

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧЕРКАСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ БОГДАНА ХМЕЛЬНИЦЬКОГО**

**Навчально-науковий інститут природничих та аграрних наук
Кафедра хімії та наноматеріалознавства**

Ю. А. Шафорост, В. О. Мінаєва

**РОБОЧИЙ ЗОШИТ З АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ.
ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ**

Навчально-методичний посібник

Черкаси – 2025

УДК 543 (073)

Рецензенти:

Кандидат хімічних наук, зав. кафедри екології Черкаського державного технологічного університету, доцент *О. М. Хоменко*;

кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії та наноматеріалознавства Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького *О. А. Жабковська*.

Робочий зошит з аналітичної хімії. Якісний аналіз : навч.-метод. посібник / укладачі : Ю. А. Шафорост, В. О. Мінаєва. – Черкаси, 2025. – 150 с.

ISBN 978-617-8324-63-6

Навчально-методичний посібник включає теми та плани лабораторних занять, схеми аналізу катіонів та аніонів, завдання для самостійної роботи студентів до кожного заняття та методичні вказівки до їх виконання. Метою даного видання є активізація самостійної роботи студентів.

Навчально-методичний посібник буде корисним для студентів хімічних спеціальностей вищих навчальних закладів, а також його можуть використовувати студенти інших спеціальностей та вчителі шкіл з поглибленим вивченням хімії.

УДК 543 (073)

Рекомендовано до друку Вченою радою Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького (протокол № 4 від 23 жовтня 2025 р.)

ISBN 978-617-8324-63-6

© ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2025
© Ю.А. Шафорост
© В.О. Мінаєва
© Видавець Цибульська

ЗМІСТ

Програма курсу „Аналітична хімія”.....	4
Перелік модульних контрольних робіт	10
Перелік характерних аналітичних реакцій, які вивчаються в курсі аналітичної хімії.....	10
Лабораторне заняття №1: „Предмет, завдання та методи якісного аналізу”, „Закон дії мас як теоретична основа якісного аналізу”, „Перша та друга аналітичні групи катіонів”.....	14
Лабораторне заняття №2: „Третя аналітична група катіонів”. „Аналіз суміші катіонів I–III аналітичних груп” (експериментальна контрольна робота).....	24
Питання з допуску до виконання експериментальної контрольної роботи №1 „Аналіз суміші катіонів I–III аналітичних груп”.....	31
Лабораторне заняття №3: „Рівновага в гетерогенній системі осад–насичений розчин”.....	39
Лабораторне заняття №4: „Гідроліз солей. Амфотерність гідроксидів”, „Окисно-відновні процеси в якісному аналізі”, „Четверта та п’ята аналітичні групи катіонів”.....	42
Лабораторне заняття №5: „Утворення та руйнування комплексних сполук”. „Застосування органічних реагентів у якісному аналізі”. „Шоста аналітична група катіонів”. „Аналіз суміші катіонів IV–VI аналітичних груп”.....	55
Питання з допуску до виконання експериментальної контрольної роботи №2 „Аналіз суміші катіонів IV–VI аналітичних груп”.....	63
Лабораторне заняття №6: „Характерні реакції аніонів першої, другої та третьої аналітичних груп”. „Аналіз суміші аніонів”.....	73
Лабораторне заняття №7: „Якісний аналіз суміші солей”. „Загальні теоретичні основи аналітичної хімії”.....	96
Додаток 1. Зразок оформлення експериментальної контрольної роботи «Аналіз суміші катіонів I–III аналітичних груп (K^+ , NH_4^+ , Ag^+ , Pb^{2+} , Ca^{2+} , Ba^{2+})».....	99
Додаток 2. Зразок оформлення експериментальної контрольної роботи «Аналіз суміші катіонів IV–VI аналітичних груп.....	106
Додаток 3. Константи іонізації найважливіших кислот і основ.....	114
Додаток 4. Добутки розчинності (ДР) деяких малорозчинних у воді сполук (за температури 25 °С).....	115
Додаток 5. Стандартні електродні потенціали деяких систем у водних розчинах.....	119
Додаток 6. Значення загальних констант нестійкості комплексних іонів (20–25 °С).....	123
Додаток 7. Молярні маси речовин та молярні маси речовин еквівалента.....	124
Додаток 8. Наближені значення коефіцієнтів активності при різній іонній силі розчину.....	127
Додаток 9. Словник термінів.....	128
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	148

ПРОГРАМА

курсу „Аналітична хімія”

Пояснювальна записка

Розвиток аналітичної хімії сприяв створенню різноманітних методів аналізу та варіантів їх комбінування. Можливість використання цих методів аналізу базується на вивченні їх фізико-хімічної сутності, загальних хімічних і фізичних закономірностей. Таким чином, для розуміння всіх розділів аналітичної хімії необхідні фундаментальні теоретичні знання з дисципліни. Мета курсу „Аналітична хімія” – ознайомити студентів з теоретичними основами сучасної аналітичної хімії, особливостями хімічних реакцій, методами визначення і розділення речовин, показати їх можливості й обмеження.

При вивченні аналітичної хімії необхідно сформулювати у студентів чіткі уявлення про предмет і особливості цієї науки як області наукового пізнання, зв'язки з іншими науками і практичну значимість. Крім цього, необхідно підкреслити провідну роль вимірювань в аналітичній хімії.

Головним завданням студентів при вивченні аналітичної хімії є набуття не тільки навичок лабораторного експерименту, але й умінь робити теоретичні висновки на основі проведених досліджень.

Програмою передбачено самостійне опрацювання значної частини навчального матеріалу, ознайомлення студентів із літературою з аналітичної хімії й обов'язкове виконання студентами курсової роботи.

1. Вступ

Аналітична хімія як наука, функції аналітичної хімії. Класифікації аналітичної хімії: 1) за функціями; 2) за видами аналізу (якісний і кількісний аналіз; ізотопний, елементний, структурний, функціональний, молекулярний, фазовий аналіз; локальний і валовий аналіз; деструктивний і недеструктивний аналіз; контактний і дистанційний аналіз; макро-, напівмікро-, мікро-, ультрамікроаналіз; маркувальний, швидкісний, арбітражний аналіз; 3) за об'єктом аналізу.

Загальна характеристика методів аналізу, їх класифікація: методи ідентифікації, розділення, визначення, гібридні методи; хімічні, фізико-хімічні, фізичні і біологічні методи аналізу.

Історія розвитку аналітичної хімії. Сучасний стан аналітичної хімії, основні аналітичні проблеми (зниження границі виявлення; підвищення точності, забезпечення експресності, аналіз мікрооб'єктів, аналіз без руйнування, локальний і дистанційний аналіз), тенденції розвитку аналітичної хімії. Засоби, які використовуються аналітичною хімією для вирішення цих проблем (математизація, автоматизація, інструменталізація, збільшення частки фізичних методів, перехід до багатокомпонентного аналізу).

Методологічні аспекти аналітичної хімії: індивідуальність аналітичної хімії, її місце в системі наук.

Об'єкти аналізу. Значення аналітичної хімії в розвитку природознавства, техніки і народного господарства. Служба аналітичного контролю. Державні стандарти, галузеві стандарти, технічні умови, тимчасові технічні умови.

2. Основні принципи якісного аналізу

Класифікація методів якісного аналізу: за агрегатним станом досліджуваного об'єкта (методи сухої хімії (пірохімічний, забарвлення полум'я, одержання перлів, розклад) і метод мокрої хімії); за технікою виконання аналізу (пробірковий та безпробірковий, краплинний, мікрокристалоскопічний, безстружковий).

Аналітичні реакції, їх класифікація: а) за характером хімічної взаємодії; б) за застосуванням. Аналітичні реагенти, ступені їх чистоти. Селективні і специфічні аналітичні реакції та реагенти.

Оптимальні умови виконання аналітичних реакцій. Чутливість аналітичних реакцій та способи її вираження (відкритий мінімум, гранична концентрація або граничне розведення, мінімальний об'єм гранично розведеного розчину). Взаємозв'язок показників чутливості, методика обчислення показників чутливості реакції. Способи підвищення чутливості аналітичної реакції: збільшення концентрації реактиву, збільшення концентрації речовини, яку аналізують, випаровування розчину, екстракція, співосадження з колектором, зменшення розчинності осаду шляхом додавання органічних речовин, зменшення дисоціації комплексної сполуки.

Систематичний і дробний хід аналізу. Маскування. Системи якісного аналізу катіонів, які базуються на осажденні: сульфідна, кислотно-лужна, амоніачно-фосфатна. Аналітичні групи катіонів кислотно-лужної системи та періодична система Д.І. Менделєєва. Загальна характеристика аналітичної групи катіонів (валентність, ступінь окиснення, заряд іонів; електронна конфігурація іонів; поляризуюча дія іонів; тип хімічного зв'язку в сполуках; хімічний характер гідроксидів; розчинність солей; використання здатності іонів утворювати нерозчинні і забарвлені сполуки в якісному аналізі; гідроліз солей; окисно-відновні властивості іонів та їх використання в якісному аналізі; здатність до комплексоутворення і її використання в якісному аналізі, груповий реагент).

Періодичний закон Д. І. Менделєєва – основа для вивчення хіміко-аналітичних властивостей іонів та їх сполук.

Якісний аналіз аніонів. Особливості якісного аналізу аніонів у порівнянні з якісним аналізом катіонів. Класифікація аніонів за розчинністю солей Барію й Аргентуму та за окисно-відновними властивостями. Окремі реакції аніонів. Аналіз суміші аніонів. Попередні дослідження при аналізі суміші аніонів. Проби на аніони-окисники та аніони-відновники.

3. Теоретичні основи аналітичної хімії

3.1. Закон дії мас

Закон дії мас – теоретична основа аналітичної хімії. Застосування закону дії мас до оборотних реакцій. Константа рівноваги.

3.2. Теорії кислот і основ

Теорія електролітичної дисоціації Арреніуса, її обмеження і недоліки. Кислоти та основи з позиції теорії Арреніуса. Теорія кислот і основ Льюїса. Протолітична теорія кислот і основ Бренстеда-Лоурі. Основні положення теорії Бренстеда-Лоурі. Класифікації розчинників: за їх здатністю взаємодіяти з протонами; за їх здатністю диференціювати і нівелювати силу кислот і основ. Автопротоліз амфіпротонних розчинників. Константа автопротолізу. Шкала кислотності та рН нейтрального середовища для різних розчинників. Кислоти і основи в амфіпротонних розчинниках. Рівновага в системі кислота–спряжена основа і розчинник. Константа кислотності та константа основності в розчиннику H_2SO_4 . Вплив природи розчинника на силу кислоти та основи. Переваги протолітичної теорії у порівнянні з класичною теорією Арреніуса.

3.3. Стан сильних електролітів у розчинах

Основні положення теорії сильних електролітів. Дійсний і позірний ступінь дисоціації. Кількісний опис процесів у розчинах сильних електролітів. Активність і коефіцієнт активності іонів. Іонна сила розчинів. Закон іонної сили. Зв'язок між іонною силою розчину і коефіцієнтом активності.

3.4. Використання закону дії мас при дослідженні слабких електролітів

Застосування закону дії мас до процесу іонізації слабких кислот і основ. Термодинамічна і концентраційна константа іонізації. Взаємозв'язок між ступенем та константою іонізації. Закон розведення В. Оствальда. Іонний добуток води та рН

розчинів. Зміщення іонних рівноваг. Дія одноіменного іону. Розрахунки з використанням закону дії мас.

Рівновага в багатокомпонентних системах. Буферні розчини та їх властивості. Типи буферних систем. Сутність буферної дії. Розрахунки рН буферних розчинів. Значення буферних розчинів у аналізі.

3.5. Рівновага в гетерогенній системі осад–насичений розчин

Застосування закону дії мас до рівноваги в гетерогенній системі осад–насичений розчин. Добуток розчинності. Визначення добутку розчинності речовини за даними розчинності і навпаки. Умови утворення та розчинення осаду.

Вплив сторонніх іонів на розчинність малорозчинних електролітів. Сольовий ефект. Осадження. Фактори, які впливають на повноту осадження: розчинність речовини, яку осаджують, кількість осаджувача, іонна сила та рН розчину, комплексоутворення. Дробне осадження.

Розчинність осадів. Різні випадки розчинення осадів. Перетворення одних малорозчинних речовин в інші.

3.6. Гідроліз солей. Амфотерність гідроксидів

Гідроліз солей. Сутність гідролізу. Застосування закону дії мас до оборотного процесу гідролізу, константа гідролізу. Ступінь гідролізу. Виведення робочих формул для обчислення константи, ступеня гідролізу та рН у розчинах солей, які гідролізують. Гідроліз солей, утворених багатокислотними основами і багатоосновними кислотами. Практичні прийоми посилення та послаблення гідролізу.

Амфотерність гідроксидів. Рівноваги в розчині амфотерного гідроксиду та їх зміщення. Використання амфотерності в якісному аналізі.

3.7. Окисно-відновні процеси в аналітичній хімії

Окисно-відновний потенціал (електродний потенціал). Рівняння Нернста. Вплив концентрації окисненої і відновленої форм, концентрації водневих іонів, температури, комплексоутворення, іонної сили на величину окисно-відновного потенціалу. Стандартний окисно-відновний потенціал. Таблиця стандартних окисно-відновних потенціалів і її практичне значення. Обчислення окисно-відновних потенціалів.

Окисно-відновні реакції (визначення), ступінь окиснення. Складання рівнянь реакцій окиснення-відновлення іонно-електронним методом. Використання реакцій окиснення-відновлення в якісному аналізі (для виявлення катіонів і аніонів, для відокремлення іонів, для розчинення речовин).

Найважливіші окисники і відновники, які використовують в аналізі. Підбір найбільш ефективних окисників (відновників) для конкретних випадків аналізу. Кількісні характеристики реакцій окиснення-відновлення (швидкість, константа рівноваги). Константа рівноваги редокс-реакцій, зв'язок її зі стандартними потенціалами окисно-відновних пар. Обчислення констант рівноваги окисно-відновних реакцій. Напрямок реакцій окиснення-відновлення. Фактори, які впливають на напрям окисно-відновних реакцій.

3.8. Утворення та руйнування комплексних сполук

Дисоціація комплексних сполук. Застосування закону дії мас до оборотних процесів дисоціації комплексних іонів. Ступінчасті та загальні константи нестійкості комплексних сполук. Розрахунки концентрації іонів комплексоутворювача і лігандів за константою нестійкості.

Зміщення рівноваги в розчинах комплексних сполук. Типи комплексних сполук, які використовуються в аналітичній хімії. Властивості комплексних сполук, які мають аналітичне значення: стійкість, розчинність, забарвлення. Використання

комплексоутворення для відкриття, розділення, маскуваня іонів, розчинення малорозчинних сполук, зміни окисно-відновного потенціалу системи.

Органічні реагенти в аналітичній хімії, їх переваги перед неорганічними (висока чутливість; вибірковість дії; утворення стійких комплексних сполук; інтенсивне забарвлення; здатність розчинятися в органічних розчинниках). Основні напрями використання органічних реагентів у хімічному аналізі (для відкриття, кількісного визначення, маскуваня іонів). Основні типи сполук, які утворюються за участю органічних реагентів. Хелати, внутрішньокмлексні сполуки.

Фактори, які обумовлюють стійкість хелатів: природа донорних атомів, дентатність ліганда, розмір цикла, число циклів, характер зв'язку метал–ліганд.

Основні органічні реагенти, які застосовують в аналізі: α -нітросо- β -нафтол (реактив Ільїнського М.А.), диметилглюксим (реактив Чугасва Д.О.), 8-оксихінолін, дитизон. Комплексокси. Основні напрями використання динатрій етилендіамінтетраацетату в якісному аналізі.

4. Етапи аналітичного дослідження

Основні етапи аналітичного дослідження: відбір показової (представницької) проби досліджуваного об'єкту та підготовка проби до аналізу; попередні дослідження; вибір необхідних методів якісного і кількісного аналізу; обробка проби з урахуванням перетворення її в необхідну для визначення форму; якісний аналіз; кількісний аналіз.

Проба, представлення проби. Відбір проб твердих, рідких та газоподібних речовин і одержання середньої проби. Первинна проба, лабораторна проба, аналітична проба.

Основні способи переведення проби у форму, необхідну для аналізу: розчинення в різних середовищах; спікання; сплавлення. Лужні, лужні окисні, кислі розплави. Підбір матеріалу тигля для різноманітних випадків сплавлення.

Якісний аналіз суміші сухих солей, мінеральних добрив, сплавів.

5. Вступ до кількісного аналізу

Предмет кількісного аналізу. Розвиток та вдосконалення методів кількісного аналізу. Класифікація методів кількісного аналізу: хімічні, фізико-хімічні, фізичні.

Аналітичні терези, їх будова. Чутливість терезів і її математичний запис. Фактори, які впливають на відтворюваність і правильність зважування. Техніка зважування. Способи зважування для усунення нерівноплечості терезів (спосіб подвійного зважування, спосіб Д.І. Менделєєва, спосіб заміщення).

6. Метрологічні основи хімічного аналізу

Класифікації похибок аналізу: абсолютна та відносна похибка; систематичні, випадкові похибки, промахи.

Основні характеристики методу аналізу: правильність і відтворюваність аналізу, коефіцієнт чутливості, межа виявлення.

Статистична обробка результатів вимірювань (аналізу). Випадкова величина. Закон нормального розподілу випадкових похибок. Середнє значення, стандартне відхилення, дисперсія. Довірчий інтервал, довірча ймовірність, інтервальне значення вимірювальної величини. Критерії оцінки промахів ($3s$ -критерій, Q -критерій). Оцінка правильності аналізу. Стандартні зразки, їх виготовлення, атестація і використання.

Використання методу найменших квадратів для побудови градуовального графіка.

7. Хімічні методи кількісного аналізу

7.1. Гравіметричні методи аналізу

Суть гравіметричного аналізу, області застосування. Класифікація методів гравіметричного аналізу (методи відгонки (прямі й непрямі); осадження; виділення).

Гравіметричний метод аналізу, заснований на осадженні. Загальна схема аналізу. Поняття про наважку речовини та її розрахунок. Вимоги до осаджувача (специфічність, леткість, здатність утворювати осад із найменшим значенням добутку розчинності). Найважливіші неорганічні й органічні осаджувачі. Кількість осаджувача. Осаджувана та гравіметрична форми; вимоги до них. Дозрівання осаду. Промивання осаду; підбір промивної рідини. Зміна складу осаду при висушуванні і прожарюванні. Побічні явища при прожарюванні осаду (термічна дисоціація осаду, відновлення осаду, леткість осаду).

Похибки у гравіметричному аналізі. Співосадження: адсорбція, окклюзія, ізоморфне співосадження. Способи усунення співосадження.

Розрахунки у гравіметричному аналізі.

Приклади практичного застосування гравіметричного методу аналізу. Визначення вмісту кристалізаційної води у кристалогідратах методом відгонки. Визначення вмісту Сульфуру методом осадження. Визначення Феруму, Кальцію, Магнію. Застосування органічного реагенту 8-оксихіноліну для визначення Магнію і Алюмінію та диметилглюксиму для визначення Нікелю.

7.2. Титриметричні методи аналізу

7.2.1. Загальна характеристика титриметричного аналізу

Суть титриметричного аналізу. Титрування, титрант. Точка еквівалентності і кінцева точка титрування. Основні операції титриметричного аналізу (приготування розчинів, титрування, обчислення). Вимоги до реакцій у титриметричному аналізі (велика швидкість, необоротність, стехіометричність, наявність способу виявлення точки еквівалентності).

