C_H = 0,5$). Чому дорівнює молярна концентрація еквіваленту кислоти?

Розв'язування: Речовини взаємодіють між собою в однакових кількостях еквівалентів:

$$C_{H(\text{лук})} \cdot v_{(\text{лук})} = C_{H(\text{к-ти})} \cdot v_{(\text{к-ти})}$$

$$\text{Тоді: } C_{H(\text{к-ти})} = \frac{C_{H(\text{лук})} \cdot v_{(\text{лук})}}{v_{(\text{к-ти})}} = \frac{10 \cdot 0,5}{20} = 0,25$$

15.4 Контрольні завдання

581) Обчислити молярну концентрацію еквіваленту концентрованої хлоридної кислоти HCl (густиною 1,18 г/см³), яка містить 36,5 % гідроген хлориду.

Відповідь: $C_H = 11,8$.

582) Скільки мілілітрів 10 %-ного розчину сульфатної кислоти (густиною 1,07 г/см³) необхідно для нейтралізації розчину, який містить 16 г натрій гідроксиду?

Відповідь: 183,2 мл.

583) Густина 40 %-ного розчину нітратної кислоти HNO_3 дорівнює 1,25 г/см³. Обчислити молярну концентрацію еквіваленту цього розчину. Відповідь: $C_H = 7,94$.

584) Для повного осадження барій сульфату із 100 мл 15 %-ного розчину барій дихлориду затрачено 14,4 мл сульфатної кислоти. Обчислити молярну концентрацію еквіваленту розчину сульфатної кислоти.

Відповідь: $C_H = 10,0$.

585) Скільки мілілітрів 96 %-ного розчину сульфатної кислоти (густиною 1,84 г/см³) необхідно взяти для виготовлення 1 л розчину з $C_H = 0,25$?

Відповідь: 6,93 мл.

- 586) Обчислити молярну концентрацію еквіваленту 20,8%-ного розчину нітратної кислоти (густина $1,12 \text{ г/см}^3$). Скільки грамів кислоти міститься у 4 л цього розчину?
Відповідь: $C_H = 3,7$; 931,8 г HNO_3 .
- 587) Скільки грамів калій гідроксиду необхідно для нейтралізації 280 г 7 %-ного розчину сульфатної кислоти.
Відповідь: 22,4 г.
- 588) Скільки мілілітрів 20%-ного розчину хлоридної кислоти HCl (густина $1,1 \text{ г/см}^3$) потрібно для розкладу 40 г кальцій карбонату?
Відповідь: 132,7 мл.
- 589) Скільки мілілітрів розчину ($C_M = 0,5$) сульфатної кислоти H_2SO_4 можна приготувати із 15 мл розчину цієї ж кислоти з $C_M = 2,5$?
Відповідь: 75 мл.
- 590) На нейтралізацію 20 мл розчину, який містить 12 г лугу в 1 л, затрачено 24 мл розчину кислоти з $C_H = 0,25$. Обчислити еквівалентну масу (m_e) лугу.
Відповідь: 40 г/моль.
- 591) Чому дорівнює молярна концентрація еквіваленту 30 %-ного розчину натрій гідроксиду (густина $1,3282 \text{ г/см}^3$)? До 1 л цього розчину додали 5 л води. Обчислити відсоткову концентрацію одержаного розчину .
Відповідь: $C_H = 9,96$; $\omega = 6,3 \%$.
- 592) Який об'єм розчину кислоти з $C_H = 0,3$ потрібний для нейтралізації розчину, що містить 0,32 г натрій гідроксиду у 40 мл?
Відповідь: 26,6 мл.
- 593) Скільки мілілітрів розчину сульфатної кислоти ($C_H = 2,0$) потрібно для виготовлення 500 мл розчину з $C_H = 0,5$?
Відповідь: 125 мл.
- 594) На нейтралізацію 1 л розчину, що містить 1,4 г KOH , потрібно 50 мл розчину кислоти. Обчислити молярну концентрацію еквіваленту кислоти.
Відповідь: $C_H = 0,5$.
- 595) На нейтралізацію 31 мл розчину лугу ($C_H = 0,16$) потрібно затратити 217 мл розчину кислоти. Обчислити молярну концентрацію еквіваленту кислоти.
Відповідь: $C_H = 0,023$.
- 596) Знайти молярну концентрацію еквіваленту 36,2%-ного розчину хлоридної кислоти, густина якого $1,18 \text{ г/см}^3$.
Відповідь: $C_H = 11,7$.
- 597) Скільки грамів Na_2CO_3 міститься у 500 мл розчину з $C_H = 0,25$?
Відповідь: 6,63 г.
- 598) Скільки мілілітрів 4,5 %-ного розчину H_2SO_4 (густина $1,03 \text{ г/см}^3$) потрібно для розкладу 50 г технічного NaHCO_3 , який містить 16 % домішок, що не розкладаються кислотою?
Відповідь: 528,6 мл.

- 599) Для нейтралізації 20 мл розчину кислоти ($C_H = 0,1$) необхідно затратити 8 мл NaOH. Скільки грамів NaOH містить 1 л цього розчину?
Відповідь: 10 г.
- 600) Який об'єм розчину H_3PO_4 ($C_M = 0,1$) можна приготувати із 75 мл цього розчину з $C_H = 0,75$?
Відповідь: 187,5 мл.
- 601) Наважку вапняку масою 0,5500 г розчинили у 50,0 мл розчину HCl з $C_H = 0,3$. На титрування надлишку кислоти витрачено 25 мл розчину луку з $C_H = 0,2$. Скільки відсотків CaO і CO_2 містилося у зразку?
Відповідь: 50,91 % CaO; 40 % CO_2 .
- 602) Наважку кристалогідрату соди масою 2,8600 г розчинили у мірній колбі ємністю 200 мл. На титрування 20,0 мл цього розчину затрачено 10,0 мл розчину HCl з $C_H = 0,2$. Обчислити, скільки моль води містить кристалогідрат.
Відповідь: 10 моль.
- 603) Наважку Li_2CO_3 масою 2,156 г розчинили у мірній колбі ємністю 250мл. На титрування 25,0 мл одержаного розчину витрачено 23,50 мл розчину HCl, титр якої 0,0073. Визначити відсотковий вміст літій карбонату у зразку.
Відповідь: 80,66 %.
- 604) Для визначення відсоткової концентрації NH_3 взято 15,500 г його розчину і об'єм доведено водою до 200 мл. На титрування 20,0 мл цього розчину витрачено 25,50 мл розчину HCl з $C_H = 0,95$. Скільки відсотків NH_3 містилося у наважці?
Відповідь: 26,57 %.
- 605) Наважку вапняку масою 0,8200 г розчинили у 100 мл розчину HNO_3 з $C_H = 0,2$. На зворотне титрування кислоти витрачено 26,0 мл розчину KOH з $C_H = 0,2$. Скільки відсотків нерозчинних у кислоті домішок містить цей зразок?
Відповідь: 9,75 %.
- 606) Визначити відсотковий вміст NaOH і Na_2CO_3 у зразку, наважка якого масою 3,2000 г розчинена у мірній колбі ємністю 500 мл. На титрування 25,0 мл цього розчину за наявності метилоранжу витрачено 24,0мл розчину HCl з $C_H = 0,15$. На титрування другої такої ж проби за наявності фенолфталеїна витрачено 20,0 мл розчину HCl з $C_H = 0,15$.
Відповідь: 60,0 % NaOH; 39,75 % Na_2CO_3 .
- 607) Визначити відсотковий вміст Na_2CO_3 і $NaHCO_3$ у зразку, якщо наважку масою 1,600 г розчинили у мірній колбі ємністю 200 мл, а на титрування 20,0 мл цього розчину за наявності фенолфталеїну витрачено 4,5 мл, а за наявності метилоранжу – 19,5 мл розчину H_2SO_4 з $C_H = 0,1$.
Відповідь: 55,12 % $NaHCO_3$; 29,81 % Na_2CO_3 .
- 608) Наважку доломіту масою 3,0 г, яка містить деяку кількість домішок, розчинили у 35,0 мл розчину HCl з $C_H = 1,2$. На титрування надлишку

кислоти витрачено 5,75 мл розчину лугу з $C_H = 0,16$. Іншим способом у цій же наважці знайдено 0,3 г MgO. Обчислити відсотковий вміст CaCO₃ і MgCO₃ у доломіті.

Відповідь: 43,46 % CaCO₃; 21,0 % MgCO₃.

609) Наважку сплаву, який містить Al і Cu, масою 0,4466 г, розчинили у 50,0 мл розчину H₂SO₄ з $C_H = 0,6$. На зворотне титрування надлишку кислоти витрачено 6,5 мл розчину KOH з титром за алюмінієм 0,003600. Який відсотковий вміст сплаву?

Відповідь: 52,22 % Al; 44,78 % Cu.

610) 2,000 г залізного сплаву розчинили у 50,0 мл розчину H₂SO₄ з $C_H = 2,0$. Надлишок кислоти відтитровано 25,0 мл розчину NaOH з $C_H = 1,5$. Визначити відсотковий вміст Fe у сплаві.

Відповідь: 87,5 %.

611) Визначити грамівий вміст H₃BO₃ і HCl у розчині, на титрування якого за наявності метилоранжа витрачено 15,50 мл, а за наявності фенолфталеїна – 20,70 мл розчину NaOH з $C_H = 0,12$.

Відповідь: 0,06789 г HCl; 0,03869 г H₃BO₃.

612) Наважку MgO масою 0,2000 г розчинили у 25,0 мл розчину HCl з титром за CaO 0,01120. Надлишок кислоти відтитрували 8,0 мл розчину KOH, 1,0 мл якого еквівалентний 1,05 мл HCl. Скільки відсотків MgO містив зразок?

Відповідь: 66,4 %.

613) До наважки цинкового сплаву масою 0,5250 г, який містить нерозчинні у H₂SO₄ домішки, додали 50,0 мл розчину H₂SO₄ з $C_H = 0,5$. Надлишок кислоти відтитрували 25,0 мл розчину KOH з $C_H = 0,45$. Визначити відсотковий вміст цинку у сплаві.

Відповідь: 85,14 %.

614) Нітроген із наважки зразку масою 0,5000 г відновили до NH₃, який пропустили через 50,0 мл розчину HCl з титром за NH₃ 0,00340. Надлишок кислоти відтитрували 12,0 мл розчину KOH з $T_{KOH/H_2SO_4} = 0,01470$. Скільки відсотків нітрогену містив зразок?

Відповідь: 17,92 %.

615) Обчислити відсотковий вміст NH₃ у зразку за даними аналізу. Наважка речовини масою 1,0336 г розчинена у мірній колбі ємністю 200 мл. До 20,0 мл цього розчину прилито 40,0 мл розчину NaOH з $C_H = 0,1$. При кип'ятінні NH₃ вилучено із суміші. На титрування надлишку лугу витрачено 8,0 мл розчину HCl з $C_H = 0,12$.

Відповідь: 50,0 %.

616) Який об'єм розчину HNO₃, який містить 12,60 г HNO₃ у 1 л, потрібно для нейтралізації 20,0 мл розчину K₂CO₃, у 1 л якого знаходиться (міститься) 10,35 г K₂CO₃?

Відповідь: 15,0 мл.

- 617) Наважка сплаву, що містить Cu і Zn, масою 0,7200 г оброблена 20,0 мл розчину NaOH з $C_H = 1,0$. На зворотне титрування лугу витрачено 5,0 мл розчину HCl з $C_H = 0,50$. Визначити відсотковий вміст цинку у сплаві.
Відповідь: 79,44 %.
- 618) Наважка KCl масою 1,6250 г розчинена у мірній колбі ємністю 200 мл. 20,0 мл цього розчину пропущено через аніонітну колонку в OH^- - формі. На титрування лугу, що виділився при цьому, затрачено 18,0 мл розчину HCl з $C_H = 0,1$. Обчислити відсотковий вміст калію у хлориді.
Відповідь: 43,2 %.
- 619) Для визначення нітрогену в аміачній селітрі наважку масою 0,6750 г розчинили у мірній колбі ємністю 200 мл. 20,0 мл цього розчину пропустили через катіонітну колонку в H^+ -формі. На титрування одержаної HNO_3 затрачено 15,25 мл розчину KOH з $C_H = 0,1$. Обчислити загальний відсотковий вміст нітрогену в селітрі.
Відповідь: 31,63 %.
- 620) Визначити відсотковий вміст $KHCO_3$ у зразку K_2CO_3 , якщо аналіз здійснили наступним чином: наважку суміші масою 1,100 г розчинили у колбі на 100 мл. На титрування 10,0 мл розчину з фенолфталеїном витрачено 5,50 мл, а за наявності метилоранжу – 14,50 мл розчину H_2SO_4 з $C_H = 0,1$
Відповідь: 31,81 %.
- 621) Визначити титри хлорної (перхлоратної) кислоти за NH_3 і KOH, якщо розчин її виготовлено із наважки масою 0,2010 г, розчиненої у мірній колбі на 500 мл.
Відповідь: 0,000068 г/мл; 0,000224 г/мл.
- 622) Скільки мілілітрів розчину HNO_3 з $C_H = 1,0$ необхідно додати до 500 мл розчину цієї ж кислоти з титром за NaOH, який дорівнює 0,0056, щоб одержати розчин з титром за CaO, рівним 0,0084?
Відповідь: 114 мл.
- 623) Скільки мілілітрів 50 %-ної H_3PO_4 ($\rho = 1,335$ г/см³) необхідно взяти для приготування 1,5 л розчину з титром 0,000327?
Відповідь: 0,73 мл.
- 624) Скільки мілілітрів H_2SO_4 з густиною 1,30 г/см³ (39,7 %) потрібно взяти для виготовлення 1 л розчину її з титром за NaOH 0,0040?
Відповідь: 9,49 мл.
- 625) Чому дорівнює молярна концентрація еквіваленту розчину HCOOH, якщо на титрування 0,2240 г хімічно чистого KOH, розчиненого у довільній кількості води, необхідно витратити 25,0 мл цього розчину?
Відповідь: $C_H = 0,16$.
- 626) Обчислити титр розчину H_2SO_4 , якщо на титрування 0,1120 г KOH витрачається 10,50 мл розчину цієї кислоти.
Відповідь: 0,009330 г/мл.