Класифікації методів титриметричного аналізу: за характером реакції, яка лежить в основі визначення (кислотно-основне титрування або протолітометрія, окисно-відновне титрування або оксредметрія, осаджувальне титрування, комплексометричне титрування); за способом титрування (пряме титрування, титрування залишку, титрування замісника); за способом виконання операцій (метод піпеткування, метод окремих наважок).

Кількісний склад розчинів у титриметричному аналізі (молярна концентрація речовини еквівалента, титр робочого розчину, титр робочого розчину за аналізованою речовиною). Залежність величини еквівалента і фактора еквівалентності від характеру реакції.

Стандартні розчини. Поділ стандартних розчинів за способом приготування: первинні стандартні розчини (розчини з приготовленим титром), вторинні стандартні розчини (стандартизовані, розчини зі встановленим титром). Первинні стандартні речовини та вимоги до них. Поділ розчинів за призначенням (установчі, робочі). Поняття про стандарт-титри (фіксанали). Обчислення в титриметричному аналізі. Порівняння титриметричного і гравіметричного методів аналізу. Вимірювальний аналітичний посуд, перевірка ємності мірного посуду.

7.2.2. Кислотно-основне титрування

Сутність кислотно-основного титрування. Основна реакція методу. Види кислотно-основного титрування (ацидиметрія, алкаліметрія). Робочі розчини в кислотно-основному титруванні; стандартні речовини.

Криві титрування. Розрахунки та побудова теоретичних кривих кислотно-основного титрування (титрування сильної кислоти сильною основою або навпаки; титрування слабкої кислоти сильною основою або навпаки; титрування слабкої основи сильною кислотою). Стрибок титрування. Залежність стрибка титрування від концентрації кислот і основ, температури, константи дисоціації слабкої кислоти (основи).

Індикатори в кислотно-основному титруванні.

Іонна, хромофорна, іонно-хромофорна теорії індикаторів. Інтервал переходу індикатора, показник титрування (рТ). Вибір індикаторів для конкретних випадків титрування. Індикаторні похибки титрування.

Титрування багатоосновних кислот (на прикладі сульфатної, фосфатної і тартратної кислот) та суміші кислот (на прикладі хлоридної і ацетатної кислот). Титрування солей. Застосування кислотно-основного титрування в хімічному аналізі. Аналіз кислот (хлоридної, сульфатної, фосфатної, ацетатної, тартратної, карбонатної), аналіз основ. Аналіз суміші натрій карбонату та натрій гідрогенкарбонату; суміші натрій карбонату та натрій гідроксиду. Визначення твердості води. Визначення Нітрогену за методом К'ельдаля і солей амонію методом зворотного титрування та титруванням замісника.

Титрування в неводних середовищах.

7.2.3. Окисно-відновне титрування (редоксметрія, оксредметрія)

Сутність і класифікація методів окисно-відновного титрування. Особливості реакцій окиснення-відновлення, які заважають їх використанню в аналізі. Константа рівноваги редокс-реакцій, її значення; зв'язок константи рівноваги зі стандартними окисно-відновними потенціалами. Фактори, які впливають на швидкість реакцій окиснення-відновлення. Спряжені окисно-відновні реакції.

Криві окисно-відновного титрування. Фактори, які впливають на характер кривих титрування: концентрація гідроген-іонів, концентрація окисненої і відновленої форм, комплексоутворення, іонна сила розчину.

Безіндикаторні та індикаторні способи фіксування точки еквівалентності в редоксметрії. Специфічні й редоксіндикатори. Характеристика важливих редоксіндикаторів (дифеніламін, фенілантранілова кислота, фероїн).

Способи попереднього окиснення або відновлення речовин, які визначають.

Перманганатометрія. Загальна характеристика методу. Робочі розчини. Стандартні речовини. Способи фіксування точки еквівалентності. Способи титрування (пряме, зворотне (обернене), реверсивне титрування).

Застосування перманганатометрії. Перманганатометричне визначення окисників, відновників і речовин, які не мають окисно-відновних властивостей. Визначення ферум(II)-, манган(II)-, нітрат(III)-, оксалат-іонів, дигідроген пероксиду, кальцій-іонів.

Недоліки використання калій перманганату при титруванні.

Дихроматометрія. Загальна характеристика методу. Робочий розчин. Фіксування точки еквівалентності. Застосування методу. Титрування ферум(II)-іонів. Переваги і недоліки методу в порівнянні з перманганатометрією.

Йодометрія. Загальна характеристика методу. Система йод-йодид як окисник або відновник. Робочі розчини в йодометрії, їх приготування, та стандартизація. Способи фіксування точки еквівалентності в йодометрії. Йодометричне визначення окисників, відновників. Визначення арсенат(III)-, арсенат(V)-, сульфат(IV)-, ферум(III)-, купрум(II)-іонів, визначення активного хлору у хлорному вапні, дигідроген пероксиду. Йодометричне визначення сильних кислот. Недоліки методу. Поняття про методи ванадатометрії, цериметрії, титанометрії, броматометрії, аскорбінометрії.

7.2.4. Осаджувальне титрування

Сутність методу. Вимоги до реакцій осаджувального титрування. Класифікація методів осаджувального титрування в залежності від природи титранта.

Криві осаджувального титрування. Фактори, які впливають на стрибок титрування (концентрація робочого розчину, добуток розчинності осаду, температура).

Аргентометрія. Безіндикаторні та індикаторні способи фіксування точки еквівалентності. Метод Мора, метод Фаянса. Тіоціанатометрія (метод Фольгарда). Застосування, переваги та недоліки методів. Меркуриметрія.

7.2.5. Комплексометричне титрування

Сутність комплексометричного титрування. Вимоги до реакцій у комплексометричному титруванні. Найважливіші неорганічні й органічні титранти.

Меркуриметрія. Робочі розчини, стандартні речовини, індикатори, використання методу.

Комплексонометрія. Етилендіамінтетраацетатна кислота та її натрієва сіль (ЕДТА) як титранти в комплексонометрії. Способи комплексометричного титрування (пряме, зворотне титрування, титрування замісника). Металохромні індикатори та принцип їх дії.

Застосування комплексонометрії. Визначення загальної твердості води. Визначення вмісту кальцій- та магній-іонів при спільній їх присутності.

ПЕРЕЛІК МОДУЛЬНИХ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ

1. Модульна контрольна робота №1 з тем: “Стан сильних і слабких електролітів у розчинах”, “Рівновага в гетерогенній системі осад–насичений розчин”, “I–III аналітичні групи катіонів”.

2. Модульна контрольна робота №2 з тем: “Гідроліз солей”; “Окисно-відновні процеси в якісному аналізі”; “Утворення та руйнування комплексних сполук”.

3. Модульна контрольна робота №3 з тем: „Загальні теоретичні основи аналітичної хімії”, „Якісний аналіз катіонів та аніонів”.

ПЕРЕЛІК ХАРАКТЕРНИХ АНАЛІТИЧНИХ РЕАКЦІЙ, ЯКІ ВИВЧАЮТЬСЯ В КУРСІ АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ

КАТІОНИ

I аналітична група катіонів (K^+ , Na^+ , NH_4^+)

1. Окремі реакції на K^+ -катіон:

- а) дія натрій гексанітрокобальтату(III) $Na_3[Co(NO_2)_6]$;
- б) дія натрій гідрогентартрату $NaHC_4H_4O_6$;
- в) забарвлення полум'я.

2. Окремі реакції на Na^+ -катіон:

- а) дія калій гексагідроксостибату(V) $K[Sb(OH)_6]$ (теоретично);
- б) дія діоксоуран(VI) діацетату (уранілацетату) $UO_2(CH_3COO)_2$ або магній уранілацетату $Mg(UO_2)_3(CH_3COO)_8$ (теоретично);
- в) забарвлення полум'я.

3. Окремі реакції на NH_4^+ -катіон:

- а) дія лугів (калій гідроксиду або натрій гідроксиду);
- б) дія реактива Неслера $K_2[HgI_4]$;
- в) дія натрій гексанітрокобальтату(III) $Na_3[Co(NO_2)_6]$;
- г) дія натрій гідрогентартрату $NaHC_4H_4O_6$.

II аналітична група катіонів (Ag^+ , Pb^{2+} , Hg_2^{2+})

Загальні реакції:

- а) дія хлоридної кислоти та її розчинних солей.

Окремі реакції:

1. Окремі реакції на Ag^+ -катіон:

- а) дія хлоридної кислоти та її розчинних солей;
- б) дія калій йодиду KI ;
- в) дія дикалій тетраоксохромату(VI) K_2CrO_4 ;
- г) дія формальдегіду HCHO (демонстр.).

2. Окремі реакції на Pb^{2+} -катіон

- а) дія сульфатної(VI) кислоти та її розчинних солей;
- б) дія калій йодиду KI ;
- в) дія дикалій тетраоксохромату K_2CrO_4 .

3. Окремі реакції на Hg_2^{2+} -катіон:

- відновлення димеркурій(I)-катіону міддю;
- реакція самоокиснення-самовідновлення (диспропорціювання).

III аналітична група катіонів (Ba^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+})

Загальні реакції:

- а) дія сульфатної(VI) кислоти;
- б) дія діамоній сульфату(VI) $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$;
- в) дія діамоній оксалату $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$;
- г) дія дикалій хромату(VI) K_2CrO_4 .

Окремі реакції:

1. Окремі реакції на Ba^{2+} -катіон:

- а) дія дикалій хромату(VI) K_2CrO_4 і дикалій дихромату(VI) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$;
- б) забарвлення полум'я.

2. Окремі реакції на Ca^{2+} -катіон:

- а) дія сульфатної(VI) кислоти (пробірочним і мікрокристалоскопічним способами);
- б) дія діамоній оксалату $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$;
- в) забарвлення полум'я.

3. Окремі реакції на Sr^{2+} -катіон:

- а) дія гіпсової води $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
- б) забарвлення полум'я.

IV аналітична група катіонів (Al^{3+} , Cr^{3+} , Zn^{2+})

Загальні реакції:

- а) дія їдких лугів;
- б) дія амоній гідроксиду;
- в) дія дигідрогенпероксиду в лужному середовищі.

Окремі реакції:

1. Окремі реакції на Al^{3+} -катіон:

- а) дія алізарину;
- б) дія їдких лугів;
- в) дія амоній гідроксиду;
- г) взаємодія з 8-оксихіноліном.

2. Окремі реакції на Cr^{3+} , CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ -іони:

- а) окиснення Cr^{3+} -іону в CrO_4^{2-} -іон у лужному середовищі дією бромної води або дигідрогенпероксиду;
- б) окиснення Cr^{3+} -іону в $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ -іон у кислому середовищі дією KMnO_4 або $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$;
- в) дія дигідрогенпероксиду на $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ -іон у кислому середовищі;

- г) дія йодид-іонів на $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ -іон у кислому середовищі;
- д) дія Ba^{2+} -, Pb^{2+} -, Ag^{1+} -іонів на CrO_4^{2-} -іон.

3. Окремі реакції на Zn^{2+} -катіон:

- а) дія калій гексаціаноферату(II) $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$;
- б) дія дитизону;
- в) дія калій гексаціаноферату(III) $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

V аналітична група катіонів (Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Bi^{3+})

Загальні реакції:

- а) дія їдких лугів;
- б) дія амоній гідроксиду.

Окремі реакції:

1. Окремі реакції на Mg^{2+} -катіон:

- а) дія натрій гідрогенфосфату в присутності $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ та NH_4Cl (пробірочним та мікрокристалоскопічним способами);
- б) дія 8-оксихіноліну $\text{C}_9\text{H}_6\text{NOH}$.

2. Окремі реакції на Mn^{2+} -катіон:

- а) окиснення Mn^{2+} -іону в MnO_4^{1-} -іон дією діамоній персульфату (гексаоксопероксодисульфату $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2(\text{O}_2)\text{O}_6$) або плюмбум діоксиду, або натрій бісмутату;
- б) окиснення Mn^{2+} -іону в $\text{MnO}(\text{OH})_2$ в лужному середовищі дією бромної води або дигідрогенпероксиду;
- в) краплинна реакція з бензидином.

3. Окремі реакції на Fe^{3+} -катіон:

- а) дія калій гексаціаноферату(II) $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$;
- б) дія калій тіоціанату або амоній тіоціанату.

4. Окремі реакції на Fe^{2+} -катіон:

дія калій гексаціаноферату(III).

5. Окремі реакції на Bi^{3+} -катіон:

- а) гідроліз бісмут(III) хлориду;
- б) дія калій йодиду;
- в) відновлення солі бісмуту(III) до металічного бісмуту солями стануму(II).

VI аналітична група катіонів (Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+})

Загальні реакції:

- а) дія їдких лугів;
- б) дія амоній гідроксиду.

Окремі реакції:

1. Окремі реакції на Ni^{2+} -катіон:

дія реактиву Чугаєва (H_2Dm).

2. Окремі реакції на Co^{2+} -катіон:

- а) дія амоній або калій тіоціанату;
- б) окиснення та комплексоутворення з α -нітрозо- β -нафтолом.

3. Окремі реакції на Cu^{2+} -катіон:

- а) дія амоній гідроксиду;
- б) дія натрій тіосульфату $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;
- в) відновлення Cu^{2+} -іону до вільної міді активними металами;
- г) дія калій гексаціаноферату(II) $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$.

4. Окремі реакції на Cd^{2+} -катіон:

- а) дія сульфідної води H_2S .

АНІОНИ

I аналітична група аніонів (SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , SiO_3^{2-})

Загальні реакції:

дія розчинних солей Барію.

Окремі реакції:

1. Окремі реакції на SO_4^{2-} -аніон:

дія Pb^{2+} -, Ba^{2+} -катіонів.

2. Окремі реакції на CO_3^{2-} -аніон:

дія розведених мінеральних кислот.

3. Окремі реакції на SO_3^{2-} -аніон:

- а) дія розведених мінеральних кислот;
- б) взаємодія з окисниками (I_2 , Br_2 , KMnO_4).

4. Окремі реакції на PO_4^{3-} -аніон:

- а) дія магнезійної суміші;
- б) дія діамоній молібдату(VI) $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$;
- в) взаємодія з Ba^{2+} -, Ag^{1+} -, Pb^{2+} -катіонами.

5. Окремі реакції на SiO_3^{2-} -аніон:

- а) гідроліз іону SiO_3^{2-} у присутності амоній хлориду;
- б) дія мінеральних кислот.

II аналітична група аніонів (Cl^- , Br^- , I^- , S^{2-})

Загальні реакції:

дія аргентум нітрату.

Окремі реакції:

1. Окремі реакції на Cl^- -аніон:

- а) дія плюмбум діоксиду або манган діоксиду;
- б) дія концентрованої сульфатної(VI) кислоти.

2. Окремі реакції на Br^- -аніон:

- а) дія окисників;
- б) взаємодія з Ag^{1+} -катіоном.

3. Окремі реакції на I^- -аніон:

дія хлорної води або калій перманганату.

4. Окремі реакції на S^{2-} -аніон:

- а) дія розведених кислот;
- б) дія солей Кадмію;
- в) взаємодія з Ag^{+} -, Pb^{2+} -катіонами.

III аналітична група аніонів (NO_3^- , NO_2^- , CH_3COO^-)

1. Окремі реакції на NO_3^- -аніон:

- а) дія концентрованої сульфатної кислоти і металічної міді;
- б) дія активних металів (алюмінію або цинку) у сильнолужному розчині;
- в) реакція з ферум(II) сульфатом у присутності конц. H_2SO_4 ;
- г) реакція з дифеніламіном $\text{C}_6\text{H}_5\text{-NH-C}_6\text{H}_5$.

2. Окремі реакції на NO_2^- -аніон:

- а) дія калій йодиду;
- б) дія концентрованої або розведеної сульфатної(VI) кислоти.

3. Окремі реакції на CH_3COO^- -аніон:

- а) дія концентрованої сульфатної кислоти;
- б) утворення складного ефіру (естеру) – взаємодія з етиловим (аміловим) спиртом у присутності концентрованої сульфатної кислоти;
- в) дія ферум(III) хлориду.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №1

Тема: „Предмет, завдання та методи якісного аналізу”, „Закон дії мас як теоретична основа якісного аналізу”, „Перша та друга аналітичні групи катіонів”

Мета: засвоїти правила роботи в лабораторії аналітичної хімії та техніку безпеки; вивчити сучасні системи якісного аналізу, закон дії мас як його теоретичну основу, а також взаємозв'язок між кислотно-лужною класифікацією катіонів та періодичною системою елементів Д. І. Менделєєва у світлі сучасних уявлень про будову атома і природу хімічного зв'язку; набути знання про стан сильних і слабких електролітів у розчинах, показники чутливості аналітичних реакцій та характерні реакції катіонів I–II аналітичних груп, зокрема під час аналізу їх сумішей.

Ключові слова і терміни: Аналітична хімія, хімічний аналіз, компонент, проба (зразок), наважка (аналітична наважка,) об'єкт аналізу, метод аналізу, методика аналізу, аналітичний сигнал, метрологічна оцінка методу аналізу, якісний аналіз, ідентифікація, кількісний аналіз, ізотопний аналіз, елементний органічний аналіз, структурний аналіз, функціональний аналіз, молекулярний аналіз, фазовий аналіз, локальний аналіз, валовий аналіз, пробірний аналіз, арбітражний аналіз, технічний аналіз, макрометоди аналізу (макроаналіз), напівмікрометоди аналізу (напівмікроаналіз), мікрометоди аналізу (мікроаналіз), ультрамікроаналіз, методи ідентифікації (методи виявлення,) методи розділення, методи визначення, гібридні методи аналізу, фізичні методи аналізу, фізико-хімічні методи аналізу, інструментальні методи аналізу, хімічні методи аналізу, біоаналітичні методи аналізу, аналітичні реакції, аналітичні реагенти (реактиви), селективність (вибірковість) аналізу, селективні (вибіркові) аналітичні реакції, селективні (вибіркові) аналітичні реагенти, характерні аналітичні реакції, характерний аналітичний реагент (реактив), специфічні аналітичні реакції, специфічні аналітичні реагенти (реактиви), загальноаналітичні реакції, групові аналітичні реакції, груповий аналітичний реагент (реактив), окремі аналітичні реакції, маскування, дробний хід аналізу, систематичний хід аналізу, аналітична група, центрифугування, пірохімічний аналіз, крапельний аналіз, мікрокристалоскопічний метод аналізу, чутливість аналітичної реакції, відкриваний мінімум, гранична (мінімальна) концентрація, мінімальний об'єм гранично розведеного розчину, граничне розведення, екстракція, аніони, катіони, класифікація, реактив Несслера, рівняння хімічних реакцій (молекулярні, іонно-молекулярні, іонно-електронні).

Електроліти, неелектроліти, електролітична дисоціація, теорія електролітичної дисоціації Арреніуса, ступінь дисоціації електролітів α , сильні електроліти, слабкі електроліти, оборотний процес, необоротний процес, позірний ступінь дисоціації електролітів, електростатична взаємодія, міжіонні сили, активність (активна концентрація іона), коефіцієнт активності, іонна сила розчину, закон іонної сили, закон дії мас, константа швидкості хімічної реакції, константа рівноваги хімічної реакції, динамічна рівновага, концентраційна константа рівноваги хімічної реакції, термодинамічна константа рівноваги хімічної реакції, константа дисоціації (іонізації) слабого електроліту, закон розведення Оствальда, іонний добуток води, правило іонного добутку води, водневий показник (рН розчину), поняття рОН, шкала рН, зміщення хімічної рівноваги, однойменні (спільні) іони, принцип Ле Шательє, буферні розчини, сутність буферної дії, буферна ємність.

Протолітична теорія кислот і основ, константа кислоти, константа основи, протолітична реакція, гідроксоній-іон, спряжена кислотно-основна пара, константа рівноваги протолітичної реакції $A_1 + B_2 \rightleftharpoons A_2 + B_1$, апротонні розчинники, протофільні (основні) розчинники, протогенні (кислотні) розчинники, амфіпротонні розчинники,

автопротолітичні процеси (автопротоліз), іон ліонію, іон ліату, константа автопротолізу, константа дисоціації кислоти протолітичної пари A/B у розчиннику HSolv (константа кислотності (або кислоти) протолітичної пари A/B у розчиннику HSolv), константа дисоціації основи протолітичної пари A/B у розчиннику HSolv.

Лабораторне обладнання і реактиви: штатив з набором реактивів, штатив з пробірками, промивалка, тримач пробірок, лійка, скляна паличка, предметне скельце, водяна баня, електроплитка, пісчана баня, мікроскоп, фільтрувальний папір, універсальний індикаторний папірець, ножиці, банка для зливання, роздаткові матеріали (таблиця констант іонізації слабких кислот та основ; таблиця наближених значень коефіцієнтів активності).

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

1. Предмет, завдання та методи аналітичної хімії.
2. Аналітичні реакції і вимоги до них.
3. Чутливість аналітичних реакцій, показники чутливості.
4. Методика розрахунків показників чутливості.
5. Системи якісного аналізу катіонів. Поділ катіонів на аналітичні групи за кислотно-лужною класифікацією.
6. Апаратура і техніка лабораторних робіт, техніка безпеки в лабораторії аналітичної хімії.
7. Перша аналітична група катіонів:
 - 7.1. Характерні реакції катіонів I аналітичної групи.
 - 7.2. Хід аналізу суміші катіонів I аналітичної групи (мисленнєвий експеримент).
 - 7.3. Способи видалення або маскування солей амонію перед відкриттям катіону K^+ .
8. Друга аналітична група катіонів:
 - 8.1. Характерні реакції катіонів II аналітичної групи.
 - 8.2. Хід аналізу суміші катіонів II аналітичної групи (мисленнєвий експеримент).
9. Застосування закону дії мас при дослідженні слабких електролітів.
10. Розрахунки ступеня та константи іонізації слабких електролітів, рН розчинів.
11. Стан сильних електролітів у розчинах.
12. Розрахунки активності, коефіцієнта активності іонів та іонної сили розчину.
13. Буферні розчини:
 - 13.1. Значення в аналізі.
 - 13.2. Формули для розрахунку рН буферних розчинів.

II. Практична частина:

Виконання характерних реакцій катіонів I–II аналітичних груп. Розв’язування розрахункових задач з тем: слабкі та сильні електроліти, буферні розчини.

III. Письмовий тестовий контроль знань із тем:

„Характерні реакції катіонів I–II аналітичних груп”. „Аналіз суміші катіонів I–II аналітичних груп”. „Стан сильних та слабких електролітів у розчинах”. Перевірка виконання розрахункових задач.

Домашнє завдання:

1. Самостійна робота:

1.1. Робота з підручником: [1] Р. 2, §2.1–2.2, с. 17–43, §6, с. 225–241; Р. 3, с. 60–85; [3] с. 5-60; [4] с. 7-87; [7] с. 7-42; [8, 9, 11, 12]. Допоміжна: [13-16; 22-30; 32; 35].

1.2. Опрацювати лекційний матеріал [3] з тем: «Аналітична хімія як наукова дисципліна. Методи і об'єкти хімічного аналізу», «Якісний хімічний аналіз» (лекція 1 і 2). «Загальні теоретичні основи аналітичної хімії», «Застосування закону дії мас до процесу іонізації слабких електролітів», «Вплив однойменних іонів на зміщення іонних рівноваг. Буферні розчини та їх значення в хімічному аналізі» (лекції 3, 4, 5).

1.3. Самостійно опрацювати питання з лекції 1: «Історія розвитку аналітичної хімії», «Методологічні аспекти аналітичної хімії», «Значення аналітичної хімії в народному господарстві, в розвитку природознавства, техніки»; питання з лекції 2: «Схема систематичного ходу аналізу катіонів за сульфідною класифікацією, її зв'язок з Періодичною системою елементів Д. І. Менделєєва». Самостійно опрацювати питання з лекції 3: «Умова електронейтральності і умова матеріального балансу». Самостійно опрацювати питання з лекції 4: «Способи визначення рН розчинів», питання з лекції 5: «Розрахунок рН буферних розчинів (розрахунок рН амоніачної буферної суміші)».

1.4. Оформити в робочому зошиті практичну частину роботи „Характерні реакції катіонів I аналітичної групи”.

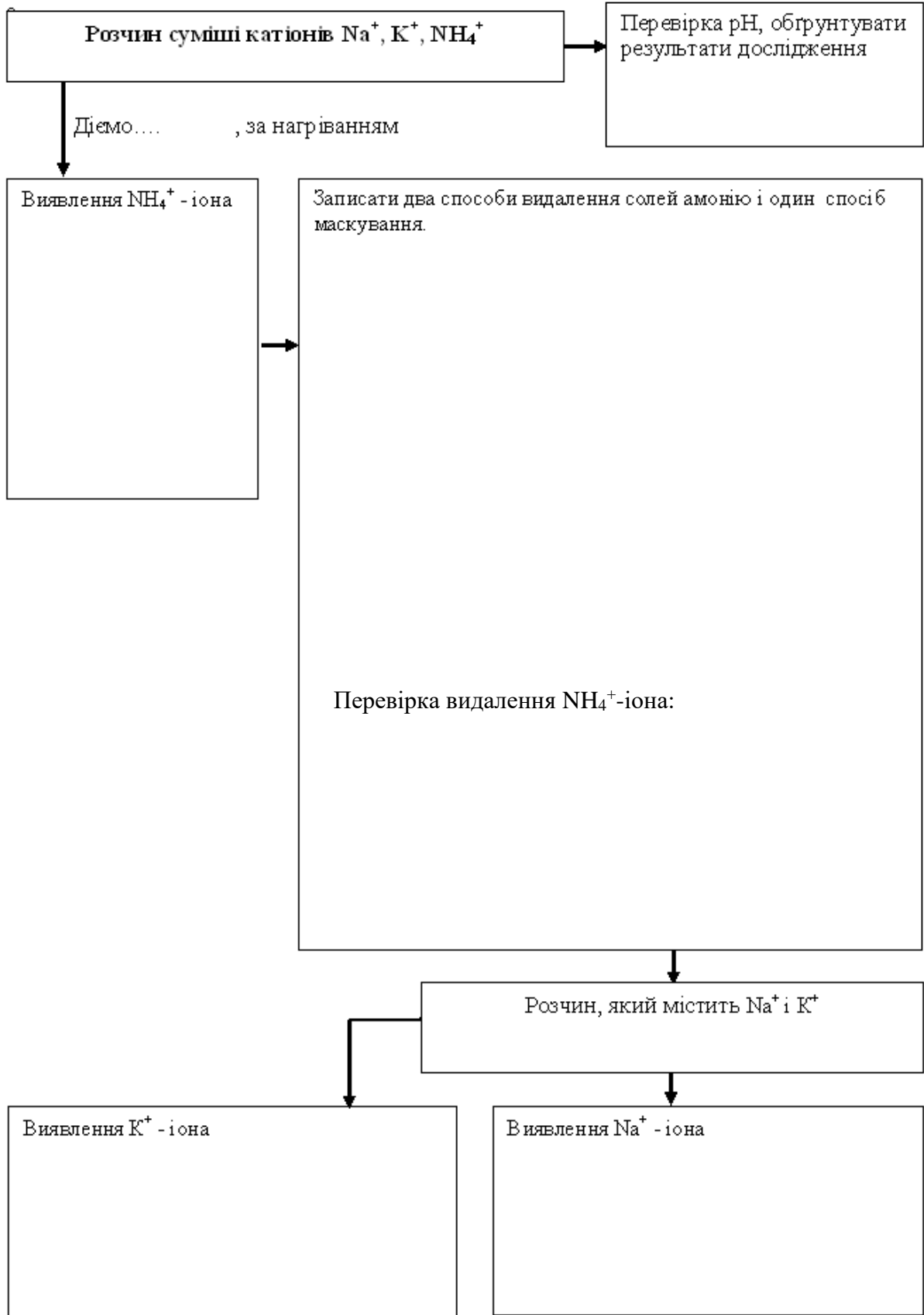
Характерні реакції катіонів I аналітичної групи

Катіон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Окремі реакції на K⁺-іон			
K ⁺	Na ₃ [Co(NO ₂) ₆]		
	Умови:		
	NaHC ₄ H ₄ O ₆	в пробірці	
	на предметному скельці (замалювати форму кристалів)		

	Умови (пробірочним способом):		
	Умови (мікрокристалоскопічно):		
	Забарвлення полум'я	Спостереження:	
	Умови:		
Окремі реакції на Na⁺-катіон:			
Na ⁺	K[Sb(OH) ₆]		
	Умови:		
	Mg(UO ₂) ₃ (CH ₃ COO) ₈	в пробірці	
		на предметному скельці (замалювати форму кристалів)	
	Умови (пробірочним способом):		
Умови (мікрокристалоскопічно):			

	Забарвлення полум'я	Спостереження:	
	Умови:		
Окремі реакції на NH₄⁺-катіон:			
NH ₄ ⁺	NaOH		
	Умови:		
	K ₂ [HgI ₄]		
	Умови:		

1.5. Скласти схему систематичного ходу аналізу суміші катіонів I аналітичної групи



Примітка: при виявленні іонів необхідно вказати умови, аналітичний ефект і записати рівняння реакції в іонно-молекулярному вигляді.

1.6. Оформити в зошиті сульфідну класифікацію катіонів.

1.7. Оформити в робочому зошиті практичну частину роботи „Загальні й окремі характерні реакції катіонів II аналітичної групи” відповідно до зразку та переліку реакцій.

Загальні реакції катіонів II аналітичної групи

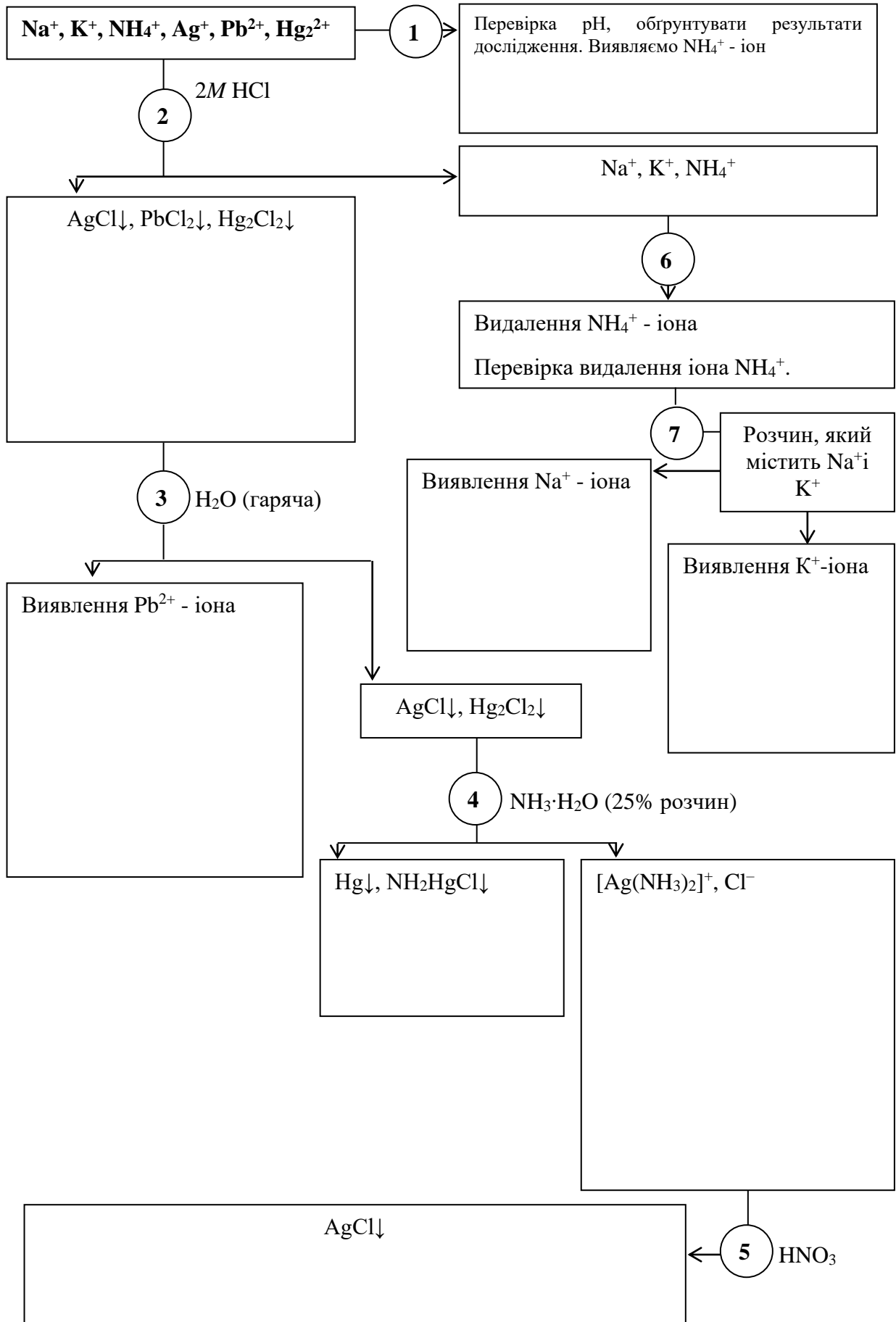
Катіон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Загальні реакції катіонів II аналітичної групи			
Ag⁺	HCl Назва:		Використовується і як окрема реакція
Pb²⁺			
Hg₂²⁺			
	Умови:		

Окремі характерні реакції катіонів II аналітичної групи

Катіон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Окремі реакції на Ag⁺-катіон			
Ag ⁺	HCl		
	Умови:		
	KI		
	Умови:		
	K ₂ CrO ₄		
Умови:			
	HCOH		
Умови:			
Окремі реакції на Pb²⁺-катіон:			
Pb ²⁺	H ₂ SO ₄		
	Умови:		

	KI		
	Умови:		
	K ₂ CrO ₄		
Умови:			
Окремі реакції на Hg₂²⁺-катіон:			
Hg₂²⁺	Cu		
	Умови:		
	Дія NH ₃ ·H ₂ O на Hg ₂ Cl ₂ ↓		$\text{Hg}_2\text{Cl}_2\downarrow + \text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ $3[\text{HgNH}_2]\text{Cl}\downarrow + 3\text{Hg}\downarrow + 14\text{HNO}_3$ $\rightarrow 6\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}\uparrow + 3\text{NH}_4\text{Cl}$ $+ 4\text{H}_2\text{O};$ <p>Виявляємо Hg²⁺ дією KI або K₂CrO₄:</p>
Умови:			

1.8. Скласти схему систематичного ходу аналізу суміші катіонів I–II аналітичних груп.



2. Самостійна індивідуальна робота.

2.1. Розв'язати задачі відповідного варіанту з теми: „Застосування закону дії мас при дослідженні слабких електролітів”, „Стан сильних електролітів у розчинах”, „Буферні розчини”.

№ варіанту	Збірник задач		№ варіанту	Збірник задач	
	[4]	[8]		[4]	[8]
1	1, 43, 16	170 (1), 420	8	8, 36, 23	170 (8), 430
2	2, 42, 17	170 (2), 421	9	9, 35, 24	170 (9), 431
3	3, 41, 18	170 (3), 422	10	10, 34, 25	170 (10), 432
4	4, 40, 19	170 (4), 423	11	11, 33, 26	170 (11), 434
5	5, 39, 20	170 (5), 424	12	12, 32, 27	170 (12), 435
6	6, 38, 21	170 (6), 428	13	13, 31, 28	170 (13), 426
7	7, 37, 22	170 (7), 429	14	14, 30, 29	170 (14), 427

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №2

Тема: „Третя аналітична група катіонів”. „Аналіз суміші катіонів I–III аналітичних груп” (експериментальна контрольна робота).

Мета: вивчити характерні реакції катіонів III аналітичної групи. Порівняти подібність та відмінність хіміко-аналітичних властивостей катіонів I–III аналітичних груп. Опанувати хід аналізу суміші катіонів I–III аналітичних груп. Перевірити вміння проводити якісний аналіз суміші катіонів I–III аналітичних груп за схемою.

Лабораторне обладнання і реактиви: штатив з набором реактивів, штатив з пробірками, промивалка, тримач пробірок, лійка, скляна паличка, предметне скельце, водяна баня, електроплитка, пісчана баня, мікроскоп, фільтрувальний папір, універсальний індикаторний папірець, ножиці, банка для зливання, таблиці і схеми.

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

1. Третя аналітична група катіонів. Загальна характеристика групи, її зв'язок із періодичною системою Д. І. Менделєєва.
2. Загальні і окремі реакції катіонів третьої аналітичної групи.
3. Хід аналізу суміші катіонів III аналітичної групи.
4. Хід аналізу суміші катіонів I–III аналітичних груп.

II. Аналіз суміші катіонів I–III аналітичних груп.

Співбесіда.

III. Практична частина:

1. Загальні і окремі реакції катіонів III аналітичної групи.
2. Виконання експериментальної контрольної роботи: „Аналіз суміші катіонів I–III аналітичних груп”.

Домашнє завдання:

1. Самостійна робота:

1.1. Робота з підручником: [1] Р. 2, §8, с. 262–286; [1], с. 280–286; [7] с. 34-42.
Допоміжна: [13-16; 22-30; 32; 35].

1.2. Опрацювати лекційний матеріал [3] з теми: «Якісний хімічний аналіз» (лекція 2).

1.3. Оформити в зошиті практичну частину роботи „Загальні й окремі характерні реакції катіонів III аналітичної групи” відповідно до зразку та переліку реакцій.

Загальні характерні реакції катіонів III аналітичної групи

Катіон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Загальні реакції катіонів III аналітичної групи			
Ba²⁺	H ₂ SO ₄ Назва:		
Ca²⁺			
Sr²⁺			
	Умови:		
Ba²⁺	(NH ₄) ₂ SO ₄		
Ca²⁺			В еквівалентній кількості: В надлишку реагента:
Sr²⁺			
	Умови:		
Ba²⁺	(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄		Осад BaC ₂ O ₄ розчиняється в гарячій CH ₃ COOH.

Ca^{2+}			Осад CaC_2O_4 не розчиняється в гарячій CH_3COOH !!!
Sr^{2+}			Осад SrC_2O_4 розчиняється в гарячій CH_3COOH .
Умови:			
Ba^{2+}	K_2CrO_4		Осад BaCrO_4 не розчиняється в CH_3COOH .
Ca^{2+}			Осад CaCrO_4 утворюється з концентрованих розчинів.
Sr^{2+}			Осад SrCrO_4 розчиняється в CH_3COOH .
Умови:			

Окремі характерні реакції катіонів III аналітичної групи

Катіон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Окремі реакції на Ba^{2+}-катіон			
Ba^{2+}	K_2CrO_4		
	Умови:		
	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$		

	Умови:		
	Забарвлення полум'я	Спостереження:	
	Умови:		
Окремі реакції на Ca²⁺-катіон:			
Ca ²⁺	H ₂ SO ₄ (пробірочним способом)		
	Умови:		
	H ₂ SO ₄ (мікрокристало- скопічно)		
	Умови:		
	(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄		
	Умови:		
	Забарвлення полум'я	Спостереження:	
Умови:			

Окремі реакції на Sr^{2+} -катіон:			
Sr^{2+}	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$		
	Умови:		
	Забарвлення полум'я	Спостереження:	
	Умови:		

1.4. Опанувати схему систематичного ходу аналізу суміші катіонів III аналітичної групи.