- 627) На нейтралізацію 0,2070 г K_2CO_3 витрачається 25,0 мл розчину HNO_3 . Обчислити титр цієї кислоти за CaO .
Відповідь: $T = 0,003360$ г/мл.
- 628) Обчислити молярну концентрацію еквіваленту і титр за NH_3 розчину HCl , якщо на титрування 20,0 мл розчину K_2CO_3 , одержаного шляхом розчинення наважки 1,3800 г у мірній колбі на 200 мл, витрачається 25,0 мл розчину HCl .
Відповідь: $C_H = 0,080$; $T = 0,00136$ г/мл.
- 629) Обчислити титр хроматної (хромової) кислоти за її повної нейтралізації, якщо на титрування 20,0 мл її розчину витрачається 0,0012г $NaOH$.
Відповідь: $T = 0,000088$ г/мл.
- 630) Визначити молярну концентрацію еквіваленту масляної кислоти, якщо 20,0 мл її розчину нейтралізуються 25,0 мл $NaOH$ з титром за HCl 0,001825.
Відповідь: $C_H = 0,0625$.
- 631) Обчислити молярну концентрацію еквіваленту валеріанової кислоти, якщо на титрування 15,0 мл її розчину витрачається 12,50 мл розчину $NaOH$ з титром за H_2SO_4 0,07350
Відповідь: $C_H = 1,25$.
- 632) Скільки мілілітрів 20 %-ного розчину хлорної (перхлоратної) кислоти ($\rho = 1,13$ г/см³) необхідно взяти для виготовлення 250 мл такого розчину, щоб на титрування 25,0 мл його витрачалось 20,0 мл розчину KOH з $C_H = 0,15$?
Відповідь: 13,34 мл.
- 633) Яку наважку MgO , який містить 25 % індиферентних домішок, необхідно взяти для аналізу, щоб на її титрування витрачалось 25,0 мл розчину HNO_3 з титром за Na_2O , рівним 0,0093.
Відповідь: 0,2000 г.
- 634) Скільки мілілітрів 30 %-ного розчину KOH ($\rho = 1,290$ г/см³) можливо відтитрувати 15,0 мл розчину HCl з $C_H = 0,25$?
Відповідь: 0,54 мл.
- 635) Який об'єм розчину HNO_3 з $C_H = 15,0$, потрібно взяти, щоб одержати 2л розчину цієї кислоти з $C_H = 5,0$?
Відповідь: 666,7 мл.
- 636) У якому співвідношенні потрібно змішати розчини хлорної (перхлоратної) кислоти з $C_H = 10,0$ і $C_H = 2,0$, щоб одержати розчин з $C_H = 5,0$?
Відповідь: 3 : 5.
- 637) Скільки мілілітрів 10 %-ного розчину $NaOH$ ($\rho = 1,11$ г/см³) необхідно додати до 400 г 50 %-ного розчину, щоб одержати 35 %-ний розчин?
Відповідь: 216,2 мл.

638) 0,32 г LiOH відтитровано 18,50 мл розчину HNO₃ з титром NaOH, який дорівнює 0,01200. Обчислити відсотковий вміст LiOH.

Відповідь: 41,62 %.

639) У якому ваговому (масовому) співвідношенні потрібно взяти 40%-ний і 15 %-ний розчини хлорної (перхлоратної) кислоти, щоб одержати 25%-ний розчин?

Відповідь: 2 : 3.

640) Скільки грамів 45 %-ного і 15 %-ного розчинів КОН необхідно взяти, щоб одержати 1000 г 30 %-ного розчину?

Відповідь: по 500 г.

15.3 Твердість води

Приклади розв'язання типових задач

Приклад 1 Обчислити твердість води, якщо у 500 л її міститься 202,5 г Ca(HCO₃)₂.

Розв'язування: У 1 л води міститься $202,5 : 500 = 0,405$ г Ca(HCO₃)₂. Еквівалентна маса Ca(HCO₃)₂ дорівнює $M / 2$, тобто $162 / 2 = 81$ г/моль. Звідси, $(0,405 / 81) \cdot 10^3 = 5$ моль/м³. Тобто, твердість води складе 5 моль/м³.

Приклад 2 Скільки грамів CaSO₄ міститься у 1 м³ води, якщо її твердість, обумовлена цією сіллю, дорівнює 4 моль / м³?

Розв'язування: Мольна маса $M_{CaSO_4} = 136,14$ г/моль; еквівалентна маса дорівнює $M/2 = 136,14/2 = 68,07$ г / моль. У 1 м³ води, твердість якої 4 моль / м³, міститься: $4 \text{ моль / м}^3 \cdot 1 \text{ м}^3 \cdot 68,07 \text{ г / моль} = 272,28$ г CaSO₄.

15.4 Контрольні завдання

641) Яку масу Na₃PO₄ необхідно додати до 500 л води, щоб усунути її карбонатну твердість, що дорівнює 5 моль/м³.

Відповідь: 136,6 г.

642) Обчислити карбонатну твердість, знаючи, що для реакції з кальцій дигідрогенкарбонатом, який міститься у 200 мл води, потрібно 15 мл розчину HCl (C_H = 0,08).

Відповідь: 6 моль/м³.

643) У 1 л води міститься 36,47 мг Mg²⁺-іонів і 50,1 мг Ca²⁺-іонів. Чому дорівнює твердість цієї води?

Відповідь: 5,5 моль/м³.

644) Яку масу натрій карбонату необхідно додати до 400 л води, щоб усунути її твердість 3 моль/м³?

Відповідь: 63,6 г.

645) Вода, яка містить лише магній сульфат, має твердість 5 моль/м³. Яка маса магній сульфату міститься у 500 л цієї води?

Відповідь: 150,4 г.

- 646) Обчислити твердість води, у 600 л якої міститься 65,7 г магній дигідрогенкарбонату та 61,2 г магній сульфату.
Відповідь: 3,2 моль/м³.
- 647) У 220 л води міститься 11,0 г магній сульфату. Чому дорівнює твердість цієї води?
Відповідь: 0,83 моль/м³.
- 648) Твердість води, у якій розчинено лише кальцій дигідрогенкарбонат, дорівнює 4 моль/м³. Який об'єм розчину HCl з $C_H = 0,1$ необхідний для реакції із кальцій дигідрогенкарбонатом, що міститься у 75 мл цієї води?
Відповідь: 3 мл.
- 649) Вода, яка містить лише магній дигідрогенкарбонат, має твердість 3,5 моль/м³. Яка маса Mg(HCO₃)₂ міститься у 200 л цієї води?
Відповідь: 51,1 г.
- 650) Чому дорівнює твердість води, якщо для її усунення до 50 л води необхідно додати 21,2 г натрій карбонату?
Відповідь: 8 моль/м³.
- 651) Яка маса CaSO₄ міститься у 200 л води, якщо твердість, обумовлена цією сіллю, дорівнює 8 моль/м³?
Відповідь: 108,9 г.
- 652) Вода, яка містить лише кальцій дигідрогенкарбонат, має твердість 9 моль/м³. Яка маса Ca(HCO₃)₂ міститься у 500 л цієї води?
Відповідь: 364,5 г.
- 653) Яку масу Ca(OH)₂ необхідно додати до 2,5 л води, щоб усунути її твердість, що дорівнює 4,43 моль/м³?
Відповідь: 0,4098 г.
- 654) Чому дорівнює карбонатна твердість води, якщо у 1 л її міститься 0,292 г Mg(HCO₃)₂ і 0,2025 г Ca(HCO₃)₂?
Відповідь: 6,5 моль/м³.
- 655) У 1 м³ води міститься 140 г магній сульфату. Обчислити твердість цієї води.
Відповідь: 2,33 моль/м³.
- 656) До 1 м³ твердої води додали 132,5 г натрій карбонату. Наскільки знизилася твердість води?
Відповідь: на 2,5 моль/м³.
- 657) Які іони необхідно вилучити із природної води, щоб зробити її м'якою? Введенням яких іонів можна пом'якшити воду? Складіть рівняння відповідних реакцій. Яку масу Ca(OH)₂ необхідно додати до 5,0 л води, щоб усунути її твердість, яка дорівнює 4,75 моль/м³?
Відповідь: 0,879 г.
- 658) До 100 л твердої води додали 12,95 г Ca(OH)₂. На скільки знизилася карбонатна твердість?
Відповідь: на 3,5 моль/м³.

659) Чому дорівнює твердість води, у 100 л якої міститься 14,632 г $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$?

Відповідь: 2 моль/м³.

660) Вода, яка містить лише MgSO_4 , має твердість 7 моль/м³. Яка маса MgSO_4 міститься у 300 л цієї води?

Відповідь: 126,33 г.

Лабораторна робота № 16

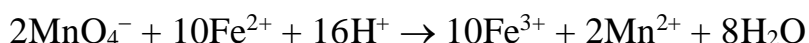
Методи окиснення-відновлення. Перманганометрія

16.1 Мета: засвоїти методи окиснення-відновлення кількісного визначення деяких хімічних речовин, які базуються на окиснювально-відновних процесах

16.2 Експериментальна частина

16.2.1 Визначення феруму методом перманганометрії

Метод ґрунтується на взаємодії солей ферума (II) у кислому середовищі з робочим розчином калій перманганату за таким рівнянням:



Під час титрування розчину солі ферума (II) калій перманганатом у точці еквівалентності забарвлення змінюється від жовтого (внаслідок збільшення вмісту іонів Fe^{3+}) до рожевого; цей перехід оком сприймається нечітко. Тому перед титруванням до розчину додають ортофосфатну кислоту, яка з іонами Fe^{3+} утворює безбарвний фосфатний комплекс:



Хід роботи

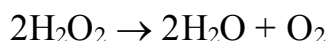
Наважку солі Мора, зважену на аналітичних терезах (подвійна сіль складу $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot \text{FeSO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) і розраховану для виготовлення розчину з $C_{\text{H}} = 0,1$, розчиняють у мірній колбі ємністю 100 мл у невеликому об'ємі води, підкисленої (для запобігання гідролізу) сульфатною (сірчаною) кислотою, і розводять розчин дистильованою водою до риски. Відбирають виготовлений розчин солі Мора об'ємом 25 мл у конічну колбу ємністю 250мл, додають до розчину захисну суміш об'ємом 15 мл. Цю суміш готують так: розчиняють сіль $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ масою 70 г у 500 мл води, додають 125 мл 85 %-ної ортофосфатної кислоти (H_3PO_4) і розчин розводять водою до об'єму 1 л (суміш додають для кращого спостереження точки еквівалентності). Досліджуваний розчин розводять вдвічі водою і титрують робочим розчином калій перманганату, поки не з'явиться рожеве забарвлення, яке не зникає протягом 2-3 хв. Визначення повторюють, відбираючи з мірної колби нові порції розчину. Масову частку ферума в солі обчислюють за формулою:

$$\omega_{(Fe)} = \frac{C_{H(KMnO_4)} \cdot V_{(KMnO_4)} \cdot m_{e(Fe)}}{1000q} \cdot 100\% \quad (16.1)$$

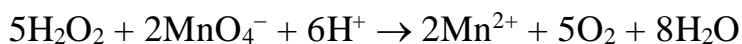
де C_H і V – молярна концентрація еквіваленту і об'єм калій перманганату, витраченого на титрування, $m_{e(Fe)}$ – еквівалентна маса ферума, що дорівнює молярній масі атомів, q – наважка солі в грамах.

16.2.2 Визначення дигідроген пероксиду методом перманганатометрії

Дигідроген пероксид надходить у продаж у вигляді 30 %-ного (пергідроль) або 3 %-ного водного розчину, з часом концентрація водних розчинів зменшується внаслідок розкладу дигідроген пероксиду:



Взаємодія між дигідроген пероксидом і калій перманганатом протікає за рівнянням:



З рівняння видно, що еквівалентна маса дигідроген пероксиду H_2O_2 дорівнює половині його молярної маси.

Хід роботи

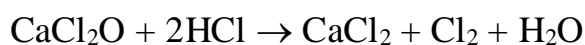
На аналітичних терезах зважують у бюксі з пришліфованою кришкою близько 0,5 г пергідролі з точністю до 0,0001 г, переливають його (кількісно!) за допомогою лійки у мірну колбу на 100 мл. Розчин у колбі доводять водою до риски і перемішують. Відбирають піпеткою 25 мл виготовленого розчину H_2O_2 у конічну колбу на 250 мл, додають 15 мл сульфатної кислоти H_2SO_4 (1:4) і титрують розчином калій перманганату з $C_H = 0,1$ до рожевого забарвлення. Визначення повторюють 2-3 рази. Результати паралельних визначень не повинні відрізнятись більше, ніж на 0,05-0,1мл.

Масову частку H_2O_2 в пергідролі обчислюють за формулою:

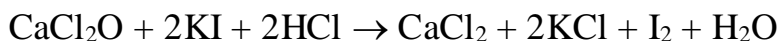
$$\omega_{(H_2O_2)} = \frac{C_{H(KMnO_4)} \cdot V_{(KMnO_4)} \cdot m_{e(H_2O_2)}}{10q} \% \quad (16.2)$$

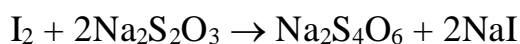
16.2.3 Йодометричне визначення активного хлору в хлорному вапні

Хлорне вапно $CaCl_2O$ або $Ca(OCl)_2$ –це змішана сіль хлоридної і гіпохлоритної кислот або кальцій (II) гіпохлорит, яке застосовується для вибілювання тканин, дезінфекції тощо. Якість препарату оцінюється вмістом “активного хлору”, що виділяється під час реакції:



В основі йодометричного методу визначення активного хлору в хлорному вапні лежать реакції:





Хід роботи

На аналітичних терезах зважують близько 0,15 г хлорного вапна з точністю до 0,0001 г.