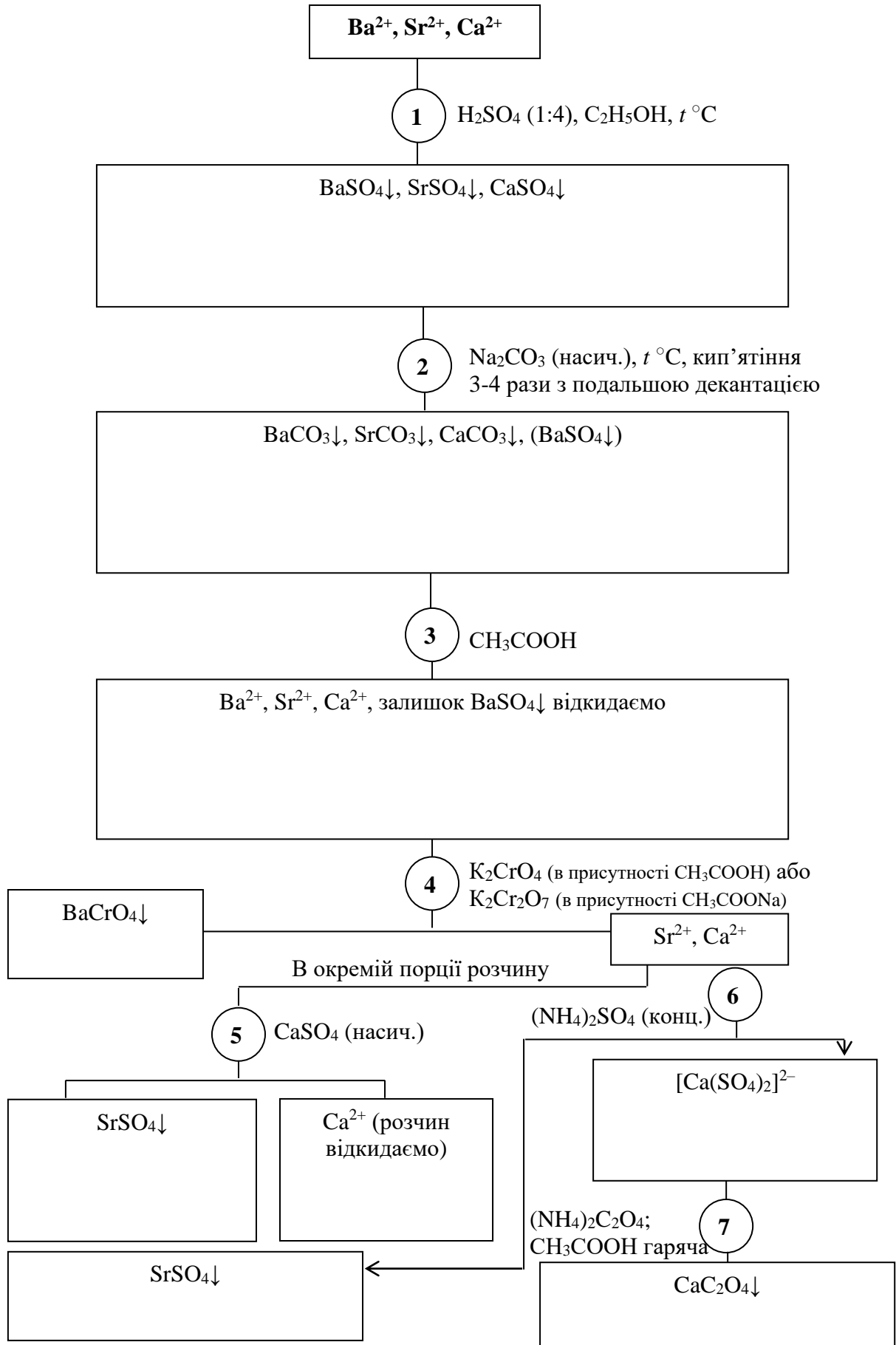
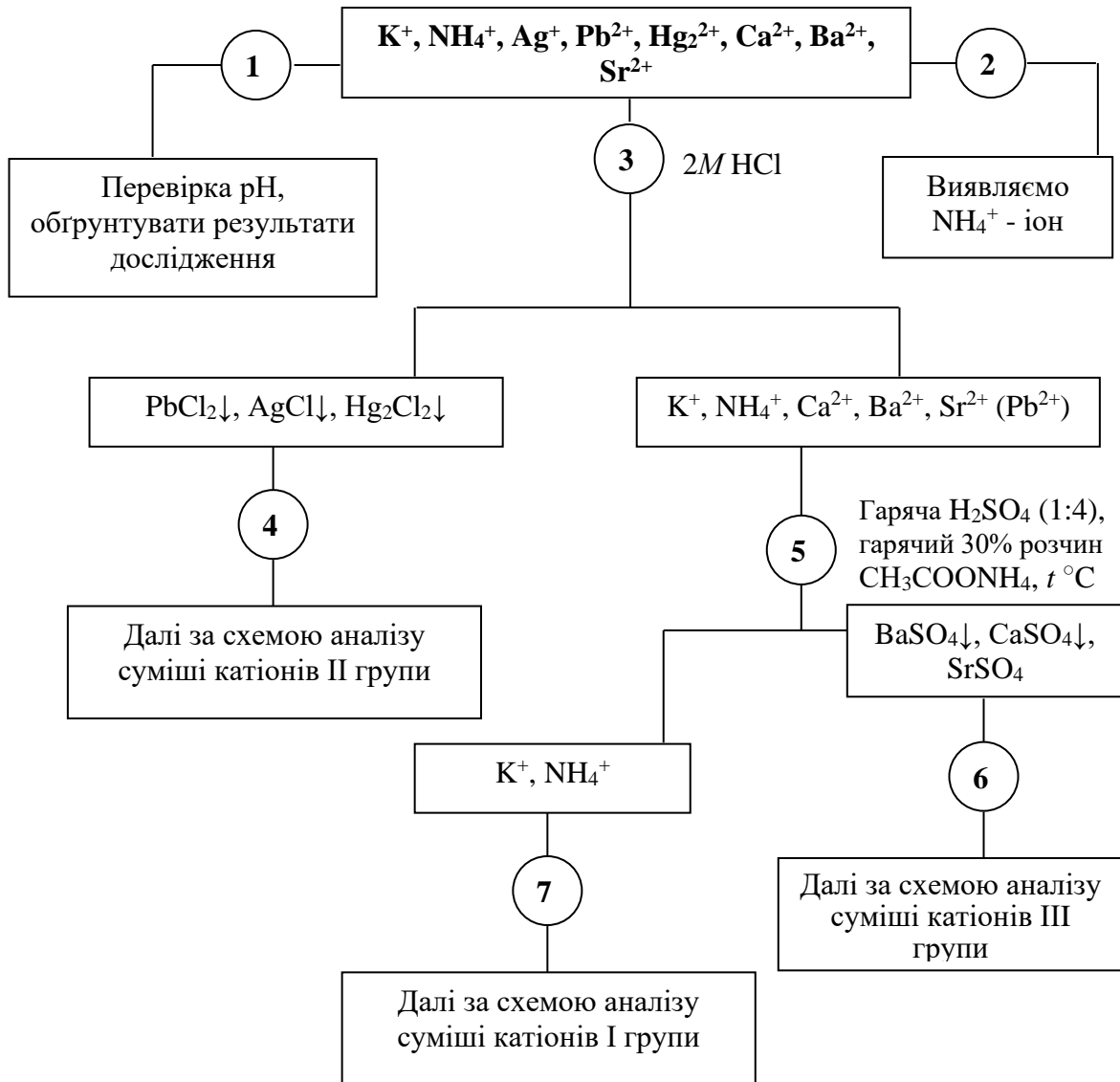


Схема аналізу суміші катіонів I–III аналітичних груп



ПИТАННЯ З ДОПУСКУ
ДО ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ №1
„АНАЛІЗ СУМІШІ КАТІОНІВ І–ІІІ АНАЛІТИЧНИХ ГРУП”

1. Який із катіонів І–ІІІ груп виявляємо першим? Рівняння реакції. Аналітичний ефект.
2. Яку групу катіонів осаджуємо у першу чергу (**осад 1**)? Реагент.
3. У вигляді яких сполук буде **осад 1**, **осад 2** (ІІІ група)? Які іони будуть в **розчині 1** (І група)?
4. Яка послідовність аналізу **розчину 1**?
5. Для чого необхідно видаляти іон NH_4^+ перед відкриттям катіонів Na^+ , K^+ ?
6. Які способи усунення заважаючого впливу амоній-іона вам відомі?
7. Як перевірити повноту видалення NH_4^+ -іона? Рівняння реакції.
8. Відкриття катіона K^+ . Рівняння реакції. Аналітичний ефект.
9. Відкриття катіона Na^+ . Рівняння реакції. Аналітичний ефект. Умови проведення (середовище).
10. **Аналіз осаду 1.** Як переводять в розчин PbCl_2 ?
11. Як виявляють катіон Pb^{2+} ? Рівняння реакції. Аналітичний ефект. Умови проведення реакції.
12. Які продукти утворюються при дії на осад AgCl і Hg_2Cl_2 розчином амоніаку? Рівняння реакції.
13. Чим руйнують амоніачний комплекс $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$? Рівняння реакції.
14. Як відкривають Ag^+ в одержаному фільтраті? Рівняння реакції. Аналітичний ефект.
15. Що відбувається на фільтрі з осадом Hg_2Cl_2 при дії амоніаку. Аналітичний ефект. Напишіть рівняння реакції диспропорціонування.
16. З якою метою при осадженні катіонів ІІІ групи (діючи 2 н. розчином H_2SO_4) додаємо 30% розчин $\text{CH}_3\text{COONH}_4$?
17. **Аналіз осаду 2.** Як переводимо в розчин сульфати катіонів ІІІ групи?
18. Сульфати якого катіона ІІІ групи важче всього перевести в карбонат і чому?
19. Які прийоми необхідно застосувати для зміщення рівноваги вправо при переведенні сульфатів ІІІ групи катіонів в карбонати.
20. Яким реагентом ми розчиняємо карбонати катіонів ІІІ групи?
21. Який із катіонів ІІІ групи відкривають першим?
22. Чому відкриття Ba^{2+} -катіона дією K_2CrO_4 необхідно проводити у присутності CH_3COOH , а дією $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – у присутності CH_3COONa ?
23. Напишіть іонно-молекулярне рівняння виявлення катіона Ba^{2+} дією $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.
24. Яким реагентом проводимо повне осадження Ba^{2+} ?
25. Яким реагентом відкриваємо Sr^{2+} -катіон? Аналітичний ефект.
26. Яким реагентом проводимо повне осадження Sr^{2+} -катіона? Чому в цих умовах Ca^{2+} -катіон не осаджується?
27. Яким реагентом відкриваємо Ca^{2+} -катіон?
28. Як відносяться оксалати барію, стронцію і кальцію до дії гарячої ацетатної кислоти?

**ОФОРМЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ
 „АНАЛІЗ СУМІШІ КАТІОНІВ І–ІІІ АНАЛІТИЧНИХ ГРУП (K^{1+} , NH_4^{1+} , Ag^{1+} , Rb^{2+} , Ba^{2+} , Ca^{2+})”**

Номер виданого розчину: _____ Дата: _____

№	Об'єкт аналізу	Операція, що проводиться	Реактив, яким діємо, та умови проведення операції	Ефект, що спостерігається	Рівняння реакції в йонно-молекулярному виді	Висновок
1	2	3	4	5	6	7
1	Контрольний розчин	Перемішують для одержання однорідної суміші				
2	0,5 см ³ контрольного розчину	Виявляємо NH_4^+ -іон	0,5 см ³ 2 М NaOH			
3	1/2 контрольного розчину	Відокремлення Визначаємо присутність катіонів II групи	та відкриття 2 М HCl	катіонів II	групи	

1	2	3	4	5	6	7
4	У тій же пробі	Проводимо осадження катіонів II групи	2 МНСІ			
5	У тій же пробі	Перевіряємо на повноту осадження	Обережно по стінках пробірки додаємо 1 краплю 2 МНСІ			
6	У тій же пробі	Відокремлюємо осад від розчину	Фільтруємо			
7	Осад №1 на воронці	Видаляємо домішки	Промиваємо 2-3 рази холодною водою			
8	Осад №1 на воронці	Переводимо пломбум (II) хлорид в розчин	Промиваємо 3-5 рази гарячою водою (по 2 см ³)			
9	Фільтрат №2	Виявляємо Рb ²⁺ - іони	Розчин KI			

1	2	3	4	5	6	7
10	Осад №1 на лійці	Повністю розчиняємо $PbCl_2$	Промиваємо гарячою водою			
11	Осад №1 на лійці	Переводимо в розчин аргентум хлорид	$2 M NH_3 \cdot H_2O$			
12	Амоніачний розчин	Виявляємо Ag^+ -іони	$2 M HNO_3$			
13	0,5 см ³ фільтрату №1	Відокремлення Визначення присутності катіонів III групи	та відкриття Нагриваємо до 70 °С, додаємо гарячу H_2SO_4 (1:4), гарячий 30% розчин CH_3COONH_4 (для розчинення $PbSO_4$)	катіонів III групи		
14	Фільтрат №1	Проводимо осадження катіонів III групи	Те ж саме, що в п.13, залишаємо стояти 10-15 хв.			

1	2	3	4	5	6	7
15	Фільтрат №1 з осадом	Перевіряємо на повноту осадження	Обережно по стінці пробірки додаємо краплю 1 М H_2SO_4			
16	Фільтрат №1 з осадом	Відокремлюємо осад від розчину	Фільтруємо через фільтр з синього стрічкою			
17	Осад №2 на воронці	Видаляємо домішки	Промиваємо 2-3 рази холодною водою			
18	Осад №2 на воронці	Переводимо сульфати в карбонати	Кип'ятимо з насиченим розчином Na_2CO_3 , зливаємо маточний розчин з осаду (3-4 рази)			

1	2	3	4	5	6	7
19	Содовий розчин з осадом карбонатів	Відокремлюємо осад від розчину	Фільтруємо, фільтрат не досліджуємо			
20	Осад №3 карбонатів BaCO_3 та CaCO_3 на фільтрі	Видаляємо домішки	Промиваємо 2-3 рази холодною водою			
21	Осад №3 карбонатів на фільтрі або в чашці	Розчиняємо карбонати III групи катіонів	CH_3COOH			
22	$\frac{1}{2}$ ацетатного розчину	Визначаємо Ba^{2+} -іони	Розчин K_2CrO_4			
23	У тій же пробі	Перевіряємо на повноту осадження Ba^{2+} -іонів	1 краплю K_2CrO_4 обережно по стінці пробірки			

1	2	3	4	5	6	7
24	У тій же пробі	Відокремлюємо розчин від осаду, осад відкидаємо	Фільтруємо			
25	½ фільтрату №4	Визначаємо Ca^{2+} - іони	Розчин $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$			
26	1 краплю фільтрату №4 поміщаємо на предметне скло	Виявляємо Ca^{2+} - іони	1 краплю 2 н. H_2SO_4 , нагріти до появи білого кола по краю краплі			
27	½ фільтрату №3	Видаляємо NH_4^+ - іони	Виявлення Кип'ятимо з NaOH	катіонів I		

1	2	3	4	5	6	7
28	1 краплю розчину фільтрату №3 після кип'ятіння з NaOH	Перевіряємо на повноту видалення NH_4^{1+} -іонів	1 краплю реактиву Неслера			
29	$\frac{1}{2}$ розчину фільтрату №3 після видалення NH_4^{1+} -іонів	Відкриваємо K^{1+} -іони	$\text{NaN}_2\text{H}_4\text{O}_6$, нейтральне або слабкокисле середовище, охолодження, потирання скляною паличкою			
30	$\frac{1}{2}$ розчину фільтрату №3 після видалення NH_4^{1+} -іонів	Відкриваємо K^{1+} -іони	$\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$, нейтральне або слабкокисле середовище, потирання скляною паличкою			

Висновок: У контрольному розчині № ___ присутні катіони

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №3

Тема: „Рівновага в гетерогенній системі осад–насичений розчин”.

Мета: набути знання про стан динамічної рівноваги в системі осад–насичений розчин.

Ключові слова і терміни: гомогенні системи, гетерогенні системи, фаза, пересичений розчин, умова утворення осаду малорозчинного електроліту, осадження, реакції осадження, насичений розчин, правило добутку розчинності, ефект однойменного іону, практично повне осадження, сольовий ефект, дробне осадження, ненасичений розчин, розчинення осаду, умова розчинення осаду малорозчинного електроліту, розчинність речовини, пептизація осаду, коагуляція осаду.

Лабораторне обладнання і реактиви: роздаткові матеріали (таблиця добутків розчинності малорозчинних речовин, таблиця молярних мас речовин).

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

1. Рівновага в гетерогенній системі осад–насичений розчин. Виведення правила добутку розчинності та його значення.
2. Вплив сторонніх іонів на розчинність малорозчинних електролітів. Сольовий ефект.
3. Осадження. Фактори, які впливають на повноту осадження.
4. Розчинність осадів. Перетворення одних малорозчинних осадів у інші.
5. Дробне осадження.
6. Методика розв’язування задач із теми: “Рівновага в гетерогенній системі осад–насичений розчин”.

II. Письмовий контроль знань із теми:

“Рівновага в гетерогенній системі осад–насичений розчин”.

Домашнє завдання:

1. Самостійна робота:
 - 1.1. Робота з підручником: [1] Р. 3, §3.2, с. 111–131; [3] с. 67–83; [4] с. 93-74; [7] с. 28-34; [8, 9, 11, 12]. Допоміжна: [13-16; 22-30; 32; 35].
 - 1.2. Опрацювати лекційний матеріал [3] з теми: «Рівновага в гетерогенній системі осад – насичений розчин» (лекція 6).
 - 1.3. Самостійно опрацювати питання з лекції 6: «Застосування процесів осадження в хімічному аналізі», «Вплив різних факторів на повноту осадження».
2. Самостійна індивідуальна робота:
 - 2.1. Опанувати приклади розв’язування типових задач [4] з теми “Рівновага в гетерогенній системі осад–насичений розчин”.
 - 2.2. Розв’язати задачі відповідного варіанту з теми:
„Рівновага в гетерогенній системі осад–насичений розчин”

№ варіанту	Збірник задач		№ варіанту	Збірник задач	
	[4]	[8]		[4]	[8]
1	1, 17	510, 528, 582	8	8, 24	520, 552, 614
2	2, 18	511, 529, 592	9	9, 25	521, 553, 615
3	3, 19	512, 530, 593	10	10, 26	522, 554, 652
4	4, 20	513, 531, 594	11	11, 27	523, 571, 653
5	5, 21	514, 534, 595	12	12, 28	524, 575, 654
6	6, 22	515, 535, 612	13	13, 29	525, 577, 657
7	7, 23	516, 536, 613	14	14, 30	526, 578, 660

Модульна контрольна робота №1 із тем:

“Стан сильних і слабких електролітів у розчинах”,
“Рівновага в гетерогенній системі осад–насичений розчин”, “I–III аналітичні групи катіонів”.

Домашнє завдання:

1. Самостійна робота:

1.1. Робота з підручником: [1], с. 111–131, 225–286.

1.2. Повторити матеріал лекцій із тем:

“Стан сильних електролітів у розчинах” (лекція 3);

“Застосування закону дії мас при дослідженні слабких електролітів” (лекція 4); “Буферні розчини” (лекція 5); “Рівновага в гетерогенній системі осад–насичений розчин” (лекція 6).

1.3. Повторити характерні реакції катіонів I–III аналітичних груп.