Наважку переносять у конічну колбу на 250 мл, доливають 25 мл води, вміст колби збовтують і вносять 1 г калій йодиду і 15 мл сульфатної кислоти H_2SO_4 з $C_H = 4,0$. Суміш перемішують і титрують йод, що виділився, розчином натрій тіосульфату з $C_H = 0,05$, поки колір суспензії стане світло-жовтим. Після цього добавляють 2 мл 0,2 %-ного розчину крохмалю і титрують далі. У точці еквівалентності синє забарвлення зникає, і суспензія набуває білого кольору.

Результати аналізу обчислюють за формулою:

$$\omega_{(Cl_2)} = \frac{C_H(Na_2S_2O_3) \cdot V(Na_2S_2O_3) \cdot m_e(CaCl_2O)}{10q} \% \quad (16.3)$$

де $C_H(Na_2S_2O_3)$ і $V_{Na_2S_2O_3}$ – молярна концентрація

еквіваленту і об'єм витраченого на титрування розчину натрій тіосульфату;

$m_e(CaCl_2O)$ – еквівалентна маса хлорного вапна, яка, як це видно з рівняння,

чисельно дорівнює $\frac{1}{2}$ молярної маси хлорного вапна, тобто 63,5 г/моль; q – наважка в грамах.

Лабораторна робота № 17

Методи комплексоутворення

17.1 Мета: засвоїти методи комплексоутворення та визначити за їх допомогою твердість питної води

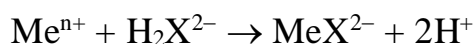
17.2 Короткі теоретичні відомості

Методи комплексоутворення основані на реакціях утворення комплексних і малодисоційованих сполук. Нині широко використовується нова група органічних реактивів, відома під загальною назвою “комплексони”, які є похідними імінодіоцтової кислоти $HOOC-H_2C-NH-CH_2-COOH$.

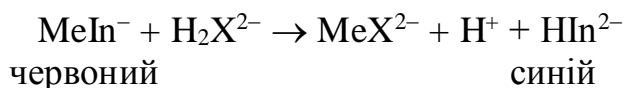
Точку еквівалентності при застосуванні комплексоутворення встановлюють двома способами:

1) За допомогою індикатору, що утворює з одним із реагуючих іонів забарвлену або малорозчинну сполуку. Забарвлення (або осад) повинні виникати лише після того, як усі іони, що їх визначають, будуть зв'язані відповідними іонами робочого розчину в комплексну сполуку.

2) За зміною рН визначають еквівалентне співвідношення реагуючих речовин. Для цього використовують звичайні кислотно-основні індикатори.



Після цього відбувається взаємодія трилону Б з іонами MeIn^- :



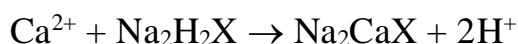
Таким чином, в еквівалентній точці винно-червоний колір розчину (MeIn^-) змінюється на синій (HIn^{2-}).

17.3 Експериментальна частина

17.3.1 Комплексонометричне визначення твердості питної води

Визначення твердості води має велике практичне значення в техніці та побуті. Оцінюючи питну воду, доводиться визначати тимчасову і постійну твердість. Комплексонометричне визначення загальної твердості води полягає в титруванні відміреного об'єму води розчином трилону Б з $C_{\text{H}} = 0,1$ за наявності металоіндикатору еріохром чорного Т.

Реакція відбувається за таким рівнянням:



Реакція відбувається у слабколужному середовищі, для створення якого перед титруванням додають буферний розчин (суміш NH_4Cl і NH_3). Трилон Б відповідає вимогам, які ставляться до вихідних речовин. Робочий розчин трилону Б з $C_{\text{H}} = 0,1$ готується безпосередньо з наважки (відносна молекулярна маса препарату $M_r = 372$). З рівняння взаємодії трилону Б із солями кальцію (магнію), видно, що еквівалентна маса трилону Б дорівнює $\frac{1}{2}$ молярної маси. Для виготовлення розчину з $C_{\text{H}} = 0,1$ на аналітичних терезах зважують з точністю до 0,0001 г 18,6 г трилону Б, переносять у мірну колбу на 1 л, розчиняють у дистильованій воді, доводячи об'єм розчину до риски.

Розчин індикатору готують так: еріохром чорний Т масою 0,5 г розчиняють у суміші буферного розчину об'ємом 20 мл (20 г NH_4Cl + 100 мл 25 %-ного NH_3 в 1 л води) і етилового спирту об'ємом 80 мл. Індикатор у лужному середовищі має синій колір.

Для визначення загальної твердості води відбирають такий її об'єм, щоб загальний вміст солей кальцію і магнію не перевищував 0,5 мекв (на титрування повинно витратись не більше 5 мл розчину трилону Б з $C_{\text{H}} = 0,1$). Пробу досліджуваної води розводять дистильованою водою до об'єму 100 мл, доливають буферний розчин об'ємом 5 мл і краплями аміачний розчин індикатору до утворення винно-червоного забарвлення. Титрують робочим розчином трилону Б до переходу червоного кольору в синій.

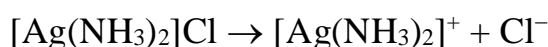
Твердість води в моль/ м^3 обчислюють за формулою:

$$T_B = \frac{C_{H(тр.)} \cdot V_{(тр.)} \cdot 1000}{V_{(H_2O)}} \quad (17.1)$$

де $C_{H(тр.)}$ і $V_{(тр.)}$ – молярна концентрація еквіваленту і об'єм робочого розчину трилону Б, витраченого на титрування, в мл; V_{H_2O} – об'єм проби води, в мл.

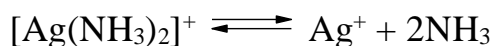
17.3.2 Рівновага в розчинах комплексних сполук (КС)

Іони зовнішньої сфери з'єднані з внутрішньою сферою (комплексом) іонним зв'язком, тому у водних розчинах комплексні сполуки дисоціюють практично повністю як сильні електроліти, наприклад:



Цей процес називається первинною дисоціацією.

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



Цей процес називають вторинною дисоціацією, він підкоряється закону діючих мас, може протікати ступенево і характеризується константою рівноваги (константою нестійкості), яка є мірою міцності комплексу, наприклад:

$$K_{нест} = \frac{[Ag^+][NH_3]^2}{[Ag(NH_3)_2]^+}; \quad pK_{нест} = -\lg K_{нест}$$

Значення констант нестійкості деяких комплексів – див. Додаток Л.

Чим менш стійкий комплекс, тим більша концентрація Ag^+ і NH_3 (для даного випадку), тим більше числове значення константи нестійкості ($K_{нест} = 6,8 \cdot 10^{-8}$). Величина, зворотна $K_{нест.}$, називається константою стійкості:

$$K_{ст.} = 1/K_{нест.} - B \quad \text{або} \quad K_{ст.} = K_{нест.}^{-1}$$

$$\lg B = pK_{нест.}; \quad \Delta G^\circ = -RT \ln K = -4,575 \lg B$$

Вона є мірою комплексоутворення. Для наведеного вище прикладу:

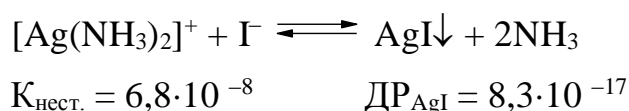
$$K_{ст} = \frac{[Ag(NH_3)_2]^+}{[Ag^+][NH_3]^2},$$

тобто, більшій величині $K_{ст}$ відповідає більша концентрація комплексу за рівноваги.

До дисоціації комплексного іона можна застосувати правило зміщення рівноваги Ле-Шательє. Наприклад, для дисоціації іона: $[Ag(NH_3)_2]^+ \rightleftharpoons Ag^+ + 2NH_3$ збільшення концентрації молекул NH_3 зміщує рівновагу вліво, або за:

$K_{\text{нест.}} = [\text{Ag}^+][\text{NH}_3]^2 / [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ – збільшення числівника дробу приводить до зростання знаменника, оскільки величина K – постійна.

Більшість добре розчинних КС можна зруйнувати дією інших електролітів або розчинників, якщо при цьому утворюються малорозчинні сполуки та нові більш стійкі комплекси, ніж вихідні. Напрямок реакції визначають за величиною константи рівноваги, наприклад:

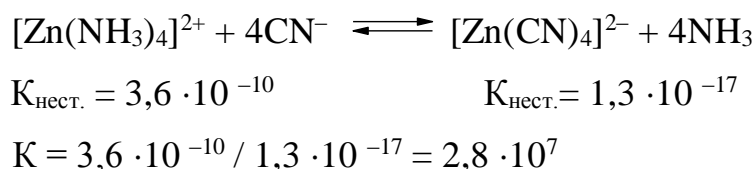


$$K = \frac{K_{\text{нест.}}}{\text{ДР}_{\text{AgI}}} = \frac{6,8 \cdot 10^{-8}}{8,3 \cdot 10^{-17}} = 8,2 \cdot 10^8$$

Аміаки можна зруйнувати дією кислот, наприклад:



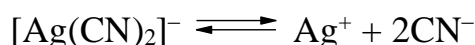
або утворенням більш міцного комплексу, наприклад:



17.4 Приклади розв'язання типових задач

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

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



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

За умовою задачі:

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

Звідси виражаємо концентрацію Ag^+ -іонів:

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

Приклад 2 Розчини простих солей кадмію утворюють з лугами і дигідроген сульфідом осади $\text{Cd}(\text{OH})_2$ і CdS відповідно. Чим пояснити, що при додаванні луку до розчину $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$ з $C_M = 0,05$, який містить $0,1$ моль/л KCN , осад не утворюється, тоді як при пропусканні через цей розчин H_2S випадає осад CdS ? Константу нестійкості $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$ -іона прийняти рівною $7,8 \cdot 10^{-18}$.

Розв'язування: Умови, за яких утворюються осади $\text{Cd}(\text{OH})_2$ і CdS , можна записати таким чином:

$$[\text{Cd}^{2+}][\text{OH}^-]^2 > \text{ДР}_{\text{Cd}(\text{OH})_2} = 4,5 \cdot 10^{-15}$$

$$[\text{Cd}^{2+}][\text{S}^{2-}] > \text{ДР}_{\text{CdS}} = 8 \cdot 10^{-27}$$

У розчині комплексної солі за заданих умов концентрація Cd^{2+} -іонів обчислюється за рівнянням (див. приклад 1):

$$[\text{Cd}^{2+}] = \frac{K_{\text{нест}} [\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}}{[\text{CN}^-]^4} = \frac{7,8 \cdot 10^{-18} \cdot 0,05}{(0,1)^4} = 3,9 \cdot 10^{-15} \text{ моль/л}$$

тоді концентрація OH^- -іонів, яка необхідна для осадження кадмій дигідроксида, обчислюється із рівняння:

$$[\text{OH}^-] = \sqrt{\frac{\text{ДР}_{\text{Cd}(\text{OH})_2}}{[\text{Cd}^{2+}]}} = \sqrt{\frac{4,5 \cdot 10^{-15}}{3,9 \cdot 10^{-15}}} \approx 1 \text{ моль/л}$$

Таким чином, у системі, яку розглядають, за концентрацій OH^- -іонів менших, ніж 1 моль/л, рівновага $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-} + 2\text{OH}^- \rightleftharpoons \text{Cd}(\text{OH})_2 \downarrow + 4\text{CN}^-$ зміщена в бік утворення комплексного іона і навпаки.

Умова утворення осаду кадмій сульфідом із заданого розчину калій тетраціанокадмату (II) виразиться рівнянням:

$$[\text{S}^{2-}] \geq \frac{\text{ДР}_{\text{CdS}}}{[\text{Cd}^{2+}]} = \frac{8,0 \cdot 10^{-27}}{3,9 \cdot 10^{-15}} \approx 2,0 \cdot 10^{-12}$$

Тобто, навіть за малих концентрацій S^{2-} -іона рівновага $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-} + \text{S}^{2-} \rightleftharpoons \text{CdS} \downarrow + 4\text{CN}^-$ практично повністю зміщена у бік утворення CdS .

17.5 Контрольні завдання

661) Чи відбудеться утворення осаду нерозчинного аргентум (I) галогеніду, якщо до 1 л розчину $\text{K}_2[\text{Ag}(\text{CN})_3]$ з $C_M = 0,01$, який містить надлишок $0,02$ моль KCN , додати $0,1$ моль KI ? Константа нестійкості $[\text{Ag}(\text{CN})_3]^{2-}$ -іона дорівнює $1,0 \cdot 10^{-22}$. $\text{ДР}_{\text{AgI}} = 1,0 \cdot 10^{-16}$.

Відповідь: ні.

662) Константа нестійкості $[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-}$ -іона складає $1,4 \cdot 10^{-17}$. Обчислити концентрацію Cd^{2+} -іонів у розчині $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$ з $C_M = 0,1$, який містить у надлишку $0,1$ моль/л KCN .

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

663) Чи випаде осад аргентум (I) галогеніду при додаванні до 1 л розчину $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ з $C_M = 0,1$, який містить 1 моль/л NH_3 : а) $1,0 \cdot 10^{-5}$ моль KBr ; б) $1,0 \cdot 10^{-5}$ моль KI ? $DP_{\text{AgBr}} = 6,0 \cdot 10^{-13}$; $DP_{\text{AgI}} = 1,1 \cdot 10^{-16}$

Відповідь: а) ні, б) так.

664) Яка маса Ag^+ -іонів міститься в $0,5$ л розчину $\text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$ з $C_M = 0,1$, який містить, крім того, $0,1$ моль/л $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$?

Відповідь: $5,9 \cdot 10^{-11}$ г.

665) Обчислити концентрацію Cd^{2+} -іонів у розчині $\text{K}_2[\text{Cd}(\text{CN})_4]$ з $C_M = 0,1$, який містить, крім того, $6,5$ г/л KCN .