1.4. Вивчити схему аналізу суміші катіонів I–III аналітичних груп.

1.5. Засвоїти методику аналізу суміші катіонів I–III аналітичних груп (Додаток 1).

Зразок завдань до модульної контрольної роботи №1 із тем: „Стан сильних і слабких електролітів у розчинах”, „Рівновага в гетерогенній системі осад–насичений розчин”, „I–III аналітичні групи катіонів”

I. Теоретичний матеріал.

Розрахунок рН буферних розчинів. Виведення формул.

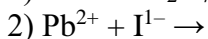
II. Розв’язування вправ.

1. рН розчину дорівнює 12. Яка молярна концентрація гідроксид-іонів?

2. У розчині об’ємом 1 дм³ міститься гідроген бромід (HBr) та дигідроген сульфат (H₂SO₄) кількістю по 0,02 моль. Яка молярна концентрація гідроген-іонів у розчині?

3. Константа іонізації слабкої одноосновної кислоти дорівнює $1 \cdot 10^{-8}$. Яке значення рН розчину з молярною концентрацією речовини 0,01 моль/дм³?

4. З якою метою в якісному аналізі використовують реакції?

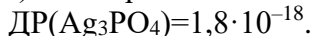


Написати рівняння реакцій.

5. У розчині об’ємом 1 дм³ міститься дигідроген сульфат кількістю 0,01 моль та магній сульфат кількістю 0,02 моль. Яка іонна сила розчину?

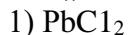
6. У розчині слабкої одноосновної кислоти з молярною концентрацією речовини 0,01 моль/дм³ молярна концентрація гідроген-іонів дорівнює $1 \cdot 10^{-4}$ моль/дм³. Яка константа іонізації кислоти?

7. Яка розчинність триаргентум фосфату (Ag₃PO₄) у розчині аргентум нітрату (AgNO₃) з молярною концентрацією речовини 0,1 моль/дм³?

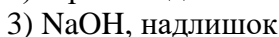
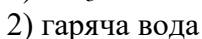


8. Які реактиви групи „Б” розчиняють сполуки групи „А”?

„А”



„Б”



ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №4

Тема: „Гідроліз солей. Амфотерність гідроксидів”, „Окисно-відновні процеси в якісному аналізі”, „Четверта та п'ята аналітичні групи катіонів”

Мета: з'ясувати суть процесів гідролізу солей, методику обчислення їх кількісних характеристик, теоретичні основи окисно-відновних процесів та особливості застосування гідролізу, амфотерності й окисно-відновних реакцій у якісному аналізі. Вивчити характерні реакції катіонів IV та V аналітичних груп, а також опанувати хід аналізу сумішей катіонів цих груп.

Ключові слова і терміни: сольволиз, гідроліз, константа гідролізу (константа рівноваги процесу гідролізу), ступінь гідролізу (h), постадійний гідроліз, гідроліз солей багатокислотних слабких основ, гідроліз солей багатоосновних слабких кислот, посилення гідролізу, пригнічення гідролізу, амфотерність, амфоліти (амфотерні електроліти), амфотерні гідроксиди; окиснення, відновлення, окисники, відновники, окисно-відновні реакції, міжмолекулярні окисно-відновні реакції, реакції внутрішньо-молекулярного окиснення-відновлення, реакції самоокиснення-самовідновлення, метод електронного балансу, ступінь окиснення, електронно-іонний метод складання рівнянь окисно-відновних реакцій, окисно-відновний потенціал (оксред-потенціал), електрод, водневий електрод, стандартний водневий електрод, електродний потенціал, стандартний електродний потенціал, ряд стандартних електродних потенціалів металів (ряд напруг), таблиця стандартних окисно-відновних потенціалів, методи окисно-відновного титрування.

Лабораторне обладнання і реактиви: штатив з набором реактивів, штатив з пробірками, промивалка, тримач пробірок, лійка, скляна паличка, предметне скельце, водяна баня, електроплитка, пісчана баня, мікроскоп, фільтрувальний папір, універсальний індикаторний папірець, ножиці, банка для зливання, таблиця зі стандартними окисно-відновними потенціалами.

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

1. Сутність гідролізу солей. Застосування закону дії мас до оборотного процесу гідролізу. Константа гідролізу.
2. Методика обчислення константи гідролізу, ступеня гідролізу, рН у розчинах солей, що гідролізують.
3. Практичні прийоми посилення та послаблення гідролізу. Застосування гідролізу в якісному аналізі.
4. Амфотерність гідроксидів та її використання в якісному аналізі.
5. Четверта аналітична група катіонів. Характерні реакції катіонів IV аналітичної групи. Хід аналізу суміші катіонів IV аналітичної групи.
6. Константа рівноваги окисно-відновного процесу. Зв'язок константи рівноваги зі стандартними окисно-відновними потенціалами.
7. Використання редокс-потенціалів для визначення напряму проходження окисно-відновних реакцій.
8. Найважливіші окисники і відновники, які використовують в аналізі. Підбір найбільш ефективних окисників (відновників) для конкретних випадків аналізу.
9. Складання рівнянь окисно-відновних реакцій іонно-електронним методом (методом напівреакцій).

10. П'ята аналітична група катіонів. Характерні реакції катіонів V аналітичної групи.
Хід аналізу суміші катіонів V аналітичної групи.

II. Практична частина:

Виконання характерних реакцій катіонів IV–V аналітичних груп.

III. Письмовий контроль знань із тем:

„Гідроліз солей”, „Амфотерність гідроксидів” „IV аналітична група катіонів”, „V аналітична група катіонів”. „Окисно-відновні процеси в якісному аналізі”.

Домашнє завдання:

1. Самостійна робота:

1.1. Робота з підручником: [1] Р. 3, § 3.3, с. 149–163; §3.4, с. 174–183; Р. 2, §10, с. 325–350; [3] с. 83–112; [4] с. 93-238; [7] с. 42-61; [8, 9, 11, 12]. Допоміжна: [13-16; 22-30; 32; 35].

1.2. Опрацювати лекційний матеріал [3] з тем: «Гідроліз солей. Амфотерність гідроксидів» (лекція 7); «Якісний хімічний аналіз» (лекція 2); «Окисно-відновні реакції в аналізі» (лекція 8).

1.3. Самостійно опрацювати питання з лекції 7: «Гідроліз солей, утворених сильною основою і слабкою кислотою»; з лекції 8: «Класифікація окисно-відновних реакцій», «Найважливіші окисники і відновники, які використовують в аналізі».

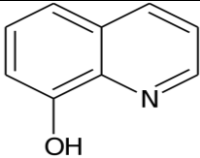
1.4. Оформити в зошиті практичну частину роботи „Загальні й окремі характерні реакції катіонів IV аналітичної групи” відповідно до зразку та переліку реакцій.

Загальні характерні реакції катіонів IV аналітичної групи

Катіон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Загальні реакції катіонів IV аналітичної групи			
Al^{3+}	NaOH Назва:		В еквівалентній кількості: В надлишку реагента: В надлишку при кип'ятінні:
Cr^{3+}			В еквівалентній кількості: В надлишку реагента: В надлишку при кип'ятінні:

			$[\text{Cr}(\text{OH})_6]^{3-} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow$ $[\text{Cr}(\text{OH})_3(\text{H}_2\text{O})_3]\downarrow + 3\text{OH}^-$
Zn^{2+}			<p>В еквівалентній кількості:</p> <p>В надлишку реагента:</p> <p>В надлишку при кип'ятінні:</p>
Al^{3+}	$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ Назва:		
Cr^{3+}			
Zn^{2+}			$\text{Zn}(\text{OH})_2$ розчиняється в солях амонію з утворенням...
	Умови:		
Al^{3+}	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$		
Cr^{3+}			Записати рівняння окисно-відновної реакції
Zn^{2+}			
	Умови:		

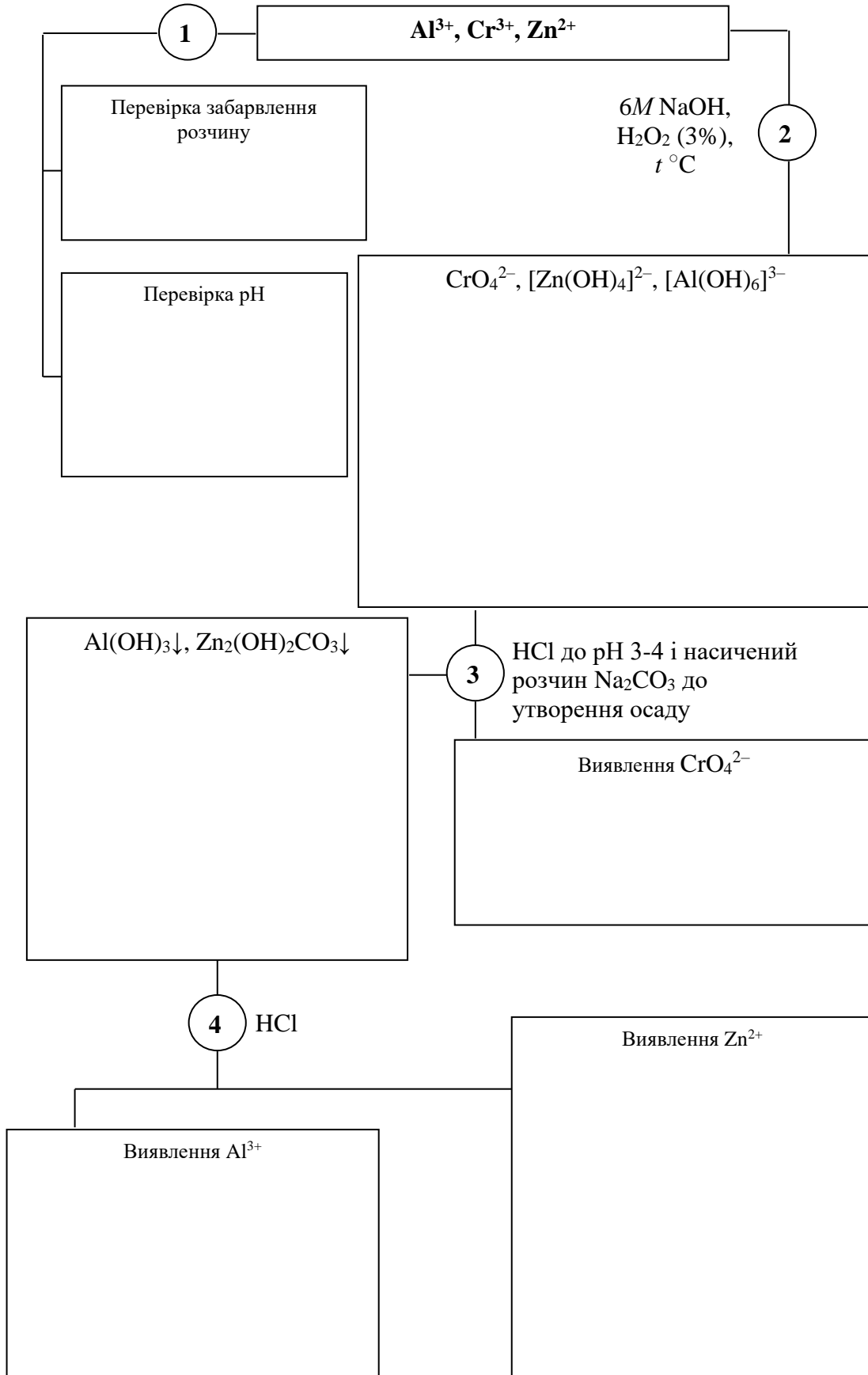
Окремі характерні реакції катіонів IV аналітичної групи

Катіон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Окремі реакції на Al³⁺- катіон			
Al ³⁺	H ₂ Alis Написати структурну формулу		
	Умови:		
	NaOH		В еквівалентній кількості:
	Умови:		
	NH ₃ ·H ₂ O		
	Умови:		
			
	Умови:		

Окремі реакції на Cr^{3+}- катіон:			
Cr^{3+}	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH}$		
	Умови:		
	KMnO_4 (в кислому середовищі)		
	Умови:		
	$(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ (в кислому середовищі)		
	Умови:		
	Окремі реакції на CrO_4^{2-} - іон:		
CrO_4^{2-}	$\text{Ba}^{2+}, \text{Pb}^{2+}, \text{Ag}^+$		
Окремі реакції на $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ - іон:			

$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	H_2O_2 (в кислому середовищі)		Утворення хрому(VI) монооксиду дипероксиду
	Умови:		
	КІ (в кислому середовищі)		
Умови:			
Окремі реакції на Zn^{2+}- катіон:			
Zn^{2+}	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$		
	Умови:		
	$\begin{array}{c} \text{NH-NH-C}_6\text{H}_5 \\ / \quad \backslash \\ \text{SC} \quad \quad \quad \\ \backslash \quad / \\ \text{N=N-C}_6\text{H}_5 \end{array}$		
	Умови:		
	$\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$		

1.5. Скласти схему систематичного ходу аналізу суміші катіонів IV аналітичної групи.



1.6. Оформити в зошиті практичну частину роботи „Загальні й окремі характерні реакції катіонів V аналітичної групи” відповідно до зразку та переліку реакцій.

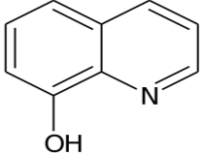
Загальні характерні реакції катіонів V аналітичної групи

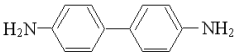
Катіон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Загальні реакції катіонів V аналітичної групи			
Mg²⁺	NaOH Назва:		
Mn²⁺			
Fe²⁺			
Fe³⁺			
Bi³⁺			
Mg²⁺	NH ₃ ·H ₂ O Назва:		Mg(OH) ₂ розчиняється в солях амонію
Mn²⁺			Mn(OH) ₂ розчиняється в солях амонію
Fe²⁺			Fe(OH) ₂ розчиняється в солях амонію
Fe³⁺			

Bi³⁺			
	Умови:		

Окремі характерні реакції катіонів V аналітичної групи

Катіон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Окремі реакції на Mg²⁺-катіон			
Mg²⁺	Na ₂ HPO ₄ (в присутності NH ₃ ·H ₂ O та NH ₄ Cl)		
	Пробірочним способом		
	Умови:		
	Na ₂ HPO ₄ (в присутності NH ₃ ·H ₂ O та NH ₄ Cl)		
Мікрокристало-скопічно	Хід роботи: До краплини досліджуваного розчину на предметному склі додають краплину NH ₄ Cl. Предметне скло перевертають краплиною вниз і тримають протягом 1-2 хв. над склянкою з розчином амоніаку. Після цього в краплину вносять кристалик Na ₂ HPO ₄ або краплину розчину цієї солі. Утворюються кристалики у формі призм і трапецій (з розведених розчинів). З концентрованих розчинів кристали виділяються у вигляді зірочок або дендритів.		
Умови:			

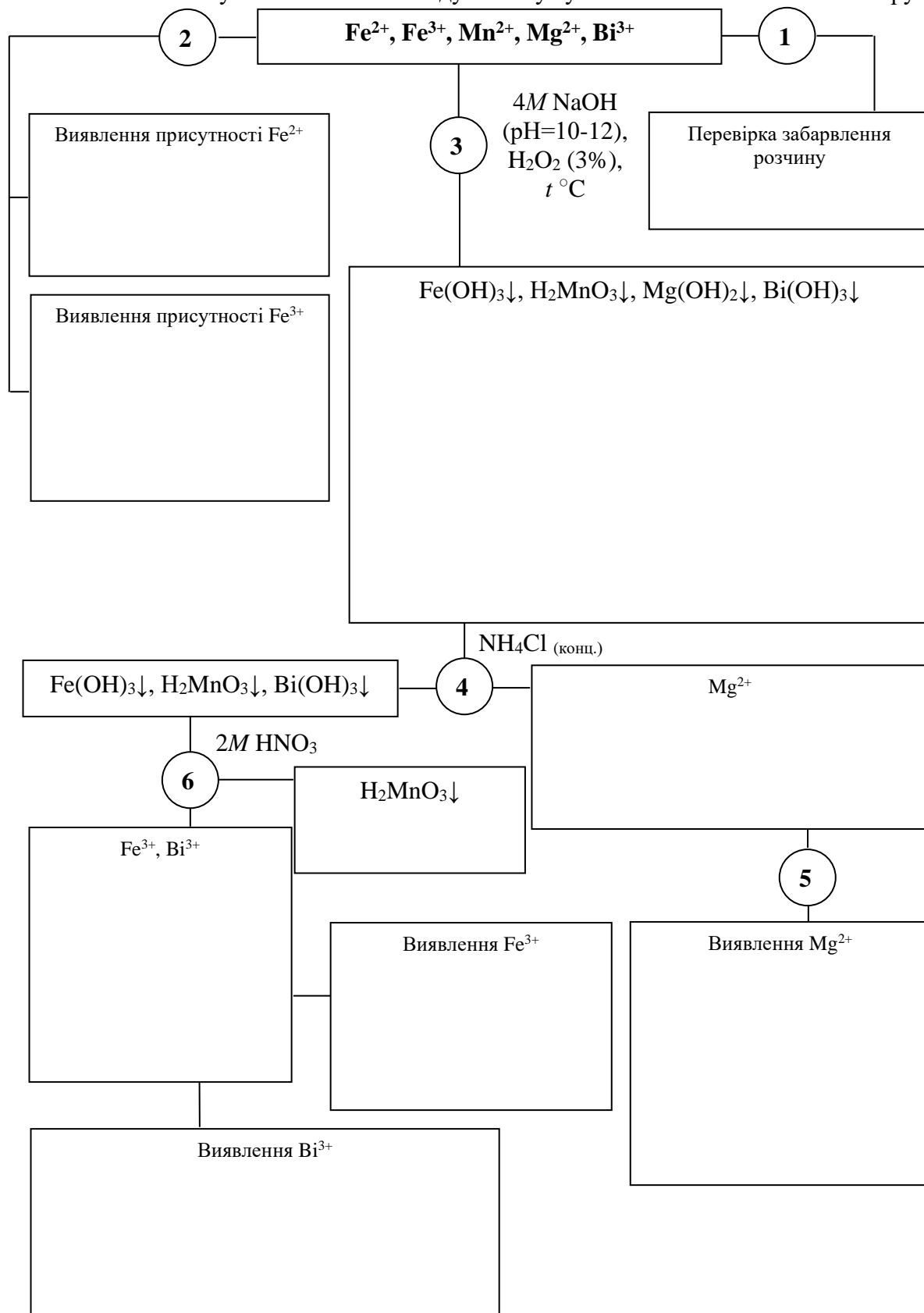
			
	Умови:		
Окремі реакції на Mn²⁺-катіон:			
Mn²⁺	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ (в кислому середовищі)		
	Умови:		
	PbO ₂ (в кислому середовищі)		
Умови:			
	NaBiO ₃ (в кислому середовищі)		

Умови:		
Br ₂ (в лужному середовищі)		
Умови:		
H ₂ O ₂ (в лужному середовищі)		
 Бензидин C ₁₂ H ₈ (NH ₂) ₂	Спостереження:	
Умови: крапельна реакція; $\text{Mn}^{2+} \xrightarrow{\text{NH}_3} \text{Mn}(\text{OH})_2 \xrightarrow{\text{O}_2} \text{MnO}(\text{OH})_2.$		
Хід роботи: Краплину досліджуваного розчину наносять на смужку фільтрувального паперу, додають 2-3 краплі 6 М розчину їдкого лугу і через 2-3 хв. додають краплину оцтовокислого розчину бензидину.		

Окремі реакції на Fe³⁺-катион:			
Fe³⁺	K ₄ [Fe(CN) ₆]		
	Умови:		
	NH ₄ SCN		
	Умови:		
Окремі реакції на Fe²⁺-катион:			
Fe²⁺	K ₃ [Fe(CN) ₆]		
	Умови:		
Окремі реакції на Bi³⁺-катион:			
Bi³⁺	Гідроліз BiCl ₃		I стадія гідролізу:
			II стадія гідролізу: Розклад Bi(OH) ₂ Cl

	Умови:	
	КІ	В еквівалентній кількості:
		В надлишку реагенту:
	Умови:	
	Sn ²⁺ (в лужному середовищі)	
	Умови:	

1.7. Скласти схему систематичного ходу аналізу суміші катіонів V аналітичної групи.



2. Самостійна індивідуальна робота:

2.1. Опанувати приклади розв'язування типових задач [4] з теми „Гідроліз солей” та «Рівноваги при проходженні окисно-відновних процесів».

2.2. Розв'язати задачі відповідного варіанту з теми: „Гідроліз солей”, „Окисно-відновні реакції в аналізі”

№ варіанту	Збірник задач		№ варіанту	Збірник задач	
	[4]	[8]		[4]	[8]
1	1, 16, 22, 33 (1, 41)	716, 796	8	8, 30, 33 (9, 25)	748, 760, 804
2	2, 17, 23, 33 (2, 18)	717, 797	9	15, 31, 33 (10, 26)	750, 763, 805
3	3, 18, 24, 33 (3, 19)	726, 798	10	16, 32 а, 33 (11, 27)	752, 767, 806 (1)
4	4, 19, 25, 33 (4, 20)	744, 799	11	11, 32 б, 33 (12, 28)	753, 773, 806 (2)
5	5, 20, 26, 33 (5, 21)	745, 800	12	12, 32 в, 33 (13, 29)	754, 774, 806 (7)
6	6, 21, 27, 33 (6, 22)	746, 801	13	14, 32 г, 33 (14, 43)	755, 780, 806 (16)
7	7, 28, 33 (8, 23)	747, 802	14	17, 32 д, 33 (15, 32)	756, 781, 806 (17)

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №5

Тема: „Утворення та руйнування комплексних сполук”. „Застосування органічних реагентів у якісному аналізі”. „Шоста аналітична група катіонів”. „Аналіз суміші катіонів IV–VI аналітичних груп”.

Мета: засвоїти теоретичні основи процесів утворення та руйнування комплексних сполук, їх застосування в якісному аналізі. Засвоїти застосування органічних реагентів у аналізі. Вивчити характерні реакції катіонів VI аналітичної групи. Опанувати хід аналізу суміші катіонів VI аналітичної групи. Перевірити вміння проводити якісний аналіз суміші катіонів IV–VI аналітичних груп.

Ключові слова і терміни: комплексні сполуки (координаційні сполуки), подвійні солі, комплексоутворювач, ліганди, координація, координаційне число, константа нестійкості комплексного іону, загальна константа нестійкості комплексного іону, константа стійкості (утворення) комплексного іону, хелати, внутрішньокмлексні сполуки, денатність ліганда, органічні аналітичні реагенти, диметилглюксим (реактив Чугаєва), дитизон (дифенілтіокарбазон), 8-оксихінолін, алізарин, α -нітрозо β -нафтол, комплексопи, етилендіамінтетраацетатна кислота (ЕДТА).

Лабораторне обладнання і реактиви: штатив з набором реактивів, штатив з пробірками, промивалка, тримач пробірок, лійка, скляна паличка, предметне скельце, водяна баня, електроплитка, пісчана баня, мікроскоп, фільтрувальний папір, універсальний індикаторний папірець, ножиці, банка для зливання, таблиця добутоків розчинності малорозчинних сполук, таблиця загальних констант нестійкості комплексних сполук, таблиця констант утворення комплексних сполук, таблиця молярних мас речовин, таблиця періодичної системи хімічних елементів Д.І. Менделєєва, схема аналізу IV–VI аналітичних груп катіонів.

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

1. Дисоціація комплексних іонів. Ступінчасті та загальні константи нестійкості комплексних сполук.
2. Розрахунки концентрації іонів комплексоутворювача і лігандів за константою нестійкості.
3. Використання комплексоутворення та дисоціації комплексних сполук в аналізі.
4. Переваги використання органічних реагентів у аналізі порівняно з неорганічними. Внутрішньокмлексні сполуки. Комплексокси.
5. Шоста аналітична група катіонів. Характерні реакції катіонів VI аналітичної групи.
6. Хід аналізу суміші катіонів VI аналітичної групи.

II. Практична частина:

Характерні реакції катіонів VI аналітичної групи.

III. Письмовий контроль знань із тем:

„Дисоціація комплексних сполук”. „Утворення та руйнування комплексних сполук”. „Характерні реакції катіонів VI групи”. „Хід аналізу суміші катіонів VI аналітичної групи”.

IV. Експериментальна контрольна робота з теми:

„Аналіз суміші катіонів IV–VI аналітичних груп”.

1. Співбесіда.
2. Виконання експериментальної контрольної роботи.

Домашнє завдання:

1. Самостійна робота:
 - 1.1. Робота з підручником: [1] Р. 3, §3.5, с. 191–200; с. 375–376. [1] Р. 5, §11, с. 350–374; [3] с. 112–124; [4] с. 238–299; [7] с. 60–69; [8, 9, 11, 12]. Допоміжна: [13–16; 22–30; 32; 35].
 - 1.2. Опрацювати лекційний матеріал [3] з тем: «Комплексні сполуки в аналізі» (лекція 9). «Якісний хімічний аналіз» (лекція 2).
 - 1.3. Самостійно опрацювати питання з лекції 9: «Праці вітчизняних та зарубіжних хіміків в галузі комплексних сполук», «Класифікації комплексних сполук», «Комплексні сполуки і подвійні солі».
 - 1.4. Повторити характерні реакції катіонів IV–VI аналітичних груп. Опанувати схему аналізу суміші катіонів IV–VI аналітичних груп.
 - 1.5. Засвоїти методику аналізу суміші катіонів IV–VI аналітичних груп (Додаток 2).
 - 1.6. Оформити таблицю «Деякі органічні реагенти, що використовуються в якісному аналізі для виявлення і маскуванню іонів».

Таблиця

Деякі органічні реагенти, що використовуються в якісному аналізі для виявлення і маскуванню іонів

Назва реагенту	Формула реагенту	Приклад ВКС і аналітичний ефект
8-Оксихінолін		
Дитизон		
Алізарин		
α -нітрозо β -нафтол		
Диметилгліоксим		
ЕДТА		

1.7. Оформити в зошиті практичну частину роботи: „Загальні й окремі характерні реакції катіонів VI аналітичної групи” відповідно до зразку та переліку реакцій.

Загальні характерні реакції катіонів VI аналітичної групи

Катіон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Загальні реакції катіонів VI аналітичної групи			
Ni^{2+}	NaOH Назва:		
Co^{2+}			
Cu^{2+}			
	Умови:		
Ni^{2+}	NH ₃ ·H ₂ O Назва:		В еквівалентній кількості: В концентрованому розчині:
Co^{2+}			В еквівалентній кількості: В концентрованому розчині:
Cu^{2+}			В еквівалентній кількості: В концентрованому розчині:

	Умови:
--	---------------

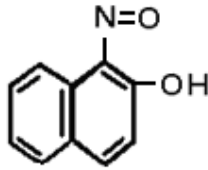
Окремі характерні реакції катіонів VI аналітичної групи

Катіон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		

Окремі реакції на Ni²⁺-катіон

Ni ²⁺	Реактив Чугаєва $ \begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} = \text{N} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} = \text{N} \\ \\ \text{OH} \end{array} $		
	Умови:		

Окремі реакції на Co²⁺-катіон:

Co ²⁺	NH ₄ SCN		
	Умови:		
	α-Нітрозо β-нафтол 		
Умови:			

Окремі реакції на Cu^{2+}-катіон:		
Cu^{2+}	$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ конц.	
	Умови:	
	$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	При недостатчі або еквівалентній кількості $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$:
		При надлишку реактиву $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$:
	Умови:	
	Fe	
	Умови:	
	$\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$	

Окремі реакції на Cd ²⁺ -катіон:			
Cd ²⁺	H ₂ S		
	Умови:		

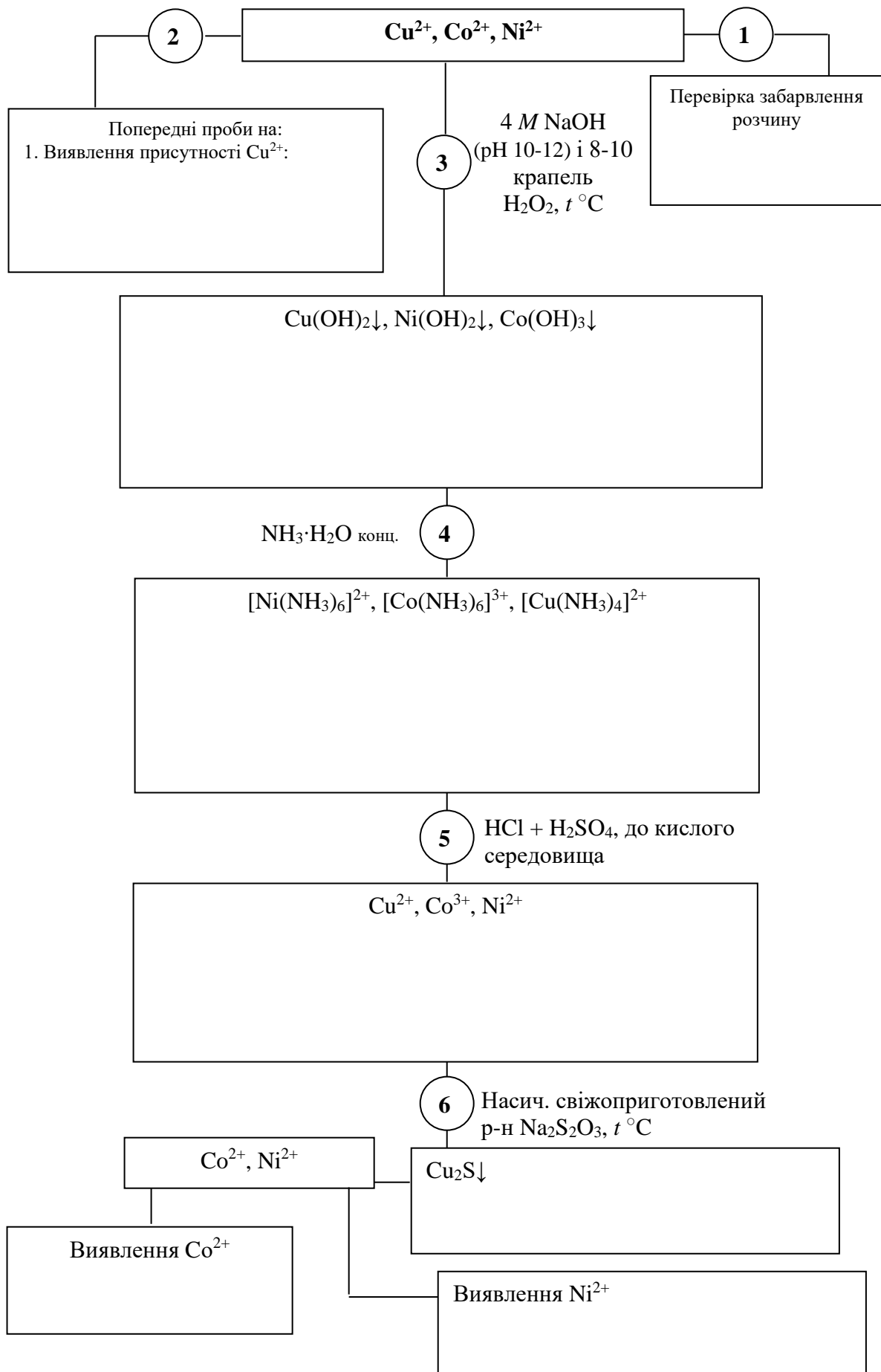
2. Самостійна індивідуальна робота:

2.1. Опанувати приклади розв'язування типових задач [4] з теми «Рівноваги в розчинах комплексних сполук».

2.2. Розв'язати задачі відповідного варіанту з теми: „Утворення та руйнування комплексних сполук”

№ варіанту	Збірник задач		№ варіанту	Збірник задач	
	[4]	[8]		[4]	[8]
1	1, 15	821(1)	8	8, 22	821(8)
2	2, 16	821(2)	9	9, 23	821(9)
3	3, 17	821(3)	10	10, 15	821(10)
4	4, 18	821(4)	11	11, 16	821(11)
5	5, 19	821(5)	12	12, 17	821(12)
6	6, 20	821(6)	13	13, 18	821(13)
7	7, 21	821(7)	14	14, 19	821(14)

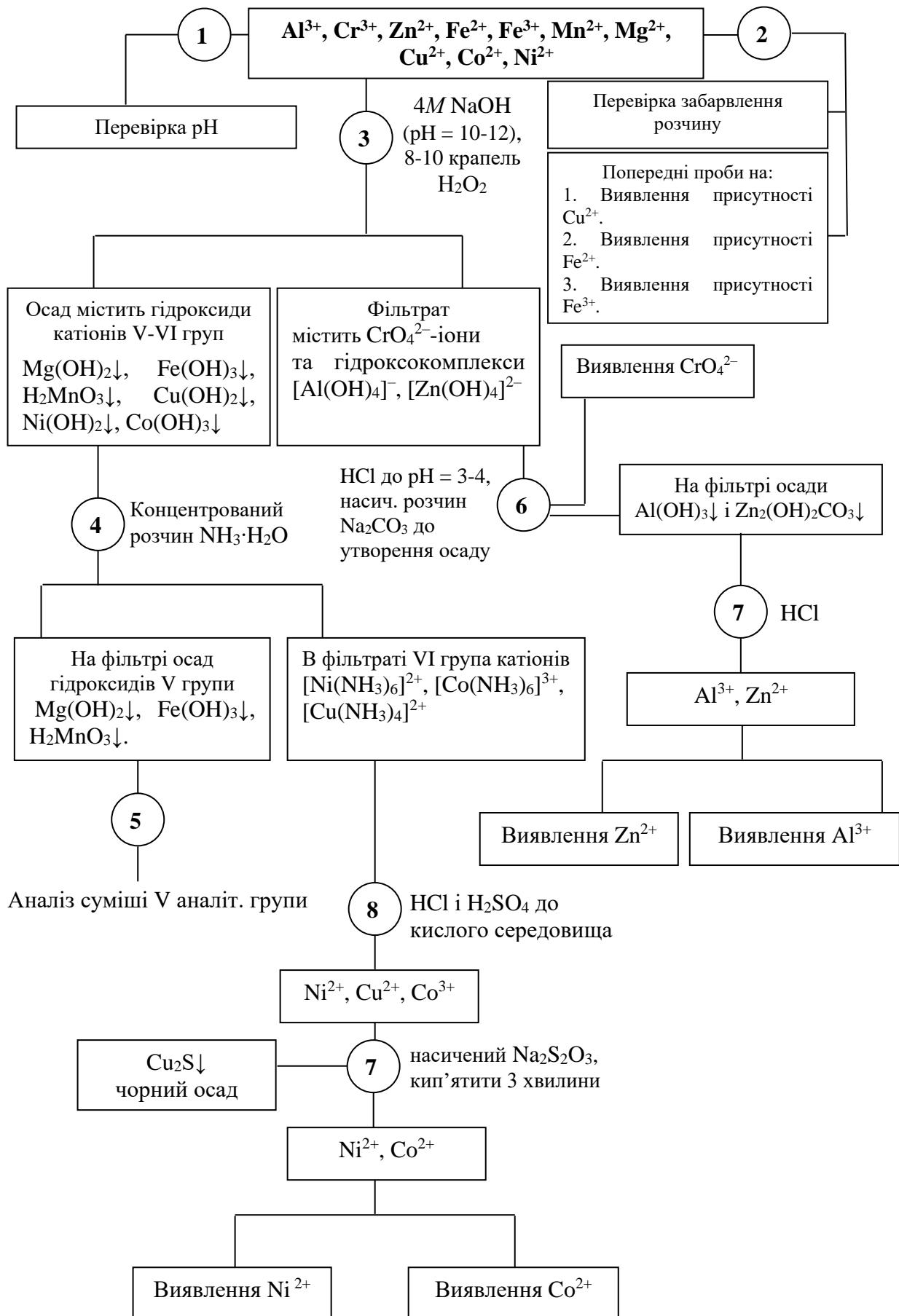
1.8. Скласти схему систематичного ходу аналізу суміші катіонів VI аналітичної групи.



**ПИТАННЯ З ДОПУСКУ ДО ВИКОНАННЯ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ №2
«АНАЛІЗ СУМІШІ КАТІОНІВ IV-VI АНАЛІТИЧНИХ ГРУП»**

1. Записати всі катіони, які відносяться до IV, V і VI аналітичних груп та груповий реагент до кожної з груп.
2. Яке припущення можна зробити, якщо забарвлення контрольного розчину рожеве?
3. Яке припущення можна зробити, якщо забарвлення контрольного розчину блакитне?
4. Як попередньо виявити Fe^{2+} -іон (рівняння, аналітичний ефект)?
5. Як попередньо виявити Cu^{2+} -іон (рівняння, аналітичний ефект)?
6. Як попередньо виявити Fe^{3+} -іон (рівняння, аналітичний ефект)?
7. Яким реагентом відокремлюють IV групу катіонів від V і VI груп?
8. У вигляді яких сполук IV група залишиться у розчині? Запишіть формули сполук.
9. У вигляді яких сполук будуть на фільтрі V і VI групи катіонів?
10. Яким реагентом розділяють V і VI групи катіонів?
11. У вигляді яких сполук перейде в розчин VI група катіонів?
12. **Аналіз суміші IV групи катіонів.** Яким реагентом відокремлюють CrO_4^{2-} -іони від іонів Al^{3+} і Zn^{2+} ?
13. Записати рівняння якісної реакції відкриття CrO_4^{2-} -іона;
14. У вигляді яких сполук будуть на фільтрі іони Al^{3+} і Zn^{2+} після відокремлення їх від хромат-іонів?
15. Яким реагентом розчиняємо осаді Алюмінію і Цинку на фільтрі?
16. Записати рівняння якісної реакції відкриття катіону Al^{3+} дією алізарину в окремому розчині (структурні формули алізарину і внутрішньокмлексної сполуки (ВКС)).
17. Яким органічним реагентом, у якому середовищі проводять відкриття катіону Zn^{2+} ? Який аналітичний ефект при цьому спостерігається? Записати структурну формулу реагента.
18. **Аналіз суміші V групи катіонів** (Осад V групи катіонів на фільтрі). Яким реагентом розчинити $\text{Mg}(\text{OH})_2$. Записати рівняння реакції в іонно-молекулярному вигляді.
19. Записати рівняння якісної реакції відкриття катіону Mg^{2+} у фільтраті і аналітичний ефект.
20. Яким реагентом розчиняємо $\text{Fe}(\text{OH})_3$?
21. Записати рівняння якісної реакції відкриття катіону Fe^{3+} і аналітичний ефект.
22. У вигляді якої сполуки і якого кольору на фільтрі залишиться Манган?
23. **Аналіз суміші VI групи катіонів.** Яким реагентом руйнуємо амоніачні комплекси катіонів VI групи?
24. Які продукти можуть утворюватися під час взаємодії Cu^{2+} з $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ і яке їх забарвлення?
25. Яким реагентом відокремлюють Cu^{2+} від катіонів Ni^{2+} і Co^{2+} при систематичному аналізі?
26. Записати рівняння якісної реакції відкриття катіону кобальту(II) дією амоній тїоціанату. Вказати аналітичний ефект.
27. Записати структурну формулу внутрішньокмлексної сполуки Ni^{2+} з диметилглюксимом. У якому середовищі отримують ВКС? Вказати аналітичний ефект.