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

666) Обчислити концентрацію Ag^+ -іонів у розчині $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ з $C_M = 0,1$, який містить у надлишку $0,1$ моль/л NH_3 .

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

667) Скільки Ag^+ -іонів міститься у 1 л розчину $\text{K}_2[\text{Ag}(\text{CN})_3]$ з $C_M = 0,05$, який містить, крім того, $0,95$ моль KCN ? Ступінь дисоціації KCN вважати рівним $0,75$. Константа нестійкості $[\text{Ag}(\text{CN})_3]^{2-}$ -іона складає $1,0 \cdot 10^{-22}$.

Відповідь: ≈ 8 .

668) Обчислити концентрацію Ag^+ -іонів у розчині $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ з $C_M = 0,5$, який містить у надлишку $0,05$ моль/л NH_3 . Константа нестійкості $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ -іона складає $6,8 \cdot 10^{-8}$.

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

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

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

670) Константа нестійкості $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ -іона складає $1,0 \cdot 10^{-13}$. Скільки грамів Ag^+ -іонів міститься у 1 л розчину $\text{Na}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$ з $C_M = 0,1$, до якого додано, крім того, 25 г $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$? Скільки Ag^+ -іонів містить 1 л вказаного розчину?

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

671) Константа нестійкості $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ -іона складає $6,8 \cdot 10^{-8}$. Яка концентрація Ag^+ -іонів у розчині $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{NO}_3$ з $C_M = 0,08$, який містить, крім того, $0,8$ моль NH_3 ? Скільки грамів NaCl необхідно додати до 1 л цього розчину до початку випадіння осаду AgCl ? $DP_{\text{AgCl}} = 1,2 \cdot 10^{-10}$.

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

672) Чи відбудеться осадження нерозчинного осаду HgS при додаванні до 1 л розчину $K_2[HgI_4]$ з $C_M = 0,001$, який містить 0,05 моль KI, такої кількості S^{2-} -іонів (моль/л), яке міститься у 1 л насиченого розчину CdS? Константа нестійкості $[HgI_4]^{2-}$ -іона дорівнює $5,0 \cdot 10^{-31}$. $DP_{CdS} = 3,6 \cdot 10^{-29}$, $DP_{HgS} = 4,0 \cdot 10^{-53}$.

Відповідь: так.

673) За якої концентрації Cl^- -іона почне випадати осад AgCl із розчину $[Ag(NH_3)_2]NO_3$ з $C_M = 0,1$, який містить 1 моль надлишку NH_3 на 1 л розчину? $DP_{AgCl} = 1,2 \cdot 10^{-10}$.

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

674) Чи відбудеться випадіння нерозчинного аргентум (I) галогеніду при додаванні до 1 л розчину $[Ag(NH_3)_2]NO_3$ з $C_M = 0,01$, який містить 1 моль в надлишку NH_3 : а) $1,0 \cdot 10^{-6}$ моль Br^- -іона; б) $1,0 \cdot 10^{-4}$ моль I^- -іона? $DP_{AgBr} = 4,0 \cdot 10^{-13}$, $DP_{AgI} = 1,0 \cdot 10^{-16}$.

Відповідь: а)ні, б)так.

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

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

676) Скільки моль NH_3 повинно бути у надлишку в 1 л розчину $[Ag(NH_3)_2]NO_3$ з $C_M = 0,1$, щоб при додаванні 1,5 г KCl до цього розчину не визвало випадання осаду AgCl? $DP_{AgCl} = 1,2 \cdot 10^{-10}$.

Відповідь: $\geq 1,06$ моль.

677) Скільки моль аміаку повинно міститися у 1 л розчину $[Ag(NH_3)_2]NO_3$ з $C_M = 0,1$, щоб при додаванні 7,5 г KCl до 1 л розчину не відбулося випадання AgCl? $DP_{AgCl} = 1,2 \cdot 10^{-10}$.

Відповідь: $\geq 2,3$ моль.

678) Яка концентрація Ag^+ -іонів у розчині $[Ag(NH_3)_2]NO_3$ з $C_M = 0,08$, який містить 1 моль/л аміаку? Скільки грамів NaCl можна додати до 1 л цього розчину до початку випадання осаду AgCl? $DP_{AgCl} = 1,2 \cdot 10^{-10}$.

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

679) Чи відбудеться утворення нерозчинного аргентум (I) сульфїду, якщо до 1 л розчину $K_2[Ag(CN)_3]$ з $C_M = 0,01$, який містить надлишок 0,02 моль KCN, додати 10 мл насиченого розчину MnS ? Константа нестійкості $[Ag(CN)_3]^{2-}$ -іона дорівнює $1,0 \cdot 10^{-22}$. $DP_{Ag_2S} = 4,0 \cdot 10^{-50}$, $DP_{MnS} = 1,4 \cdot 10^{-15}$.

Відповідь: так.

680) За якої концентрації S^{2-} -іонів почне випадати нерозчинний осад CdS із розчину $K_2[Cd(CN)_4]$ з $C_M = 0,05$, який містить 0,1 моль KCN у 1 л

розчину? $DP_{CdS} = 3,6 \cdot 10^{-29}$. Константа нестійкості $[Cd(CN)_4]^{2-}$ -іона дорівнює $1,4 \cdot 10^{-17}$.

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

- 681) Яка з наведених комплексних сполук є неелектролітом?
а) $[Pt(NH_3)_2Cl_4]$, б) $[Pt(NH_3)_6]Cl_4$, в) $[Pt(NH_3)_3Cl_3]Cl$, г) $K_2[PtCl_6]$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 682) Яка з наведених комплексних сполук містить комплексний катіон?
а) $K_3[Fe(CN)_6]$, б) $K_4[Fe(CN)_6]$, в) $[Fe(H_2O)_6]SO_4$, г) $[Fe(CO)_5]$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 683) Які з наведених комплексних сполук містять комплексний аніон?
а) $[Cr(H_2O)_4Br_2]Br$, б) $[Cr(H_2O)_6]Br_3$, в) $K[Cr(OH)_4]$, г) $[Cr(CO)_6]$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 684) Яка з наведених комплексних сполук є неелектролітом?
а) $[Fe(H_2O)_4Cl_2]Cl$, б) $[Fe(CO)_5]$, в) $K_3[Fe(CN)_6]$, г) $K_3[FeF_6]$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 685) Яка з наведених комплексних сполук містить комплексний катіон?
а) $K_2[PtBr_4]$, б) $[Pt(NH_3)_2Cl_2]$, в) $[Pt(NH_3)_3Cl]Cl$, г) $[Pt(NH_3)_4]Cl_2$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 686) Які з наведених комплексних сполук відносяться до ацидокомплексів?
а) $[Ni(CO)_4]$, б) $K_2[Cu(CN)_4]$, в) $[Cu(NH_3)_4]Cl_2$, г) $[Cu(NH_3)_2]OH$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 687) Які з наведених комплексних сполук містять комплексний аніон?
а) $[Cr(H_2O)_4Cl_2]Cl$, б) $[Cr(CO)_6]$, в) $K_3[Cr(NCS)_6]$, г) $[Cr(H_2O)_3Cl_3]$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 688) Яка з наведених комплексних сполук відноситься до аміакатів?
а) $Na[Ag(CN)_2]$, б) $K[Ag(SCN)_2]$, в) $[Ag(NH_3)_2]OH$, г) $Na_3[Ag(S_2O_3)_2]$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 689) Яка з наведених комплексних сполук є неелектролітом?
а) $(NH_4)_2[PtCl_6]$, б) $(NH_4)_2[PtCl_4]$, в) $[Pt(NH_3)_2Cl_2]$, г) $K_2[Pt(SNC)_4]$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 690) Яка з наведених комплексних сполук відноситься до аквакомплексів?
а) $K_4[Cr(CN)_6]$, б) $[Cr(H_2O)_6]Cl_3$, в) $K_3[Cr(CN)_6]$, г) $[Cr(CO)_6]$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 691) Які з наведених комплексних сполук містять комплексний катіон?
а) $[Ag(NH_3)_2]Cl$, б) $K_3[Ag(S_2O_3)_2]$, в) $K[Ag(CN)_2]$, г) $NH_4[Ag(SCN)_2]$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 692) Яка з наведених комплексних сполук є неелектролітом?
а) $K_2[Ni(CN)_4]$, б) $[Ni(H_2O)_6]Cl_3$, в) $[Ni(CO)_4]$, г) $Na_2[Ni(C_2O_4)_2]$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 693) Яка з наведених комплексних сполук відноситься до гідроксокомплексів?
а) $[Co_2(CO)_8]$, б) $K_2[Co(C_2O_4)_2]$, в) $K_3[Co(OH)_6]$, г) $K_3[Co(NO_2)_6]$. Дайте назву комплексним сполукам.

- 694) Яка з наведених комплексних сполук містить комплексний катіон?
а) $[\text{Cr}(\text{CO})_3(\text{NH}_3)_3]$, б) $\text{K}_3[\text{Cr}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]$, в) $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$, г) $[\text{Cr}(\text{CO})_6]$.
Дайте назву комплексним сполукам.
- 695) Яка з наведених комплексних сполук містить комплексний аніон?
а) $\text{K}_3[\text{Ni}(\text{CN})_4]$, б) $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$, в) $\text{Na}_2[\text{Ni}(\text{CN})_4]$, г) $\text{K}_2[\text{Ni}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 696) Яка з наведених комплексних сполук є неелектролітом?
а) $[\text{Fe}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$, б) $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, в) $\text{K}_3[\text{FeF}_6]$, г) $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 697) Яка з наведених комплексних сполук містить комплексний катіон?
а) $\text{K}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4]$, б) $\text{K}_2[\text{Zn}(\text{NCS})_4]$, в) $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$, г) $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$.
Дайте назву комплексним сполукам.
- 698) Які з наведених комплексних сполук відносяться до ацидокомплексів?
а) $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$, б) $\text{Cs}[\text{Cu}(\text{SCN})_2]$, в) $\text{K}_2[\text{CuF}_4]$, г) $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4]\text{Cl}_2$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 699) Яка з наведених комплексних сполук є неелектролітом?
а) $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Br}_2]$, б) $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4]\text{Br}_2$, в) $\text{K}_2[\text{PtCl}_4]$, г) $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}]\text{Cl}$. Дайте назву комплексним сполукам.
- 700) Які з наведених комплексних сполук відносяться до аміакатів?
а) $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$, б) $\text{Na}[\text{Ag}(\text{SCN})_2]$, в) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$, г) $\text{K}_3[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]$.
Дайте назву комплексним сполукам.

Завдання підвищеної складності

- 701) Залізну сітку масою 10,0 г занурили у 200 г 20 %-ного розчину купрум (II) сульфату. Коли реакція пройшла на 10 %, сітку вийняли, промили водою і висушили. Визначити масу сітки після реакції і концентрацію розчину купрум (II) сульфату, який залишився у розчині.
Відповідь: 10,14 г; 18,57 %-ний розчин CuSO_4 .
- 702) 1,04 г хлориду двовалентного металу розчинили у воді і до одержаного розчину додали надлишок розчину K_2CO_3 . Осад, який випав, розчинили у HNO_3 і до утвореного розчину додали надлишок H_2SO_4 . Осад, що утворився, відфільтрували, промили невеликою кількістю води і висушили до постійної маси. При цьому було одержано 1,165 г білого порошку. Визначити, хлорид якого металу було взято, і написати рівняння усіх проведених реакцій.
Відповідь: BaCl_2 .
- 703) До 63,3 г 15 %-ного розчину магній дихлориду додали 250 г 8,48 %-ного розчину Na_2CO_3 . Осад відфільтрували, а до фільтрату прибавили 14,6 %-ний розчин хлоридної (соляної) кислоти до припинення виділення газу. Визначити масу хлоридної кислоти, яку витратили.
Відповідь: 50 г 14,6 %-ного розчину HCl .
- 704) Якого складу утворюється сіль і яка її концентрація у розчині, якщо до 25 мл 25 %-ного розчину NaOH ($\rho = 1,28 \text{ г/см}^3$) додати ангідрид фосфатної (фосфорної) кислоти, який одержано при спалюванні 6,2 г

фосфору?

Відповідь: 52 % NaH_2PO_4 .

- 705) Розчин суміші дифосфатної (дифосфорної) і метафосфатної (метафосфорної) кислот розділили на дві рівні частини, одну із яких зразу нейтралізували содою Na_2CO_3 , а другу попередньо прокип'ятили, а потім також нейтралізували содою. Для нейтралізації першої частини розчину потрібно у 2,5 рази менше соди, ніж для другої. У якому співвідношенні знаходилися мета – і дифосфатні кислоти у вихідному розчині?

Відповідь: моля HPO_3 / моля $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7 = 8$.

- 706) Тверда кристалічна сполука, яка складається із одновалентного металу і одновалентного неметалу, енергійно реагує з водою і водними розчинами кислот з виділенням водню. При взаємодії з водою 2,4 г цієї речовини виділилося 2630 мл водню (37°C і 734 мм. рт. ст.), а розчин набув лужну реакцію. Визначити склад речовини, написати рівняння реакції її з водою, хлоридною кислотою та хлором.

Відповідь: NaN .

- 707) В хімічний стакан, який містить 150 г 20 %-ного розчину хлоридної (соляної) кислоти, занурили цинкову пластинку. Через деякий час її вийняли, промили, висушили і зважили. Маса пластинки зменшилася на 6,5 г. Визначити концентрацію хлоридної кислоти, яка залишилася у розчині.

Відповідь: 15,13 %.

- 708) 1,97 г карбонату двовалентного металу прожарили за температури $600\text{--}800^\circ\text{C}$, при цьому одержали білий порошок, який енергійно реагує з водою. До розчину, який утворився, додали надлишок розчину калій сульфату, осад, що випав, відфільтрували, промили невеликою кількістю води, висушили до постійної маси і одержали 2,33 г білого порошку. Визначити, карбонат якого металу було взято, і написати рівняння усіх проведених реакцій.

Відповідь: BaCO_3 .

- 709) 2,74 г двовалентного металу спалили у надлишку кисню. Речовину, яка утворилася при цьому, повністю розчинили у хлоридній (соляній) кислоті і до одержаного розчину прилили розчин натрій сульфату до припинення виділення осаду. Осад, що випав, відфільтрували, промили водою і висушили до постійної маси. При цьому одержано 4,66 г білої речовини. Визначити, який метал було взято і написати рівняння усіх проведених реакцій.

Відповідь: Барій (Ba).

- 710) Через вапняну воду пропустили 1 л суміші газів CO_2 і CO . Осад, що випав при цьому, відфільтрували і висушили. Маса його дорівнює 2,45 г. Встановити відсотковий вміст CO_2 у цій суміші.

Відповідь: $\approx 55\%$ (за об'ємом).

711) Газ, одержаний при взаємодії концентрованої сульфатної (сірчаної) кислоти (91,4 %) з Cu, пропустили через розчин барій дихлориду, насиченого аміаком. Утворилося 151,9 г осаду. Скільки грамів 91,4 %-ного розчину сульфатної кислоти і Cu було взято?

Відповідь: 44,8 г Cu; 150,1 г 91,4 %-ного розчину H_2SO_4 .

712) Наважку мармуру масою 2,507 г, яка містить домішки, розчинили у розведеній хлоридній (соляній) кислоті. До одержаного розчину додали розчин амоній оксалату, осад CaC_2O_4 відфільтрували і прожарили за температури $800^\circ C$. Кальцій оксид, що одержали при цьому, обробили розчином сульфатної (сірчаної) кислоти і знову прожарили. Одержали речовину масою 2,806 г. Визначити відсотковий вміст кальцій карбонату у взятій пробі.

Відповідь: 82,3 %.

713) До 107 г 20 %-ного розчину амоній хлориду прибавили 150 г 18 %-ного розчину натрій гідроксиду. Розчин прокип'ятили. Визначити, які речовини і у якій кількості (у мас. %) залишилися у розчині. Яка мінімальна кількість 60 %-ного розчину фосфатної (фосфорної) кислоти потрібно для поглинання газу, який виділяється при кип'ятінні?

Відповідь: 4,28 % NaOH; 9,1 % NaCl; 32,6 г 60 %-ного розчину H_3PO_4 .

714) Для визначення вмісту кухонної солі у технічному їдкому натрі, 2 г його розчинили у воді і до розчину, підкисленого HNO_3 , додали розчин $AgNO_3$ у надлишку. Маса осаду, який випав при цьому, дорівнює 0,287г. Скільки відсотків NaCl містив їдкий натр?

Відповідь: 5,85 %.

715) До розчину, що містить 4,42 г суміші ферум (III) і алюміній (III) сульфату, додали надлишок розчину натрій гідроксиду. Осад відфільтрували і прожарили. Маса осаду, який одержали при цьому, дорівнює 1,42 г. Визначити вміст сульфатів алюмінію і ферума у взятому розчині.

Відповідь: 1 г $Fe_2(SO_4)_3$; 3,42 г $Al_2(SO_4)_3$.

716) До розчину, який містить 49,8 г калій йодиду, додали 250 г розчину бром у воді. Йод, що виділився при цьому, вилучили, а розчин випарували. Маса сухого залишку дорівнює 45,1 г. Визначити відсоткову концентрацію бром у воді і склад сухого залишку.

Відповідь: 3,2 %; 33,2 г KI; 11,9 г KBr.

717) До 400 мл розчину купрум (II) сульфату прибавили розчин калій йодиду, у результаті чого утворилося 20,32 г йоду. Визначити молярну концентрацію розчину купрум (II) сульфату.

Відповідь: $C_M = 0,4$.

718) Через 500 мл розчину натрій гідроксиду з $C_M = 1,6$ пропустили 80 л повітря, яке містило 16,8 % (за об'ємом) нітроген діоксиду, розчин

- випарували. Визначити склад одержаного твердого залишку.
Відповідь: 20,7 г NaNO_2 , 25,5 г NaNO_3 і 8 г NaOH .
- 719) При обробці щавлевої (оксалатної) кислоти концентрованою сульфатною (сірчаною) кислотою виділяються карбон діоксид і монооксид (кислота відіграє роль водовіднімаючої речовини). Одержані газу пропустили через розчин лугу, у результаті чого утворилося 400 г 10,6 %-ного розчину соди. Визначити об'єм (н. у.) карбон монооксиду, що утворився при цьому.
Відповідь: 8,96 л.
- 720) При пропусканні 20 л (н. у.) суміші H_2S з повітрям через 4 кг розчину сульфитної (сірчистої) кислоти утворилося 38,4 г сірки. Визначити відсоткову концентрацію сульфитної кислоти у розчині. Скільки літрів H_2S вступило в реакцію?
Відповідь: 0,82 %, 17,92 л.
- 721) При розчиненні у розведений нітратній (азотній) кислоті 5,0 г сплаву Cu , Fe і Au , утворилося 1344 мл NO (н. у.) і 0,04 г осаду, який не розчинився у кислоті. Визначте відсотковий вміст сплаву.
Відповідь: 76,8 % Cu , 22,4 % Fe , 0,8 % Au .
- 722) У виробництві сульфатної (сірчаної) кислоти контактним способом із 14 тонн FeS_2 , що містить 42,4 % сірки, отримали 18 тонн сульфатної кислоти. Який відсоток від теоретично можливого становить цей вихід?
Відповідь: 99,0 %.
- 723) При розчиненні 4,0 г сплаву Cu , Fe і Al у хлоридній (соляній) кислоті утворилося 2016 мл водню (н. у.) і 1,24 г осаду, що не розчинився. Визначте відсотковий склад сплаву.
Відповідь: 42 % Fe , 27 % Al , 31 % Cu .
- 724) Fe масою 12,2 г сплавляли із S масою 6,4 г, а потім до сплаву додали надлишок розчину HCl . Газ, що виділювався, пропустили через 200 г розчину купрум (II) хлориду з концентрацією 15 % (за масою). Яка маса осаду, що утворився при цьому?
Відповідь: 19,2 г.
- 725) На розчинення суміші оксидів ферума (II) і ферума (III) масою 14,64 г витрачено 89 мл розчину HNO_3 концентрації 30 % (густина $1,18\text{г/см}^3$). Обчисліть масові частки оксидів у суміші (у відсотках).
Відповідь: 34,36 % FeO ; 65,64 % Fe_2O_3 .
- 726) Із однієї тонни хромистого залізняка $\text{Fe}(\text{CrO}_2)_2$ утворилося при виплавленні 240 кг сплаву Fe з Cr – ферохрому, що містить 65 % хрому. Обчисліть відсотковий вміст домішок у руді.
Відповідь: 64,4 %.
- 727) При розчиненні 13,5 г суміші карбідів кальцію і алюмінію в хлоридній (соляній) кислоті отримали 5,6 л газу (н. у.), густина якого за воднем дорівнює 10. Визначте вміст карбідів кальцію й алюмінію у суміші.
Відповідь: 6,4 г CaC_2 , 7,1 г Al_4C_3 .

728) Суміш мідного купоросу і гіркої солі масою 3,0 г втратила після прожарювання половину своєї маси. Обчисліть масові частки солей у суміші.

Відповідь: 8 % $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; 92% $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

729) 1,0 г суміші ошурків Cu, Mg і Al обробили надлишком хлоридної (соляної) кислоти. Розчин відфільтрували. До фільтрату додали надлишок натрій гідроксиду. Одержаний при цьому осад відфільтрували, промили водою і прожарили до сталої маси, яка становила 0,635г. Залишок, що одержали після розчинення суміші ошурків у хлоридній кислоті, прожарили на повітрі до сталої маси, яка дорівнює 0,795 г. Обчисліть склад вихідної суміші у масових відсотках.

Відповідь: 63,5 % Cu, 24,5 % Mg і 12,0 % Al.

730) При розчиненні 3,0 г сплаву Mg і Al у сульфатній (сірчаній) кислоті утворилося 16,44 г сульфатів цих металів (у перерахунку на безводні солі). Визначте відсотковий склад сплаву.

Відповідь: 64 % Mg, 36 % Al.

731) При розчиненні 4,5 г сплаву Al з Mg у кислоті виділилося 5,04 л водню (н. у.). Визначте відсотковий склад сплаву.

Відповідь: 60 % Al, 40 % Mg.

732) У якому мольному відношенні потрібно змішати карбонати кальцію й магнію, щоб після прожарювання суміші за температури вище за 1000°C маса її зменшилася наполовину?

Відповідь: 1 : 3.

733) Для розчинення 60 г сплаву фосфору і кальцію витрачено 690 мл розчину HCl ($C_M = 3,0$). Визначте відсотковий склад суміші до і після сплавлення.

Відповідь: 69 % Ca, 31 % P; 9 % Ca і 91 % Ca_3P_2 .

734) Суміш фосфату і нітрату амонію містить 30 % нітрогену. Скільки відсотків фосфору міститься у суміші?

Відповідь: 15,25 %.

735) При розчиненні 8,0 г сплаву цинку з алюмінієм у розчині лугу виділилось 7,616 л водню (н.у.). Визначте відсотковий склад сплаву.

Відповідь: 32,5 % Zn, 67,5 % Al.

736) При розчиненні 8,0 г сплаву цинку з алюмінієм у нітритній (азотній) кислоті одержали 50,16 г суміші нітратів цих металів. Визначте відсотковий склад сплаву.

Відповідь: 67,5 % Al, 32,5 % Zn.

737) При розчиненні 1,86 г сплаву магнію з алюмінієм у розведеної нітратній (азотній) кислоті виділилося 560 мл нітроген (I) оксиду (н. у.). Визначте відсотковий склад сплаву.

Відповідь: 87,1 % Al, 12,9 % Mg.

738) При розчиненні 6,0 г сплаву Cu, Fe і Al у хлоридній (соляній) кислоті утворилося 3,024 л (н. у.) водню і 1,86 г залишку, що не розчинився.

- Визначте відсотковий склад сплаву.
Відповідь: 42 % Fe, 27 % Al, 31 % Cu.
- 739) При розчиненні 3,0 г сплаву магнію з алюмінієм у сульфатній (сірчаній) кислоті одержали 17,4 г сульфатів цих металів. Визначте відсотковий склад сплаву.
Відповідь: 40 % Mg, 60 % Al.
- 740) При розчиненні 6,0 г сплаву Cu з Ag у нітратній (азотній) кислоті одержали 14,68 г суміші їх нітратів. Визначте відсотковий склад сплаву.
Відповідь: 64 % Cu, 36 % Ag.
- 741) Із фосфорного добрива фосфор осадили у вигляді $MgNH_4PO_4$. Після прожарювання маса одержаного магній пірофосфату (дифосфату) дорівнює 0,2548 г. Визначити вміст фосфору у добриві в грамах.
Відповідь: 0,071 г.
- 742) Із розчину хлорного вапна Ca^{2+} -іони осадили у вигляді $CaC_2O_4 \cdot 2H_2O$. Маса прожареного осаду CaO дорівнює 0,4850 г. Обчислити вміст кальцію у розчині хлорного вапна.
Відповідь: 0,3464 г.
- 743) Із розчину $Al_2(SO_4)_3$ SO_4^{2-} -іони осадили у вигляді $BaSO_4$, маса якого дорівнює 0,2543 г. Скільки грамів SO_4^{2-} -іонів і безводного $Al_2(SO_4)_3$ містилося у розчині?
Відповідь: 0,1047 г; 0,12443 г.
- 744) Розчин цинкового купоросу обробили розчином амоній тетрароданомеркуріату (II). Маса одержаного осаду цинк тетрароданомеркуріату (II) дорівнює 2,4839 г. Скільки грамів цинку містилося у розчині?
Відповідь: 0,3249 г.
- 745) Сплав, що містить невелику кількість Pb, після розчинення в кислоті обробили розчином K_2CrO_4 . Осад $PbCrO_4$ після висушування має масу 0,4582 г. Скільки грамів Pb містилося у сплаві?
Відповідь: 0,2937 г.
- 746) Pb, що входить до складу сплаву, після розчинення сплаву у кислоті, дією амоній молібдату переведено в $PbMoO_4$. Обчислити вміст Pb у сплаві, якщо маса висушеного осаду дорівнює 0,4852 г.
Відповідь: 0,2737 г.
- 747) Із наважки глини масою 2,3485 г після відповідної обробки одержали 0,2924 г SiO_2 та 0,0825 г Fe_2O_3 і Al_2O_3 . Обчислити відсотковий вміст SiO_2 та Fe_2O_3 і Al_2O_3 у цьому зразку глини.
Відповідь: 12,45 %, 3,5 %.
- 748) Із наважки сплаву, що містить Sn масою 0,2446 г, після відповідної обробки одержали 0,2625 г осаду SnO_2 . Обчислити відсотковий вміст Sn у сплаві.
Відповідь: 84,5 %.