Схема аналізу суміші катіонів IV–VI аналітичних груп



**ОФОРМЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ
 „АНАЛІЗ СУМІШІ КАТІОНІВ ІV–VI АНАЛІТИЧНИХ ГРУП”**

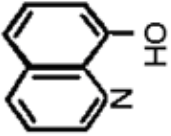
Номер виданого розчину: _____ Дата: _____

№	Об'єкт аналізу	Операція, що проводиться	Реактив, яким діємо, та умови проведення операції	Ефект, що спостерігається	Рівняння реакції в йонно-молекулярному виді	Висновок
1	2	3	4	5	6	7
1	Контрольний розчин перемішуємо					
2	Контрольний розчин	Спостерігаємо забарвлення	Попередні	вищробування		
3	Контрольний розчин	Визначення рН	Універсальний індикаторний папір			

1	2	3	4	5	6	7
4	Окрема порція контрольного розчину	Відкриваємо Fe^{2+} -іони	Розчин $K_3[Fe(CN)_6]$			
5	Окрема порція контрольного розчину	Відкриваємо Fe^{3+} -іони	Розчин $K_4[Fe(CN)_6]$			
	Окрема порція контрольного розчину	Cu^{2+} -іони	Розчин $K_4[Fe(CN)_6]$	катионів	IV аналітичної групи	
6	Контрольний розчин	Перемішуємо для одержання однорідної суміші	Відокремлення			
7	1/3 контрольного розчину	Розчинення осаду	$2M HNO_3$			

1	2	3	4	5	6	7
8	1/3 контроль-ного розчину після дії HNO_3	Осаджуємо гідроксиди V-VI груп	Осаджуємо гідроксиди додаванням по краплям 4 M NaOH (рН 10-12) і 8-10 крапель H_2O_2 . Ретельно перемішуємо та нагріваємо до повного видalenня надлишку H_2O_2 . Якщо після нагрівання бульбашки кисню не виділяються, то надлишок H_2O_2 видалено.			
9	1/3 контроль-ного розчину з осадом	Відокремлюємо осад від розчину	Фільтруємо			

1	2	3	4	5	6	7
10	Осад гідроксидів катіонів V–VI груп на фільтрі	Видаляємо домішки	Промиваємо водою	катіонів VI групи		
11	Осад гідроксидів катіонів V–VI груп на фільтрі	Відокремлюємо VI групу катіонів від V групи	Обробляємо осад конц розчином $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$			
12	Осад на фільтрі	Видаляємо домішки	Промиваємо водою			
13	Осад гідроксидів катіонів V групи на фільтрі	Розчиняємо $\text{Mg}(\text{OH})_2$	Аналіз Обробляємо осад конц розчином NH_4Cl	суміші	катіонів V групи	

	1	2	3	4	5	6
14	Фільтрат №3	Відкриття Mg^{2+} -іонів	1) $Na_2HPO_4 + NH_3 \cdot H_2O$ 2) оксигінолін $pH \Rightarrow$ 			
15	Осад гідроксидів катіонів V групи на фільтрі $(Fe(OH)_3, H_2MnO_3)$	Розчиняємо $Fe(OH)_3$	2. $M HNO_3$			
16	Осад на фільтрі	Видаляємо домішки	Промиваємо водою			
17	Фільтрат №4, окрема порція	Відкриття Fe^{3+} -іонів	$KSCN$ $K_4[Fe(CN)_6]$			

1	2	3	4	5	6
Аналіз суміші катіонів IV аналітичної групи					
18	Фільтрат №1 Відокремлення SrO_4^{2-} -іонів від йонів Алюмінію і Цинку	НСІ до рН 3-4 і насичений р-н Na_2CO_3 до утворення осаду			
19	Осад на фільтрі $\text{Al}(\text{OH})_3$ і $\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$	НСІ			
20	Окрема порція фільтрату №6	Дитизон $\begin{array}{c} \text{NH-NH-C}_6\text{H}_5 \\ \\ \text{SC} \\ \\ \text{N=N-C}_6\text{H}_5 \end{array}$			

	1	2	3	4	5	6
21	Окрема порція фільтрату №6	Відкриття Al^{3+} -іонів	Алізарин в амоніачному середовищі. Умови: [1] с. 302 $C_{14}H_6O_2(OH)_2$			
22	Фільтрат №5	Відкриття CrO_4^{2-} -іонів	2 н. $H_2SO_4 + H_2O_2$ + ефір $BaCl_2$, нейтральне або слабкокислое середовище			
Аналіз суміші катіонів VI аналітичної групи						
23	Фільтрат №2	Руйнуємо комплекси	Додаємо $HCl + H_2SO_4$ до кислого середовища			
24	Фільтрат №2 (1/2 порції)	Відкриття та відокремлення Cu^{2+} -іонів	Насичений свіжо-приготовлений розчин $Na_2S_2O_3$, клятьяти 3 хв.			

	1	2	3	4	5	6
25	Фільтрат №2 з осадом (1/2 порції)	Відокремлюємо осад Cu_2S від розчину	Фільтруємо			
26	Окрема порція фільтрату №7	Визначення Co^{2+} -іонів	$\text{KSCN}_{\text{крисст.}}$ + ефір, перемішати			
27	Окрема порція фільтрату №7	Визначення Ni^{2+} -іонів	Диметилглюксим, $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_{\text{конц.}}$ (2-3 крапл.) $\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C}=\text{N} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C}=\text{N} \\ \\ \text{OH} \end{array}$			

Висновок: у контрольному розчині № ___ присутні катіони _____

Модульна контрольна робота №2 з тем:

- “Гідроліз солей”;
- “Окисно-відновні процеси в якісному аналізі”;
- “Утворення та руйнування комплексних сполук”.

*Зразок завдань до модульної контрольної роботи №2
з тем: „Гідроліз солей”, „Окисно-відновні процеси”,
„Утворення та руйнування комплексних сполук”*

I. Теоретичний матеріал.

Вивести робочу формулу для розрахунку константи і ступеня гідролізу солі, утвореної слабкою основою і сильною кислотою.

II. Розв'язування задач.

1. Який ступінь гідролізу за першою стадією і рН розчину натрій оксалату з молярною концентрацією речовини $0,02 \text{ моль/дм}^3$?
 $K_{\text{дис.1}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 5,4 \cdot 10^{-2}$; $K_{\text{дис.2}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 5,0 \cdot 10^{-5}$.
2. Чи випаде осад, якщо до розчину комплексної солі натрій тіосульфатоаргентату(I) з молярною концентрацією речовини $0,2 \text{ моль/дм}^3$ додати рівний об'єм розчину калій йодиду з молярною концентрацією речовини $0,2 \text{ моль/дм}^3$?
 $K_{\text{нест.}}([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^{1-}) = 1,0 \cdot 10^{-13}$; $\text{ДР}(\text{AgI}) = 8,3 \cdot 10^{-17}$.
3. Скласти рівняння окисно-відновної реакції іонно-електронним методом:
 $\text{MnSO}_4 + \text{NaBiO}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{HMnO}_4 + \dots$
Написати іонно-молекулярне та молекулярне рівняння реакції.
Вказати аналітичний ефект.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №6

Тема: „Характерні реакції аніонів першої, другої та третьої аналітичних груп”.
„Аналіз суміші аніонів”

Мета: вивчити характерні реакції аніонів I–III аналітичних груп, перевірити знання характерних реакцій аніонів I–III аналітичних груп, уміння аналізувати суміші аніонів.

Навчально-лабораторне обладнання і реактиви: таблиця перетворення дифеніламіну, штатив з набором реактивів, штатив з пробірками, промивалка, тримач пробірок, лійка, скляна паличка, предметне скельце, водяна баня, електроплитка, пісчана баня, мікроскоп, фільтрувальний папір, універсальний індикаторний папірець, ножиці, банка для зливання.

План заняття

I. Перевірка знань теоретичного матеріалу:

1. Особливості якісного аналізу аніонів.
2. Класифікації аніонів.

1. Особливості якісного аналізу аніонів у порівнянні з якісним аналізом катіонів

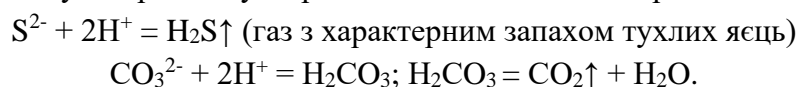
Якісний аналіз аніонів відрізняється від аналізу катіонів і має певні особливості.

Перша особливість якісного аналізу аніонів полягає в тому, що єдиний поділ аніонів на аналітичні групи відсутній. Якщо розділення катіонів на п'ять аналітичних груп в сульфідній класифікації і на шість аналітичних груп в кислотно-основній класифікації являється загальноприйнятим, то класифікації аніонів дуже багато. Різними авторами запропоновані різні системи класифікації аніонів; вони, як правило, вельми складні, важкі для запам'ятовування і не завжди дозволяють провести різке розмежування між окремими групами.

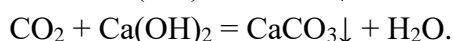
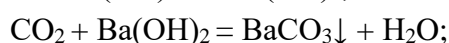
Друга особливість у тому, що немає єдиного систематичного ходу аналізу аніонів. На відміну від катіонів, де існує єдиний систематичний хід аналізу, аніони, як правило, можна виявити дробним методом, тобто в окремих порціях досліджуваного розчину в присутності інших аніонів за допомогою специфічних або вибіркового реакцій. Деякі групи аніонів (суміш Cl^- , Br^- , I^- -іонів; SO_3^{2-} , SO_4^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, CO_3^{2-} -іони) потрібно все ж аналізувати систематично (тобто в певній послідовності), попередньо усуваючи заважаючі аніони.

Третя особливість якісного аналізу аніонів полягає у функції групового реагенту. Під час аналізу катіонів груповий реагент виконує дві функції – функцію виявлення присутності катіонів даної групи і функцію відокремлення катіонів цієї групи. При аналізі аніонів групові реагенти застосовуються для виявлення присутності аніонів даної групи.

Четверта особливість якісного аналізу аніонів – в характерних і специфічних реакціях, які використовують для виявлення аніонів. Поряд з окисно-відновними реакціями і реакціями утворення малорозчинних сполук з характерними властивостями, які використовують для виявлення як катіонів, так і аніонів, для виявлення аніонів широко використовують реакції утворення летких кислот. Наприклад:



Газоподібний карбон діоксид, що виділяється, пропускають крізь баритову чи вапняну воду (насичені розчини $\text{Ba}(\text{OH})_2$ чи $\text{Ca}(\text{OH})_2$, відповідно), розчини мутніють:



П'ята особливість аналізу аніонів – в приготуванні розчину для аналізу з досліджуваного об'єкта. Для відкриття катіонів, як правило, проводиться кислотна обробка об'єкта, який досліджують (HCl ; HNO_3 , царською горілкою – суміш $\text{HCl}_{\text{конц.}}$: $\text{HNO}_{3\text{конц.}}$ = 3:1). При виявленні аніонів розчинення в кислотах не рекомендується з таких причин:

1. При розчиненні об'єкта, що аналізують, в кислотах можуть бути втрачені деякі аніони, що переходять в кислому середовищі в нестійкі і леткі кислоти (див. вище вказані рівняння реакцій).

2. Деякі аніони можуть бути втрачені при розчиненні в кислоті у зв'язку з тим, що в кислому середовищі між аніонами починають протікати окисно-відновні реакції, не характерні для лужного середовища. Наприклад, в лужному середовищі порівняно довго існують сульфат-аніони (SO_3^{2-}) і сульфід-аніони (S^{2-}) тобто солі Na_2SO_3 і Na_2S не реагують між собою. Але у кислому середовищі відбувається реакція:



Той з аніонів, який знаходиться у вихідній суміші в меншій кількості, в кислому середовищі буде повністю втрачений. Якщо обидва аніони були взяті приблизно в еквівалентних кількостях, то практично обидва будуть втрачені.

Для виявлення аніонів з об'єкту, що аналізують, готують содову витяжку. Для цього його кип'ятять з розчином соди (Na_2CO_3). При цьому аніони, що входять до складу досліджуваного об'єкту, переходять у розчин, а більшість катіонів (катіони II–VI групи) переходять в осад у вигляді основних карбонатів ($\text{Mg}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$), середніх карбонатів (CaCO_3 , SrCO_3 , BaCO_3) і гідроксидів ($\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Cr}(\text{OH})_3$, $\text{Ti}(\text{OH})_4$). Потім содову витяжку нейтралізують. Частина розчину нейтралізують ацетатною кислотою (CH_3COOH), в цій порції виявляємо всі аніони, за винятком ацетат-іона; у другій порції розчину, нейтралізуючи її сульфатною або нітратною кислотами, відкриваємо ацетат-іон. Содова витяжка практично не містить катіонів важких металів. Це дуже зручно для аналізу аніонів, тому що більшість катіонів важких металів забарвлені, і можуть давати осад з рядом аніонів. Випробування на карбонат-іон проводяться в окремій порції вихідного досліджуваного об'єкту.

2. Класифікації аніонів

Кількість аніонів, що зустрічаються в аналітичній практиці, велика, особливо якщо врахувати і аніони ряду органічних кислот (ацетатної, тартратної та ін.) (CH_3COO^- ; $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6^{2-}$), солі яких зустрічаються в неорганічному аналізі. Тому аніони, також як і катіони, класифікують по групах, для зручності аналізу їх властивостей, для зручності їх запам'ятовування, щоб мати можливість встановлювати наявність чи відсутність даної групи аніонів в розчині. Як вже зазначалося раніше, єдиної загальноприйнятої класифікації аніонів немає. Найбільш розповсюдженими являються класифікації аніонів за розчинністю солей Барію і Аргентуму, а також класифікація аніонів, яка заснована на їх окисно-відновних властивостях.

2.1. Класифікація аніонів за розчинністю солей Барію і Аргентуму

Дана класифікація запропонована Бунзенем. Вона заснована на обмінних реакціях з солями Барію і Аргентуму. В цій класифікації всі аніони поділяються на три групи (табл. 1).

Таблиця 1

Класифікація аніонів за розчинністю солей Барію і Аргентуму

№ групи	Груповий реагент	Аніони групи	Загальна характеристика групи
I	BaCl_2 або $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ в нейтральному або слабколужному середовищі	SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , CrO_4^{2-} , CO_3^{2-} , SO_3^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, SiO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, AsO_4^{3-} , AsO_3^{3-} , F^- .	Барієві солі малорозчинні у воді, але розчиняються в розбавлених мінеральних кислотах (за винятком BaSO_4).
II	AgNO_3 в присутності розбавленої нітратної кислоти (HNO_3)	Cl^- , Br^- , I^- , CN^- , S^{2-} , SCN^- , ClO^- , $\text{C}_6\text{H}_5\text{COO}^-$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$.	Солі Аргентуму малорозчинні у воді і розбавленій HNO_3 (виняток Ag_2S , який розчиняється в HNO_3 при нагріванні).
III	Групового реагенту немає	NO_3^- , NO_2^- , MnO_4^- , CH_3COO^- , ClO_4^- , BrO_3^- .	Солі Барію і Аргентуму розчинні у воді.

Груповий реагент використовується для знаходження присутності аніонів даної групи, а не для їх осадження.

2.2. Класифікація аніонів за розчинністю солей Барію

Поряд з класифікацією Бунзена, є модифікація цієї класифікації. Вона заснована на розчинності солей Барію. В цій класифікації аніони поділяються на дві групи.

Таблиця 2

Класифікація аніонів за розчинністю солей Барію

№ групи	Груповий реагент	Аніони групи	Загальна характеристика групи
I	–	Cl^- , Br^- , I^- , CN^- , S^{2-} , SCN^- , NO_3^- , CH_3COO^- , NO_2^- , $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$, $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$.	Солі Барію розчинні у воді.
II	BaCl_2	SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , CrO_4^{2-} , CO_3^{2-} , SO_3^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, SiO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, AsO_4^{3-} , AsO_3^{3-} , F^- .	Аніони, що утворюють солі Барію, які малорозчинні у воді.

2.3. Класифікація аніонів за окисно-відновними властивостями

Поряд з цими класифікаціями аніонів, існує класифікація за окисно-відновними властивостями, яка запропонована вченим-хіміком М. О. Тананасвим. В цій класифікації аніони поділяють на три групи: аніони-окисники, аніони-відновники та аніони, що не проявляють окисно-відновних властивостей в слабко кислому середовищі.

Таблиця 3

Класифікація аніонів за окисно-відновними властивостями

№ групи	Груповий реагент	Аніони групи	Загальна характеристика групи
I	1) Розчин KI в кислому середовищі; 2) Розчин дифеніламіну в конц. H_2SO_4	MnO_4^- , CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, NO_3^- , NO_2^- , ClO^- , ClO_3^- , ClO_4^- , SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$.	Аніони окисники 1) Аніони окиснюють йодид-іони в кислому середовищі до вільного йоду; 2) Аніони забарвлюють дифеніламін в синьо-фіолетовий колір.
II	0,01 н. розчин KMnO_4 в сульфатно-кислому середовищі	$\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$, S^{2-} , Cl^- , Br^- , I^- , NO_2^- , $\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$, SO_3^{2-} .	Аніони відновники Аніони знебарвлюють розчин KMnO_4 (Cl^- -іони знебарвлюють тільки при нагріванні).
III	Групового реагенту немає	CH_3COO^- , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , SiO_3^{2-} , SO_4^{2-} .	Індиферентні аніони, тобто не проявляють окисно-відновних властивостей в слабкокислому середовищі.

Слід пам'ятати, що ця класифікація має багато винятків. Наприклад, нітрит- і сульфит-аніони можуть проявляти як окисні, так і відновні властивості в залежності від умов.

2.4. Класифікація аніонів за утворенням газуватих продуктів при дії сильних кислот

Таблиця 4

Аніони, що утворюють газуваті продукти при дії сильних кислот

Аніон, який знаходиться в розчині	Газ або пари, що виділяються (продукт)	Способи виявлення
CO_3^{2-} , HCO_3^-	CO_2	Помутніння вапнякової води
SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	SO_2	Запах палаючої сірки
NO_2^-	NO_2	Червоно-бурий газ
S^{2-} , SO_3^{2-} , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	H_2S	Запах тухлих яєць
CH_3COO^-	CH_3COOH	Запах оцту
Br^- (з окисником)	Br_2	Червоно-бурі пари
Cl^-	Cl_2	Задущливий газ, помутніння розчину AgNO_3

II. Практична частина:

Характерні реакції аніонів I–III аналітичних груп.

III. Письмовий контроль знань із теми:

„Характерні реакції аніонів I–III аналітичних груп”.

IV. Експериментальна контрольна робота з теми:

„Аналіз суміші аніонів I–III аналітичних груп”.