- 749) Із наважки свинцевого сплаву масою 3,4845 г виділено у чистому вигляді Cu і Zn, маса яких дорівнює 0,0357 г. Обчислити відсотковий вміст Pb, прийнявши суму усіх компонентів сплаву за 100 %.
Відповідь: 98,98 %.
- 750) Із наважки глини масою 0,5340 г після відповідної обробки одержано 0,2345 г CaO і 0,0235 г MgO. Обчислити відсотковий вміст у глині CaCO₃ і MgCO₃.
Відповідь: 78,48 %; 9,24 %.
- 751) При визначенні магнію у доломіті із наважки масою 2,4548 г одержано 2,3748 г магній пірофосфату (дифосфату). Обчислити відсотковий вміст магнію і його карбонату у досліджуємому зразку.
Відповідь: 20,92 %, 73,21 %.
- 752) Обчислити відсотковий вміст вольфраму і цинку в сплаві, якщо із наважки сплаву масою 2,4850 г після прожарювання осадженої форми одержано оксиди WO₃ і ZnO, маса яких дорівнює 0,1348 і 0,1252 г відповідно.
Відповідь: 4,3 %; 4,04 %.
- 753) При аналізі мінералу на вміст фосфору була взята наважка масою 0,1112 г, із якої фосфор виділено у вигляді P₂O₅ · 24MoO₃. Обчислити відсотковий вміст фосфору у мінералі, якщо маса одержаного осаду P₂O₅ · 24 MoO₃ дорівнює 0,02010 г.
Відповідь: 0,31 %.
- 754) Для визначення вмісту сульфуру у чавуні взято наважку масою 6,0204г. Після відповідної обробки одержано купрум (II) сульфід, при прожарюванні якого вилучено 0,0854 г CuO. Обчислити відсотковий вміст сульфуру у чавуні.
Відповідь: 0,567 %.
- 755) Із наважки органічної речовини, яка містить сульфур, масою 0,3245г, сульфур окиснено до SO₄²⁻-іона і осаджено у вигляді BaSO₄. Обчислити відсотковий вміст сульфуру у речовині, якщо маса осаду BaSO₄ дорівнює 0,3248 г.
Відповідь: 13,74 %.
- 756) Який відсотковий вміст Sb₂S₃ у сур'мяному блиску, якщо із наважки його масою 0,2048 г увесь сульфур вилучений у вигляді BaSO₄, маса якого дорівнює 0,2234 г?
Відповідь: 53,26 %.
- 757) Із наважки солі Мора масою 2,2548 г після відповідної обробки одержано 0,0862 г FeS. Обчислити відсотковий вміст FeSO₄ у солі Мора.
Відповідь: 6,6 %.
- 758) Обчислити відсотковий вміст FeSO₄ у солі Мора, якщо із наважки масою 5,4850 г, яку взяли для аналізу, вилучили 1,1848 г Fe₂O₃.
Відповідь: 41,04 %.

- 759) При визначенні чистоти солі $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ сульфат-іон вилучено у вигляді BaSO_4 , а Al^{3+} -іон – у вигляді AlPO_4 . Яка повинна бути маса AlPO_4 , якщо осад BaSO_4 має масу 0,1560 г?
Відповідь: 0,0545 г.
- 760) 0,2515 г суміші, яка містить, головним чином, CaSO_4 і CaCl_2 , послідовно обробили Na_2CO_3 і BaCl_2 . Одержали осад BaSO_4 і CaCO_3 масою 0,1063 і 0,1228 г відповідно. Обчислити відсотковий вміст кожної солі у суміші, враховуючи, що CaSO_4 не перетворюється у CaCO_3 .
Відповідь: 24,65 % CaSO_4 ; 54,19 % CaCl_2 .
- 761) Обчислити область скачку на кривій титрування Sn^{2+} -іонів розчином Fe^{3+} -іонів за недостатньої кількості і надлишку робочого розчину в 0,10мл.
Відповідь: 0,593; 0,239 В.
- 762) Обчислити окиснювально-відновний потенціал у точці еквівалентності при титруванні солі ферума (III) розчином солі станума (II).
Відповідь: 0,356 В.
- 763) Обчислити окиснювально-відновний потенціал системи при титруванні солі станума (II) сіллю ферума (III), коли до розчину солі станума додано 80 і 120 мл солі ферума (III).
Відповідь: 0,167 В; 0,729 В.
- 764) Обчислити константу рівноваги реакції між KMnO_4 і KI у кислому середовищі.
Відповідь: 10^{165} .
- 765) Обчислити константу рівноваги реакції взаємодії солі ферума (III) з KI .
Відповідь: $10^{7,9} \approx 10^8$.
- 766) Написати рівняння реакції і обчислити константу взаємодії йодид- і йодат іонів у кислому середовищі, якщо $E^0_{\text{I}_2/2\text{I}^-} = 0,54$ В, а $E^0_{\text{I}_2/2\text{IO}_3^-} = 1,19$ В.
Відповідь: 10^{110} .
- 767) Обчислити константу рівноваги реакції:

$$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 6\text{I}^- + 14\text{H}^+ \rightleftharpoons 2\text{Cr}^{3+} + 3\text{I}_2 + 7\text{H}_2\text{O}$$
Відповідь: $10^{80,8}$.
- 768) Обчислити константу рівноваги взаємодії солі ферума (II) з солями церію (IV).
Відповідь: $10^{11,51}$.
- 769) Обчислити потенціали титрування солі ферума (II) розчином церій (IV) сульфату у точці еквівалентності, за надлишку і недостатній кількості робочого розчину в 0,1 %.
Відповідь: т. ек. 1,11 В; 0,94 В; 1,27 В.

- 770) Чому дорівнює скачок титрування солі аргентума (I) титан (III) сульфатом за недостатної кількості і надлишку робочого розчину в 0,1%?
Відповідь: 0,623 В; 0,277 В; $\Delta E = 0,346$ В.
- 771) Обчислити потенціал у точці еквівалентності при титруванні солі аргентума (I) титан (III) сульфатом у кислому середовищі.
Відповідь: 0,450 В.
- 772) Обчислити потенціал у точці еквівалентності при титруванні розчину $H_2C_2O_4$ розчином $KMnO_4$ у кислому середовищі.
Відповідь: 0,940 В.
- 773) Чому дорівнює потенціал системи у точці еквівалентності при титруванні розчину H_2O_2 розчином $KMnO_4$ у кислому середовищі?
Відповідь: 1,584 В.
- 774) Обчислити окиснювально-відновний потенціал у точці еквівалентності при титруванні розчину $NaNO_2$ розчином $KMnO_4$ у кислому середовищі.
Відповідь: 1,347 В.
- 775) Обчислити окиснювально-відновний потенціал системи при титруванні, якщо до розчину солі нітриту додано 80 % від еквівалентної кількості розчину $KMnO_4$.
Відповідь: 0,958 В.
- 776) Обчислити константу рівноваги реакції: $H_2S + I_2 \rightleftharpoons 2HI + S$
Відповідь: $10^{13,37}$.
- 777) Обчислити константу рівноваги окиснювально-відновної реакції між арсенат- і йодид іонами у сильно кислому середовищі.
Відповідь: $10^{0,79}$.
- 778) Обчислити константу рівноваги реакції взаємодії Br_2 з KI .
Відповідь: $10^{17,78}$.
- 779) Обчислити константу рівноваги реакції: $2Ag + Hg^{2+} \rightleftharpoons Hg + 2Ag^+$
Відповідь: $10^{1,83}$.
- 780) Чому дорівнює константа рівноваги реакції взаємодії Cl_2 з KI ?
Відповідь: $10^{27,92}$.

Правила роботи в лабораторії і техніка безпеки

При роботі в хімічній лабораторії необхідно неухильно виконувати правила роботи та техніку безпеки:

- старанно готуватися до кожного лабораторного заняття;
- стисло записувати в журналі усі спостереження, зроблені під час експерименту;
- усі склянки з реактивами закривати пробками і ставити на постійні, відведені для них місця. Не брати зайву кількість реактивів, а коли це випадково трапиться, не виливати надлишок у загальну склянку, щоб не забруднювати реактив у склянці;
- усі операції з леткими та шкідливими речовинами проводити лише у витяжній шафі;
- ніяких речовин в лабораторії не коштувати на смак. Нюхати речовини можна, лише направляючи на себе пару або газу легким рухом руки, а не нахилившись до посудини і не вдихаючи на повні груди;
- категорично забороняється затягувати ротом у піпетки кислоти, луги, органічні речовини і їх розчини;
- під час нагрівання рідких і твердих речовин у пробірках і колбах заборонено направляти їх отвори на себе і сусідів, не зазірати зверху у посудину, яка нагрівається відкрито, щоб запобігти можливого враження під час викиду гарячої маси;
- категорично забороняється виливати у раковину концентровані розчини кислот і лугів, а також різноманітні органічні розчинники, сильно пахнучі і вогнебезпечні речовини. Усі ці відходи потрібно зливати у спеціальні бутлі;
- не входити до лабораторії у верхньому одязі, не класти на хімічні столи портфелі, валізки та інші непотрібні для хімічного дослідження речі;
- вимкнути після роботи електронагрівальні прилади, загасити газові пальники, перевірити, чи добре закручені водопровідні крани;
- при опіку полум'ям, кислотами, лугами і при отруєнні реактивами або газом, слід негайно звернутися до викладача або лаборанта для надання першої допомоги. У тяжких випадках до потерпілого негайно слід викликати лікаря.

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Варіанти контрольних завдань

Номер варіанту	Номера вправ (задач), які відносяться до даного контрольного завдання
1	2
01	1,21,41,61,81,101,121,141,161,181,201,221,241,261,281,301,321,341,361,381,401,421,441,461,481,501,521,541,561,581,601,621,641,661,681,701,721,741,761
02	2,22,42,62,82,102,122,142,162,182,202,222,242,262,282,302,322,342,362,382,402,422,442,462,482,502,522,542,562,582,602,622,642,662,682,702,722,742,762
03	3,23,43,63,83,103,123,143,163,183,203,223,243,263,283,303,323,343,363,383,403,423,443,463,483,503,523,543,563,583,603,623,643,663,683,703,723,743,763
04	4,24,44,64,84,104,124,144,164,184,204,224,244,264,284,304,324,344,364,384,404,424,444,464,484,504,524,544,564,584,604,624,644,664,684,704,724,744,764
05	5,25,45,65,85,105,125,145,165,185,205,225,245,265,285,305,325,345,365,385,405,425,445,465,485,505,525,545,565,585,605,625,645,665,685,705,725,745,765
06	6,26,46,66,86,106,126,146,166,186,206,226,246,266,286,306,326,346,366,386,406,426,446,466,486,506,526,546,566,586,606,626,646,666,686,706,726,746,766
07	7,27,47,67,87,107,127,147,167,187,207,227,247,267,287,307,327,347,367,387,407,427,447,467,487,507,527,547,567,587,607,627,647,667,687,707,727,747,767
08	8,28,48,68,88,108,128,148,168,188,208,228,248,268,288,308,328,348,368,388,408,428,448,468,488,508,528,548,568,588,608,628,648,668,688,708,728,748,768
09	9,29,49,69,89,109,129,149,169,189,209,229,249,269,289,309,329,349,369,389,409,429,449,469,489,509,529,549,569,589,609,629,649,669,689,709,729,749,769
10	10,30,50,70,90,110,130,150,170,190,210,230,250,270,290,310,330,350,370,390,410,430,450,470,490,510,530,550,570,590,610,630,650,670,690,710,730,750,770
11	11,31,51,71,91,111,131,151,171,191,211,231,251,271,291,311,331,351,371,391,411,431,451,471,491,511,531,551,571,591,611,631,651,671,691,711,731,751,771

Продовження таблиці Б.1

1	2
12	12,32,52,72,92,112,132,152,172,192,212,232,252,272,292,312,332,352,372,392,412,432,452,472,492,512,532,552,572,592,612,632,652,672,692,712,732,752,772
13	13,33,53,73,93,113,133,153,173,193,213,233,253,273,293,313,333,353,373,393,413,433,453,473,493,513,533,553,573,593,613,633,653,673,693,713,733,753,773
14	14,34,54,74,94,114,134,154,174,194,214,234,254,274,294,314,334,354,374,394,414,434,454,474,494,514,534,554,574,594,614,634,654,674,694,714,734,754,774
15	15,35,55,75,95,115,135,155,175,195,215,235,255,275,295,315,335,355,375,395,415,435,455,475,495,515,535,555,575,595,615,635,655,675,695,715,735,755,775
16	16,36,56,76,96,116,136,156,176,196,216,236,256,276,296,316,336,356,376,396,416,436,456,476,496,516,536,556,576,596,616,636,656,676,696,716,736,756,776
17	17,37,57,77,97,117,137,157,177,197,217,237,257,277,297,317,337,357,377,397,417,437,457,477,497,517,537,557,577,597,617,637,657,677,697,717,737,757,777
18	18,38,58,78,98,118,138,158,178,198,218,238,258,278,298,318,338,358,378,398,418,438,458,478,498,518,538,558,578,598,618,638,658,678,698,718,738,758,778
19	19,39,59,79,99,119,139,159,179,199,219,239,259,279,299,319,339,359,379,399,419,439,459,479,499,519,539,559,579,599,619,639,659,679,699,719,739,759,779
20	20,40,60,80,100,120,140,160,180,200,220,240,260,280,300,320,340,360,380,400,420,440,460,480,500,520,540,560,580,600,620,640,660,680,700,720,740,760,780
21	2,23,44,65,86,107,128,149,170,182,203,224,245,266,287,304,325,346,367,388,409,430,451,462,483,504,525,546,567,588,609,630,651,672,693,704,725,746,767
22	3,24,45,66,87,108,129,150,171,183,204,225,246,267,288,305,326,347,368,389,410,431,452,463,484,505,526,547,568,589,610,631,652,673,694,705,726,747,768
23	4,24,46,67,88,109,130,151,172,184,205,226,247,268,289,306,327,348,369,390,411,432,453,464,485,506,527,548,569,590,611,632,653,674,695,706,727,748,769
24	5,26,47,68,89,110,131,152,173,185,206,227,248,269,290,307,328,349,370,391,412,433,454,465,486,507,528,549,570,591,612,633,654,675,696,707,728,749,770

Продовження таблиці Б.1

1	2
25	2,27,48,69,90,111,132,153,174,186,207,228,249,270,291,308,329, 350,371,392,413,434,455,466,487,508,529,550,571,592,613,634,6 55,676,697,708,729,750,771
26	7,28,49,70,91,112,133,154,175,187,208,229,250,271,292,309,330, 351,372,393,414,435,456,467,488,509,530,551,572,593,614,635,6 56,677,698,709,730,751,772
27	8,29,50,71,92,113,134,155,176,188,209,230,251,272,293,310,331, 352,373,394,415,436,457,468,489,510,531,552,573,594,615,636, 657,678,699,710,731,752,773
28	9,30,51,72,93,114,135,156,177,189,210,231,252,273,294,311,332, 353,374,395,416,437,458,469,490,511,532,553,574,595,616,637, 658,679,700,711,732,753,774
29	10,31,52,73,94,115,136,157,178,190,211,232,253,274,295,312, 333,354,375,369,417,438,459,470,491,512,533,554,575,596,617, 638,659,670,682,712,733,754,775
30	11,32,53,74,95,116,137,158,179,191,212,233,254,275,296,313, 334,355,376,397,418,439,460,471,492,513,534,555,576,597,618, 639,660,671,683,713,734,755,776
31	12,33,54,75,96,117,138,159,180,192,213,234,255,276,297,314, 335,356,377,398,419,440,442,472,493,514,535,556,577,598,619, 640,643,672,684,714,735,356,777
32	13,34,55,76,97,118,139,160,163,193,214,235,256,277,298,315, 336,357,378,399,420,423,444,475,494,515,536,557,578,599,620, 621,644,673,685,716,737,758,779
33	14,35,56,77,98,119,140,142,164,195,216,237,258,279,299,316, 337,358,378,400,401,424,445,476,495,516,537,558,579,600,602, 623,645,674,686,717,738,759,780
34	15,36,57,78,99,120,121,143,165,196,217,238,259,280,300,317, 338,359,380,382,402,425,446,477,496,517,538,559,580,583,604, 625,646,677,688,719,739,760,762
35	16,37,58,79,100,103,122,144,166,197,218,239,260,261,282,318, 339,360,362,383,404,426,447,478,497,518,539,560,562,584,605, 626,647,678,689,720,740,741,763
36	17,38,59,80,81,104,123,145,167,198,219,240,242,263,284,319, 340,342,363,384,405,427,448,479,498,519,540,542,563,585,606,6 27,648,679,690,702,723,742,764
37	18,39,60,61,82,105,124,146,168,199,220,222,243,264,285,320, 322,343,364,385,406,428,449,480,499,520,522,543,564,586,607,6 28,649,680,691,703,724,743,765

Продовження таблиці Б.1

1	2
38	19,40,41,62,83,106,125,147,169,200,202,223,244,265,286,302,323,344,365,386,407,429,450,462,500,503,523,544,565,587,608,629,650,661,692,704,725,744,766
39	20,21,42,63,84,107,126,148,170,182,203,224,245,266,287,303,324,345,366,387,408,430,451,463,483,504,525,546,567,588,609,630,651,662,693,705,726,745,767
40	1,22,43,64,85,108,127,149,171,183,204,225,246,267,288,304,325,346,367,388,409,431,452,464,485,506,527,548,569,590,610,631,652,663,694,706,727,746,768
41	2,23,44,65,86,109,128,150,172,184,205,226,247,268,289,305,326,347,368,389,410,432,453,465,486,507,528,549,570,591,611,632,653,664,695,707,728,747,769
42	3,24,45,66,87,110,129,151,173,185,206,227,248,269,290,306,327,348,369,390,411,433,454,466,487,508,529,550,571,592,612,633,654,665,696,708,729,748,770
43	4,25,46,67,88,111,130,152,174,186,207,228,249,270,291,307,328,349,370,391,412,434,455,467,488,509,530,551,572,593,613,634,655,666,697,709,730,749,771
44	5,26,47,68,89,112,131,153,175,187,208,229,250,271,292,308,329,350,372,393,414,436,457,468,489,510,531,552,573,594,614,635,656,667,698,710,731,750,772
45	6,27,48,69,90,113,132,154,176,188,209,230,251,272,293,309,330,351,372,394,415,437,458,469,490,511,532,553,574,595,615,636,657,668,699,711,732,751,773
46	7,28,49,70,91,114,133,155,177,189,210,231,252,273,294,310,331,352,373,395,416,438,459,470,491,512,533,554,575,596,616,637,658,669,700,712,733,752,774
47	8,29,50,71,92,115,134,152,178,190,211,232,253,274,295,311,332,353,374,396,417,439,460,471,492,513,534,555,576,597,617,638,659,670,681,713,734,753,775
48	9,30,51,72,93,116,135,157,179,191,212,233,254,275,296,312,333,354,375,397,418,440,442,472,493,514,535,556,577,598,618,639,660,671,682,714,735,754,776
49	10,31,52,73,94,117,136,158,180,192,213,234,255,276,297,313,334,355,376,398,419,422,443,474,495,516,537,558,579,600,619,640,643,672,683,715,736,755,777
50	11,32,53,74,95,118,137,159,162,193,214,235,256,277,298,314,335,356,377,398,420,423,444,475,496,517,538,559,580,584,620,623,644,673,684,716,737,756,778

Додаток В

Таблиця В.1 – Назви елементів

Сим-вол	№	Назви		Сим-вол	№	Назви	
		Рекомендовані	Традиційні			Рекомендовані	Традиційні
1	2	3	4	5	6	7	8
Ac	89	Актиній	Актиній	Eu	63	Європій	Європій
Ag	47	Аргентум, Срібло, Аргент	Срібло	Es	99	Айнштайн- ній, Ейнштейній	Ейнштей- ній
Al	13	Алюміній	Алюміній	F	9	Флуор, Фтор	Фтор
Am	95	Америцій	Америцій	Fe	28	Ферум, Залізо, Фер	Залізо
Ar	18	Аргон	Аргон	Fm	100	Фермій	Фермій
As	33	Арсен	Арсен	Fr	87	Францій	Францій
At	85	Астат	Астатин	Ga	31	Галій	Галій
Au	79	Аурум, Золото, Аур	Золото	Gd	64	Гадоліній	Гадоліній
B	5	Бор	Бор	Ge	32	Германій	Германій
Ba	56	Барій	Барій	H	1	Гідроген, Водень	Водень
Be	4	Берилій	Берилій	He	2	Гелій	Гелій
Bi	83	Бісмут	Бісмут	Hf	72	Гафній	Гафній
Bk	97	Берклій	Берклій	Hg	80	Меркурій, Гідраргірум	Ртуть, Живе срібло
Br	35	Бром	Бром	Ho	87	Гольмій	Гольмій
C	6	Карбон	Карбон	I	53	Іод (Йод),	Йод
Ca	20	Кальцій	Кальцій	In	49	Індій	Індій
Cd	48	Кадмій	Кадмій	Ir	77	Іридій	Іридій
Ce	58	Церій	Церій	K	19	Калій	Калій
Cf	98	Каліфор- ній	Каліфор- ній	Kr	36	Криптон	Криптон
Cl	17	Хлор	Хлор	La	57	Лантан	Лантан
Cm	96	Кюрій	Кюрій	Li	3	Літій	Літій
Co	27	Кобальт	Кобальт	Lr	103	Лоуренсій	Резерфор- дій
Cr	24	Хром	Хром	Lu	71	Лютецій	Лютецій
Cs	55	Цезій	Цезій	Md	101	Менделевій	Менделе- євій
Cu	29	Купрум, Мідь, Купр	Мідь	Mg	12	Магній	Магній
Dy	66	Диспрозій	Диспрозій	Mn	25	Манган	Марганець
Er	68	Ербій	Ербій	Mo	42	Молібден	Молібден

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5	6	7	8
N	7	Нітроген, Азот, Нітр	Азот	Se	34	Селен	Селен
Na	11	Натрій	Натрій	Si	14	Силіцій	Силіцій, Кремній
Nb	41	Ніобій	Ніобій	Sm	62	Самарій	Самарій
Nd	60	Неодим	Неодим	Sn	50	Станум, Стан	Олова, цина
Ne	10	Неон	Неон	Sr	38	Стронцій	Стронцій
Ni	28	Нікол, Нікель	Нікель	Ta	73	Тантал	Тантал
No	10 2	Нобелій	Нобелій, Жоліотій	Tb	65	Тербій	Тербій
Np	93	Нептуній	Нептуній	Tc	43	Технецій	Технецій
O	8	Оксиген, Кисень	Кисень	Te	52	Телур	Телур
Os	75	Осмій	Осмій	Th	90	Торій	Торій
P	15	Фосфор	Фосфор	Ti	22	Титан, Тітан	Титан
Pa	91	Протакти- ній	Протакти- ній	Tl	81	Талій	Талій
Pb	82	Плюмбум	Плюмбум	Tm	69	Тулій	Тулій
Pd	46	Паладій	Паладій	U	92	Уран	Уран
Pm	61	Прометій	Прометій	Unh	106	Унілгексій	---
Po	84	Полоній	Полоній	Uno	108	Унілоктій	---
Pr	59	Празео- дим	Празео- дим	Unp	105	Унілпентій	Нільсборій
Pu	94	Плутоній	Плутоній	Unq	104	Унілквадій	Курчатовій
Ra	88	Радій	Радій	Uns	107	Унілсептій	---
Rb	37	Рубідій	Рубідій	V	23	Ванадій	Ванадій
Re	75	Реній	Реній	W	74	Вольфрам	Вольфрам
Rh	45	Родій	Родій	Xe	54	Ксенон	Ксенон
Rn	86	Радон	Радон	Y	39	Ітрій	Ітрій
Ru	44	Рутеній	Рутеній	Yb	70	Ітербій	Ітербій
S	16	Сульфур, Сірка, Сулфур	Сірка	Zn	30	Цинк	Цинк
Sb	51	Стибій	Стибій, Сурма	Zr	40	Цирконій	Цирконій
Sc	21	Скандій	Антимо- ній, Скандій				

Таблиця Г.1 – Назви деяких кислот

Формула	Традиційна	Систематична	Раціональна
H_2SO_4	Сірчана	Дигідроген тетраоксосульфат (VI)	Сульфатна кислота
$HMnO_4$	Манганова	Гідроген тетраоксоманганат (VII)	Перманганатна кислота
HCl	Соляна	Гідроген хлорид (хлороводнева)	Хлоридна
$HClO_2$	Хлориста	Гідроген диоксохлорат (III)	Хлоритна кислота
$H[AuCl_4]$	Хлорозолота	Гідроген тетрахлороаурат (III)	Тетрахлороауратна кислота
HNO_3	Азотна	Гідроген триоксонітрат (V)	Нітратна кислота
H_2S	Сірководнева	Дигідроген сульфід	Сульфідна кислота
H_2SO_3	Сірчиста	Дигідроген триоксосульфат (IV)	Сульфітна кислота
$H_2S_2O_3$	Тіосірчана	Дигідроген триоксотіосульфат (VI)	Тіосульфатна кислота
H_2CO_3	Вуглецева	Дигідроген триоксокарбонат (IV)	Карбонатна кислота
H_2SeO_3	Селениста	Дигідроген триоксоселенат (IV)	Селенітна кислота

Таблиця Д.1 – Стандартизовані і тривіальні назви деяких неорганічних сполук

Хімічна формула	Назва	
	Стандартизована	тривіальна (випадкова), раціональна (*)
Хімічні реактиви загального призначення		
NaOH (твердий)	Натрій гідроксид (твердий)	Їдкий натр (твердий); каустична сода; каустик; твердий натрійний луг*
NaOH (у розчині)	Натрій гідроксид (у розчині)	Їдкий натр (у розчині); натрійний луг*
Na ₂ CO ₃	Динатрій карбонат; натрій триоксокарбонат (IV)	Кальцинована сода
NaHCO ₃	Натрій гідрокарбонат	Двовуглекисла сода; бікарбонат натрію; питна сода; чайна сода; гідрокарбонат натрію*
K ₂ CO ₃	Дикалій карбонат; калій триоксокарбонат (IV)	Поташ
Na ₂ S ₂ O ₃	Динатрій тіосульфат (VI); натрій триоксотіосульфат (VI)	Гіпосульфит; натрій тіосульфат*
Пігменти		
2PbCO ₃ · Pb(OH) ₂ або Pb ₃ (OH) ₂ (CO ₃) ₂	Бісплюмбум (II) карбонат · плюмбум дигідроксид; триплюмбум дигідроксид дикарбонат	Свинцеве білило

Похибки вимірювань

Похибки вимірювань, залежно від їх причин виникнення, поділяють на три типи: 1) систематичні похибки, пов'язані з недоліками обладнання або методики, яка використовується; 2) грубі похибки, зв'язані з неправильними обчисленнями, пошкодженням приладів та ін.; 3) випадкові похибки, які характеризуються невизначеністю величин і знаку.

Випадкові похибки підпорядковуються нормальному розподілу (закону Гаусса); вони обмежують точність визначення, їх можна зменшити, але зовсім усунути неможливо.

При обробці експериментальних даних обчислюють:

- середнє арифметичне $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$,

де n – число вимірювань, x_i – результат окремого вимірювання;

- відхилення окремих вимірювань від середнього: $d_i = x_i - \bar{x}$;
- середню квадратичну похибку

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n-1}},$$

де $n-1$ – число контрольних вимірювань K .

- середню квадратичну похибку середнього арифметичного:

$$S_{\bar{x}} = S / \sqrt{n}$$

- ймовірну випадкову похибку:

$$E = S_{\bar{x}} t_{\alpha},$$

де t_{α} - критерій Стьюдента або ймовірність того, що відхилення окремого вимірювання не перевищує деякої заданої величини; d_i повинно бути $\leq 2S$. Тоді з імовірністю $\alpha = 0,95$ потрапляє у межі $\bar{x} \pm 2S$. Коефіцієнт залежить від α , а також від числа контрольних вимірювань K ; t_{α} знаходять за таблицею 1.

- ймовірна випадкова похибка визначає надійний інтервал, на якому перебуває величина, яку слід визначити,

$$x = \bar{x} \pm E$$

Таблиця Ж.1 – Значення t_α при різних значеннях надійності α і числа визначень n

K = n - 1	α					
	0,5	0,7	0,9	0,95	0,99	0,999
1	1,00	1,96	6,31	12,71	63,66	636,62
2	0,82	1,34	2,92	4,30	9,92	31,60
3	0,76	1,25	2,35	3,18	5,84	12,94
4	0,74	1,19	2,13	2,78	4,60	8,61
5	0,73	1,16	2,01	2,57	4,03	6,86
6	0,72	1,13	1,94	2,45	3,71	5,60
7	0,71	1,12	1,89	2,36	3,50	5,40
8	0,71	1,11	1,86	2,31	3,35	5,04
9	0,70	1,10	1,83	2,26	3,25	4,78
10	0,69	1,09	1,81	2,23	3,17	4,59

Таблиця 3.1 – Константи дисоціації деяких слабких електролітів у водних розчинах за 25 °С

Електроліт		K	pK = -lgK
Амоній гідроксид $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$		$1,8 \cdot 10^{-5}$	4,75
Боратна кислота H_3BO_3	K ₁	$5,8 \cdot 10^{-10}$	9,24
	K ₂	$1,8 \cdot 10^{-13}$	12,75
	K ₃	$1,6 \cdot 10^{-14}$	13,80
Гіпохлоритна кислота HClO		$5,0 \cdot 10^{-8}$	7,30
Карбонатна кислота H_2CO_3	K ₁	$4,5 \cdot 10^{-7}$	6,35
	K ₂	$4,7 \cdot 10^{-11}$	10,33
Нітритна кислота HNO_2		$4,0 \cdot 10^{-4}$	3,40
Ацетатна кислота CH_3COOH		$1,8 \cdot 10^{-5}$	4,75
Сульфатна кислота H_2SO_4	K ₂	$1,2 \cdot 10^{-2}$	1,92
Сульфітна кислота H_2SO_3	K ₁	$1,6 \cdot 10^{-2}$	1,80
	K ₂	$6,3 \cdot 10^{-8}$	7,21
Сульфідна кислота H_2S	K ₁	$6,0 \cdot 10^{-8}$	7,22
	K ₂	$1,2 \cdot 10^{-15}$	14,92
Форміатна кислота HCOOH		$1,8 \cdot 10^{-4}$	3,75
Фосфатна кислота H_3PO_4	K ₁	$7,5 \cdot 10^{-3}$	2,12
	K ₂	$6,3 \cdot 10^{-8}$	7,20
	K ₃	$1,3 \cdot 10^{-12}$	11,89
Фторидна кислота HF		$6,6 \cdot 10^{-4}$	3,18
Ціанідна кислота HCN		$7,9 \cdot 10^{-10}$	9,24

Додаток І

Таблиця І.1 – Стандартні потенціали металічних і газових електродів (Т = 298 К)

Електрод	Електродний процес	E°, В
1	2	3
Li ⁺ / Li	Li ⁺ + e = Li	- 3,045
K ⁺ / K	K ⁺ + e = K	- 2,925
Ba ²⁺ / Ba	Ba ²⁺ + 2e = Ba	- 2,906
Ca ²⁺ / Ca	Ca ²⁺ + 2e = Ca	- 2,866
Mg ²⁺ / Mg	Mg ²⁺ + 2e = Mg	- 2,363
Al ³⁺ / Al	Al ³⁺ + 3e = Al	- 1,662
Mn ²⁺ / Mn	Mn ²⁺ + 2e = Mn	- 1,180
Cr ²⁺ / Cr	Cr ²⁺ + 2e = Cr	- 0,913
Zn ²⁺ / Zn	Zn ²⁺ + 2e = Zn	- 0,763
Cr ³⁺ / Cr	Cr ³⁺ + 3e = Cr	- 0,744
Fe ²⁺ / Fe	Fe ²⁺ + 2e = Fe	- 0,440
Sn ²⁺ / Sn	Sn ²⁺ + 2e = Sn	- 0,136
Pb ²⁺ / Pb	Pb ²⁺ + 2e = Pb	- 0,126
Fe ³⁺ / Fe	Fe ³⁺ + 3e = Fe	- 0,036
H ⁺ / H ₂	H ⁺ + e = ½ H ₂	0,000
Cu ²⁺ / Cu	Cu ²⁺ + 2e = Cu	+ 0,337
Ag ⁺ / Ag	Ag ⁺ + e = Ag	+ 0,799
Hg ²⁺ / Hg	Hg ²⁺ + 2e = Hg	+ 0,854
I ₂ / I ⁻	½ I ₂ + e = I ⁻	+0,5355
Br ₂ / Br ⁻	½ Br ₂ + e = Br ⁻	+ 1,065
Cl ₂ / Cl ⁻	½ Cl ₂ + e = Cl ⁻	+ 1,359
Стандартні окисно-відновні потенціали (Т = 298К)		
Cr ³⁺ / Cr ²⁺	Cr ³⁺ + e = Cr ²⁺	- 0,408
CO ₂ / H ₂ C ₂ O ₄	2CO ₂ + 2H ⁺ + 2e = H ₂ C ₂ O ₄	- 0,490
Sn ⁴⁺ / Sn ²⁺	Sn ⁴⁺ + 2e = Sn ²⁺	+ 0,150
SO ₄ ²⁻ / H ₂ S	SO ₄ ²⁻ + 10H ⁺ + 8e = H ₂ S _{aq} + 4H ₂ O	+ 0,303
[Fe(CN) ₆] ³⁻ / [Fe(CN) ₆] ⁴⁻	[Fe(CN) ₆] ³⁻ + e = [Fe(CN) ₆] ⁴⁻	+ 0,360
H ₃ AsO ₄ / HAsO ₂	H ₃ AsO ₄ + 2H ⁺ + 2e = HAsO ₂ + 2H ₂ O	+ 0,559
Fe ³⁺ / Fe ²⁺	Fe ³⁺ + e = Fe ²⁺	+ 0,771
NO ₃ ⁻ / NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻ + 2H ⁺ + 2e = NO ₂ ⁻ + H ₂ O	+ 0,940
TiO ₂ ²⁻ / Ti ³⁺	TiO ₂ ²⁻ + 2H ⁺ + e = Ti ³⁺ + H ₂ O	+ 0,100
Cr ₂ O ₇ ²⁻ / Cr ³⁺	Cr ₂ O ₇ ²⁻ + 14H ⁺ + 6e = 2Cr ³⁺ + 7H ₂ O	+ 1,330
S / H ₂ S	S + 2H ⁺ + 2e = H ₂ S	+ 0,141
Ce ⁴⁺ / Ce ³⁺	Ce ⁴⁺ + e = Ce ³⁺	+ 1,450
PbO ₂ / Pb ²⁺	PbO ₂ + 4H ⁺ + 2e = Pb ²⁺ + 2H ₂ O	+ 1,455
MnO ₄ ⁻ / Mn ²⁺	MnO ₄ ⁻ + 8H ⁺ + 5e = Mn ²⁺ + 4H ₂ O	+ 1,510
PbO ₂ / PbSO ₄	PbO ₂ + 4H ⁺ + SO ₄ ²⁻ + 2e = PbSO ₄ + H ₂ O	+ 1,640
H ₂ O ₂ / H ₂ O	H ₂ O ₂ + 2H ⁺ + 2e = 2H ₂ O	+ 1,770
S ₂ O ₈ ²⁻ / SO ₄ ²⁻	S ₂ O ₈ ²⁻ + 2e = 2SO ₄ ²⁻	+ 2,010

Додаток К

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

Формула речовини	Розчинність		Добуток розчинності
	у г/л	у моль / л	
$\text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6$	3,2	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-4}$
$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$10,4 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$5,5 \cdot 10^{-12}$
MgNH_4PO_4	$8,6 \cdot 10^{-3}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$	$2,5 \cdot 10^{-13}$
MgC_2O_4	1,03	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-5}$
BaCO_3	$1,76 \cdot 10^{-2}$	$8,9 \cdot 10^{-5}$	$8,0 \cdot 10^{-9}$
BaC_2O_4	$7,47 \cdot 10^{-2}$	$3,32 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$
BaCrO_4	$3,93 \cdot 10^{-3}$	$1,55 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^{-10}$
BaSO_4	$2,42 \cdot 10^{-3}$	$1,04 \cdot 10^{-5}$	$1,08 \cdot 10^{-10}$
CaCO_3	$6,9 \cdot 10^{-3}$	$6,9 \cdot 10^{-5}$	$4,8 \cdot 10^{-9}$
CaC_2O_4	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$5,07 \cdot 10^{-5}$	$2,57 \cdot 10^{-9}$
$\text{Ca}(\text{IO}_3)_2$	3,04	$0,78 \cdot 10^{-2}$	$1,93 \cdot 10^{-6}$
SrCrO_4	1,22	$6,0 \cdot 10^{-3}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$
SrSO_3	$3,36 \cdot 10^{-2}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	$4,0 \cdot 10^{-8}$
$\text{Fe}(\text{OH})_2$	$4,4 \cdot 10^{-4}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$4,8 \cdot 10^{-16}$
$\text{Fe}(\text{OH})_3$	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$1,9 \cdot 10^{-10}$	$3,8 \cdot 10^{-38}$
FeS	$5,3 \cdot 10^{-8}$	$6,0 \cdot 10^{-10}$	$3,7 \cdot 10^{-19}$
$\text{Mn}(\text{OH})_2$	$1,9 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-5}$	$4,0 \cdot 10^{-14}$
MnS	$3,2 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-8}$	$1,4 \cdot 10^{-15}$
ZnS	$3,3 \cdot 10^{-10}$	$3,5 \cdot 10^{-12}$	$1,2 \cdot 10^{-23}$
AgCl	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$1,25 \cdot 10^{-5}$	$1,56 \cdot 10^{-10}$
AgBr	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$8,8 \cdot 10^{-7}$	$7,7 \cdot 10^{-13}$
AgI	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-8}$	$1,5 \cdot 10^{-16}$
PbCl_2	4,45	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$
PbI_2	$6,0 \cdot 10^{-1}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$8,7 \cdot 10^{-9}$
PbSO_4	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-8}$
PbS	$7,9 \cdot 10^{-18}$	$3,3 \cdot 10^{-15}$	$1,1 \cdot 10^{-29}$
HgS	$1,5 \cdot 10^{-24}$	$6,3 \cdot 10^{-27}$	$4,0 \cdot 10^{-53}$
CdS	$8,64 \cdot 10^{-13}$	$6,0 \cdot 10^{-15}$	$3,6 \cdot 10^{-29}$

Додаток Л

Таблиця Л.1 – Константи нестійкості деяких комплексів

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

Рекомендована література

- 1 Абкин Г.Л. Задачи и упражнения по общей химии. – М.: Высш. шк., 1971.
- 2 Алексеев В. Н. Количественный анализ. – М.: Химия, 1972.
- 3 Алексеев В. Н. Курс качественного химического полумикроанализа. – М.: Химия, 1978.
- 4 Ахметов Н. С. Неорганическая химия. – М.: Высш. шк., 1986.
- 5 Глинка Н. Л. Общая химия. – Л.: Химия, 1988.
- 6 Голуб А.М. Загальна та неорганічна хімія. – Київ: Вищ. шк., 1975.
- 7 Голуб О.А. Українська номенклатура в неорганічній хімії. – К.: КУ, 1992.
- 8 Григор'єва В. В., Самойленко В. М., Сич А. М. Загальна хімія. – Київ: Вищ. шк., 1991.
- 9 Карапетьянц М. Х., Дракин С. И. Общая и неорганическая химия. –М.: Высш. шк., 1985.
- 10 Крешков А. П. Основы аналитической химии, т.І, т.ІІ, т.ІІІ. – М.: Химия, 1976, 1977.
- 11 Курс общей химии. /Под ред Н. В. Коровина. – М.: Высш. шк., 1987.
- 12 Лурье Ю. Ю. Справочник по аналитической химии. –М.: Химия, 1979.
- 13 Лучинский Г. П. Курс химии. – М.: Высш. шк., 1988.
- 14 Павлов Н. Н. Теоретические основы общей химии. – М.: Высш. шк., 1986.
- 15 Пономарев В. Д. Аналитическая химия, т.І, т.ІІ. – М.: Высш. шк., 1982.
- 16 Пятницкий И. В. Теоретические основы аналитической химии. – Киев: Вищ. шк., 1978.
- 17 Романова Н.В. Загальна та неорганічна хімія. – Київ: Вищ. шк., 1988.
- 18 Романова Н. В. Основы хімічного аналізу. – Київ: Освіта, 1992.
- 19 Харин А. Н., Катаева Н. А., Харина Л. Т. Курс химии. – М.: Высш. шк., 1985.
- 20 Фролов В. В. Химия. – М.: Высш. шк., 1986.

Зміст

Вступ.....	3
Розділ 1 Основи загальної та неорганічної хімії	
Лабораторна робота № 1 Основні типи хімічних реакцій. Сучасна номенклатура неорганічних сполук і їх взаємні перетворення.....	4
Лабораторна робота № 2 Основні хімічні поняття і закони. Еквівалент металів.....	19
Лабораторна робота № 3 Розчини. Теорія електролітичної дисоціації. Кисотно-основна рівновага.....	24
Лабораторна робота № 4 Окисно-відновні реакції. Хімія р-елементів VII-VI А підгруп.....	60
Лабораторна робота № 5 Хімія р-елементів V-III А підгруп.....	69
Лабораторна робота № 6 Хімія d-елементів.....	76
Розділ 2. Основи якісного аналізу	
Лабораторна робота № 7 Якісні реакції на катіони I аналітичної групи.....	82
Лабораторна робота № 8 Якісні реакції на катіони II-III аналітичних груп.....	86
Лабораторна робота № 9 Якісні реакції на катіони IV аналітичної групи.....	96
Лабораторна робота № 10 Якісні реакції на катіони V аналітичної групи.....	101
Лабораторна робота № 11 Якісні реакції на катіони VI аналітичної групи.....	106
Лабораторна робота № 12 Аналіз аніонів. Класифікація аніонів.....	115
Лабораторна робота № 13 Систематичний аналіз речовини.....	123
Розділ 3. Основи кількісного аналізу	
Лабораторна робота № 14 Гравіметричні (вагові) методи кількісного аналізу.....	127
Лабораторна робота № 15 Метод нейтралізації (кисотно-основного титрування).....	138
Лабораторна робота № 16 Методи окиснення-відновлення. Перманганатометрія.....	148
Лабораторна робота № 17 Методи комплексоутворення.....	150
Додатки.....	168
Рекомендована література.....	183