Домашнє завдання:

1. Самостійна робота:

- 1.1. Робота з підручником: [1] Р. 3, § 14–16, с. 383–412; § 17, с. 414–418; [3] с. 21–37.
- 1.2. Опрацювати лекційний матеріал [3] з теми: «Якісний хімічний аналіз» (лекція 2).
- 1.3. Самостійно опрацювати питання з лекції 2: «Якісний аналіз аніонів».
- 1.4. Оформити в зошиті практичну частину роботи „Характерні реакції аніонів I–III аналітичних груп”.
- 1.5. Опанувати схему ходу аналізу суміші аніонів I–III аналітичних груп.
- 1.6. Самостійно опрацювати метод розробку «Якісний аналіз аніонів».
- 1.7. Оформити в зошиті звіт до експериментальної роботи „Аналіз суміші аніонів I–III аналітичних груп”

Загальні характерні реакції I аналітичної групи аніонів

Аніон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Загальні реакції аніонів I аналітичної групи			

SO_4^{2-}	BaCl ₂ Назва:		
SO_3^{2-}			
CO_3^{2-}			
PO_4^{3-}			
SiO_3^{2-}			
	Умови:		

Окремі характерні реакції I аналітичної групи аніонів

Аніон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Окремі реакції на SO_4^{2-}-аніон			
SO_4^{2-}	Pb ²⁺		
	Умови:		
	Ba ²⁺		
	Умови:		
Окремі реакції на CO_3^{2-}-аніон:			
CO_3^{2-}	HCl		

	Умови:	
Окремі реакції на SO_3^{2-}-аніон:		
SO_3^{2-}	H_2SO_4	
	Умови:	
	I_2	
	Умови:	
	Br_2	
	Умови:	
	KMnO_4	

Окремі реакції на PO₄³⁻-аніон:			
PO₄³⁻	дія магнезійної суміші (суміш MgCl ₂ + NH ₃ ·H ₂ O + NH ₄ Cl)		
	Умови:		
	(NH ₄) ₂ MoO ₄		
	Умови:		
	Ba ²⁺		
	Умови:		
	Ag ¹⁺		
	Умови:		
	Pb ²⁺		

	Умови:		
Окремі реакції на SiO_3^{2-} -аніон:			
SiO_3^{2-}	Гідроліз іону у присутності NH_4Cl		
	Умови:		
	HCl		
	Умови:		

Загальні характерні реакції II аналітичної групи аніонів

Аніон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Загальні реакції аніонів II аналітичної групи			
Cl^-	AgNO_3 Назва:		
Br^-			
I^-			
S^{2-}			

	Умови:
--	---------------

Окремі характерні реакції II аналітичної групи аніонів

Аніон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		

Окремі реакції на Cl⁻-аніон

Cl ⁻	PbO ₂		
	Умови:		
	MnO ₂		
	Умови:		
	H ₂ SO ₄ (конц.)		
Умови:			

Окремі реакції на Br⁻-аніон:

Br ⁻	Cl ₂		
	Умови:		

	KMnO_4		
	Умови:		
	Ag^+		
	Умови:		
Окремі реакції на I^--аніон:			
	Cl_2		
	Умови:		
	KMnO_4		
Умови:			
Окремі реакції на S^{2-}-аніон:			
S^{2-}	HCl		

Умови:			
Cd^{2+}			
Умови:			
Ag^{1+}			
Умови:			
Pb^{2+}			
Умови:			

Окремі характерні реакції III аналітичної групи аніонів

Аніон	Аналітичний реагент	Спостереження	Рівняння реакції у іонно-молекулярному вигляді
	Назва аналітичного реагенту		
Окремі реакції на NO_3^--аніон			

NO ₃ ⁻	H ₂ SO ₄ (конц.) + Cu		
	Умови:		
	Al або Zn (сильнолужне середовище)		
	Умови:		
	FeSO ₄ + H ₂ SO ₄ (конц.)		
	Умови:		
	C ₆ H ₅ -NH-C ₆ H ₅		Прописати окиснення дифеніламіну
Умови:			
Окремі реакції на NO₂⁻-аніон:			
NO ₂ ⁻	KI		
	Умови:		

	H_2SO_4 (конц.) або H_2SO_4 (розв.)		
	Умови:		
	$\text{C}_6\text{H}_5\text{-NH-C}_6\text{H}_5$		Прописати окиснення дифеніламіну
Умови:			
Окремі реакції на CH_3COO^--аніон:			
CH_3COO^-	H_2SO_4 (конц.)		
	Умови:		
	$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} +$ H_2SO_4		

	Умови:		
	FeCl ₃		
	Умови:		

АНАЛІЗ СУМІШІ АНІОНІВ

Для аналізу беруть приблизно 30 крапель (1,5 см³) досліджуваного розчину. Іншу частину розчину зберігають до закінчення дослідження.

Попередні дослідження

1. **Проба на аніони першої групи.** До 4-5 крапель нейтрального або слабколужного розчину додають стільки ж розчину барій дихлориду або барій динітрату. Утворення осаду свідчить про присутність аніонів першої групи.

2. **Проба на аніони другої групи.** До 4-5 крапель досліджуваного розчину додають стільки ж розчину нітратної кислоти й аргентум нітрату. Утворення осаду свідчить про присутність аніонів другої групи.

3. **Перевірка реакції розчину суміші аніонів універсальним індикатором.** Якщо реакція розчину кисла і немає осаду, то в ньому відсутні карбонат-, сульфат(IV)-, силікат-, сульфід-, нітрат(III)-, ацетат-аніони.

4. **Проба на присутність аніонів-окисників.** До 5-6 крапель досліджуваного розчину додають декілька крапель 2 н. розчину сульфатної кислоти і 2-3 краплі розчину калій йодиду. Виділення вільного йоду свідчить про наявність у розчині нітрат(III)-аніону (окисника).

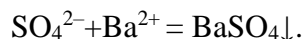
5. **Проба на присутність аніонів-відновників.** До 5-6 крапель досліджуваного розчину додають 2 краплі 2 н. розчину сульфатної кислоти і 2-3 краплі розведеного розчину калій перманганату. Якщо при цьому калій перманганат знебарвлюється, то в розчині можуть бути сульфат(IV)-, нітрат(III)-, сульфід-, йодид-, бромід-аніони (відновники) і можливо хлорид-аніон.

6. **Проба на виділення газів.** До 3-4 крапель досліджуваного розчину додають 3 краплі 2 н. розчину сульфатної кислоти і злегка струшують пробірку. Якщо виділення газу не помітно, то злегка нагрівають розчин. Виділення пухирців газу вказує на можливу присутність карбонат-, сульфат(IV)-, сульфід-, нітрат(III)-аніонів. За властивостями газів карбон діоксиду, сульфур діоксиду, дигідроген сульфїду, нітроген діоксиду (запах, колір) встановлюють їх можливий склад.

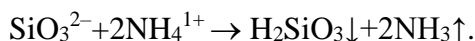
На підставі попередніх досліджень роблять висновок про те, які аніони можуть бути в розчині. Після цього розпочинають їх виявлення.

Виявлення окремих аніонів дробним методом

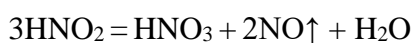
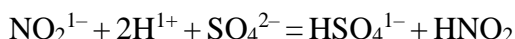
1. **Виявлення сульфат-аніону.** Сульфат(VI)-аніон відкривають у окремій пробі досліджуваного розчину дією барій дихлориду або барій динітрату в кислому середовищі (2-3 краплі 2 M розчину хлоридної або нітратної кислоти). Утворення білого дрібнокристалічного осаду свідчить про наявність сульфат-аніону:



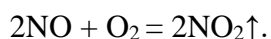
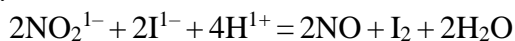
2. **Виявлення силікат-аніону.** Силікат-аніон виявляють в окремій пробі досліджуваного розчину дією амоній хлориду при нагріванні. Утворення білого драглистого осаду підтверджує наявність у розчині силікат-аніону:



3. **Виявлення нітрат(III)-аніону.** Нітрат(III)-аніон відкривають в окремих пробах розчину дією кислот (виділення бурого газу):

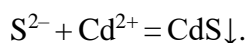


або калій йодидом:

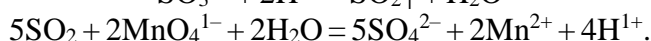
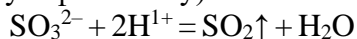


Утворення вільного йоду та бурого газу свідчить про наявність нітрат(III)-аніону.

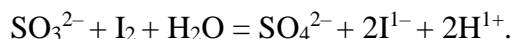
4. **Виявлення сульфід-аніону.** Сульфід-аніон відкривають в окремій порції розчину діючи розчином кадмій динітрату. Утворення жовтого осаду свідчить про наявність сульфід-аніону.



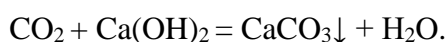
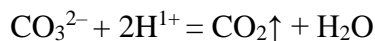
5. **Виявлення сульфат(IV)-аніону.** Сульфат(IV)-аніон при відсутності сульфід- і нітрат(III)-аніонів відкривають в окремій порції розчину дією сульфатної кислоти (при нагріванні). Газ, що виділяється, пропускають крізь розчин калій перманганату, підкислений сульфатною кислотою. Знебарвлення калій манганату(VII) свідчить про наявність сульфат(IV)-аніону (сульфіт-аніону).



Якщо в розчині присутній нітрат(III)-аніон, то сульфат(IV)-аніон осаджують барій-іоном. Із цією метою до 4 крапель досліджуваного розчину додають 4 краплі розчину барій дихлориду. Отриманий осад барій сульфату(IV) відфільтровують, розчиняють у хлоридній кислоті. Газ, що виділяється, досліджують на наявність сульфур диоксиду. У присутності сульфід-аніону останній осаджують Cd^{2+} -іоном, перевіряють на повноту осадження, відфільтровують і у фільтраті виявляють сульфат(IV)-аніон дією йоду. Знебарвлення йоду доводить наявність сульфат(IV)-аніону:

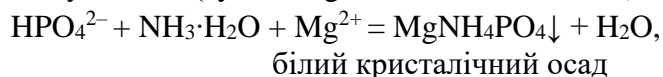


6. **Виявлення карбонат-аніону.** Карбонат-аніон відкривають в окремій порції розчину дією 2 M розчину хлоридної кислоти. Виділений газ карбон диоксид виявляють за допомогою вапняної або баритової води. Утворення каламуті підтверджує наявність карбонат-аніону.

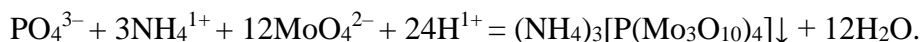


Якщо в розчині присутні сульфат(IV)-аніон і сульфід-аніон, то їх попередньо окиснюють: сульфат(IV)-аніон в сульфат-аніон, а сульфід-аніон до вільної сірки. Для цього до досліджуваного розчину додають 8% розчин дигідроген пероксиду і нагрівають на водяній бані. Після цього розчин досліджують на наявність карбонат-аніону.

7. **Виявлення фосфат-аніону.** Фосфат-аніон відкривають в окремій пробі розчину магnezіальною сумішшю (суміш $\text{MgCl}_2 + \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{Cl}$):



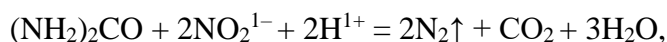
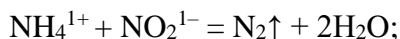
або молібденовою рідиною (розчин діамоній молібдату(VI) у нітратній(V) кислоті) при нагріванні:



Утворюється жовтий кристалічний осад триамоній тетракіс(тримолібдато)фосфату.

Якщо в досліджуваному розчині присутні аніони другої групи і сульфат(IV)-аніон, то до 5-6 крапель досліджуваного розчину додають такий же об'єм розчину барій дихлориду. Осад відфільтровують, промивають водою і розчиняють його на фільтрі 2 М розчином хлоридної кислоти. Одержаний кислий розчин нейтралізують амоній гідроксидом і відкривають фосфат-аніон магnezіальною сумішшю або молібденовою рідиною.

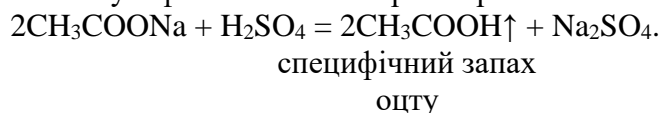
8. **Виявлення нітрат-аніону.** Якщо нітрат(III)-аніон (нітрит-аніон) відсутній у розчині, то нітрат-аніон відкривають дифеніламіном і спостерігають інтенсивне синє забарвлення. У присутності нітрат(III)-аніону останній відновлюють до азоту амоній хлоридом або сечовиною $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ при нагріванні:



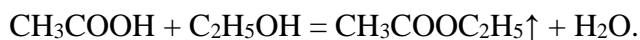
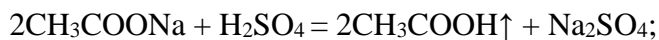
а потім у цьому розчині виявляють нітрат-аніон дифеніламіном.

9. **Виявлення ацетат-аніону.** Ацетат-аніони відкривають в окремих пробах розчину:

а) дією концентрованої сульфатної кислоти при нагріванні:

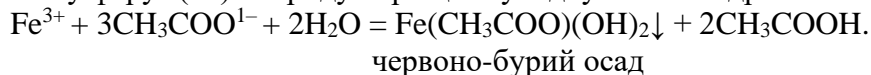


б) додаванням спирту в присутності концентрованої сульфатної кислоти при нагріванні:



Етилацетат розпізнають за запахом.

в) дією розчину ферум(III) хлориду. При цьому відбувається гідроліз:



Гідроліз посилюють розбавленням розчину водою і нагріванням. Відкриттю ацетат-іонів цією реакцією заважають карбонат-, йодид-, сульфат(IV)-, фосфат-, сульфід-аніони. Їх необхідно осадити розчином барій дихлориду та аргентум нітрату.

Аналіз суміші хлорид-, бромід- та йодид-аніонів

Методи аналізу суміші хлорид-, бромід- та йодид-аніонів можна поділити на дві основні групи.

1. *Методи, які засновані на відмінностях відновних властивостей цих аніонів.*

2. *Методи, які засновані на різній розчинності солей аргентум хлориду, аргентум броміду, аргентум йодиду в розчині діамоній карбонату та амоній гідроксиду.*

У кожному з цих методів є різні варіанти.

Частіше застосовують методи, які засновані на відмінностях відновних властивостей цих аніонів. Розглянемо один із них.

***Метод аналізу суміші хлорид-, бромід- та йодид-аніонів,
який заснований на відмінностях відновних властивостей цих аніонів***

До розчину, в якому можливо присутні хлорид-, бромід- та йодид-аніони, додають ацетатну буферну суміш ($\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}$) ($\text{pH} = 5-6$) і розчин калій манганату(VII) з масовою часткою речовини KMnO_4 1%. При цьому здійснюється миттєве окиснення йодид-іону, яке призводить до виділення вільного йоду. До цього розчину додають $0,5 \text{ см}^3$ бензену. Суміш енергійно перемішують і спостерігають забарвлення шару бензену після відстоювання. Якщо бензен забарвлюється у фіолетовий колір, то йодид-аніон присутній.

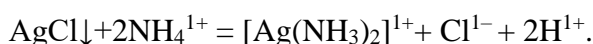
Екстракт відділяють, а водну фазу перевіряють на повноту виділення йоду. Внаслідок різниці окисно-відновних потенціалів окиснення бромід- і хлорид-аніонів у даних умовах не відбувається.

Якщо збільшити концентрацію гідроген-іонів, то буде проходити окиснення бромід-аніонів. Для відкриття бромід-аніону до досліджуваної суміші після екстракції йоду бенzenом додають 2 M розчин сульфатної кислоти до $\text{pH} = 3$. Для повного окиснення бромід-аніону розчин необхідно прокип'ятити (при цьому не відбувається помітного окиснення хлорид-аніону). Вільний бром, який виділився, також екстрагують бенzenом. Якщо бензен забарвлюється у коричневий або жовтогарячий колір, бромід-аніон присутній. Відкриття хлорид-аніону проводять після повного видалення бромід-аніонів із розчину.

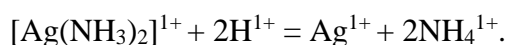
Для відкриття хлорид-аніону надлишок калій манганату(VII) знебарвлюють декількома краплями розчину натрій сульфату(IV). Якщо при цьому утворюється осад манган діоксиду, його відфільтровують і в отриманому фільтраті відкривають хлорид-аніон дією розчину аргентум нітрату.

***Метод аналізу суміші хлорид-, бромід- та йодид-аніонів,
який заснований на різній розчинності солей аргентум хлориду, аргентум броміду
та аргентум йодиду***

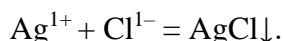
До досліджуваного розчину додають 2 M розчин нітратної кислоти до кислої реакції і аргентум(I) нітрат до повного осадження. Одержаний осад (аргентум хлориду, аргентум броміду, аргентум йодиду) відфільтровують і на фільтрі обливають 10–15% розчином діамоній карбонату ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$). Осад аргентум хлориду розчиняється у розчині діамоній карбонату з утворенням амоніачного комплексу, а осад аргентум броміду і аргентум йодиду не розчиняються і залишаються на фільтрі.



До одержаного розчину, який містить комплексні іони діамінаргентуму(I) та хлорид-аніони, додають розчин нітратної кислоти до кислої реакції для руйнування комплексного іону діамінаргентуму(I):



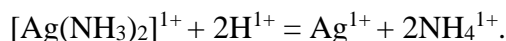
При наявності у розчині хлорид-аніону та аргентум(I) катіону спостерігають утворення білого осаду аргентум(I) хлориду:



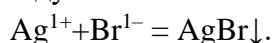
Осад аргентум броміду і аргентум йодиду на фільтрі обробляють концентрованим розчином амоній гідроксиду. При цьому осад аргентум(I) броміду розчиняється в розчині амоній гідроксиду з утворенням амоніачного комплексу, а осад аргентум йодиду не розчиняється і залишається на фільтрі.



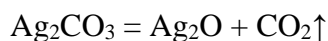
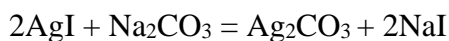
До одержаного розчину, який містить діамінаргентум(I)-іони та бромід-аніони, додають розчин нітратної кислоти до кислої реакції для руйнування комплексного катіону діамінаргентуму(I):



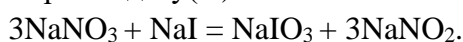
При наявності у розчині бромід-аніону та аргентум(I) катіону спостерігають утворення жовтуватого осаду аргентум(I) броміду:



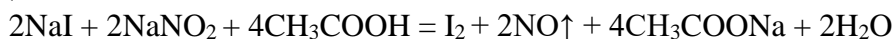
Осад аргентум йодиду, який не розчинився у розчині амоній гідроксиду, висушують і сплавляють із сумішню динатрій карбонату і натрій нітрату. При цьому проходять реакції:



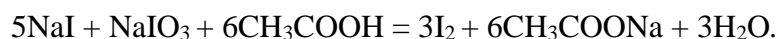
Можливе також утворення натрій йодату(V):



Сплавлену суміш розчиняють у воді, залишок відфільтровують. При підкисленні розчину ацетатною кислотою спостерігають виділення йоду внаслідок взаємодії йодид-аніону з нітрат(III)-аніоном:



або з йодат(V)-аніоном:



Якщо при підкисленні розчину ацетатною кислотою йод не виділяється, то йодид-аніон виявляють у такому розчині з натрій нітратом(III) або хлорною водою.

Аналіз суміші аніонів I–III аналітичних груп

№ етапу	Операція, що проводиться	Реактив, яким діємо, та умови проведення операції	Ефект, що спостерігається	Рівняння реакції в йонно-молекулярному вигляді	Висновок
Попередні дослідження					
1.	Проба на аніони першої групи	BaCl ₂ або Ba(NO ₃) ₂			
2.	Проба на аніони другої групи	AgNO ₃ в присутності розбавленої HNO ₃			
3.	Перевірка рН розчину	Універсальний індикаторний папірець			
4.	Проба на присутність аніонів-окисників	2 н. розчин H ₂ SO ₄ і декілька крапель KI			
5.	Проба на присутність аніонів-відновників	2 н. розчин H ₂ SO ₄ і KMnO ₄			
6.	Проба на виділення газів	2 н. розчин H ₂ SO ₄ (злегка струшують або нагрівають)			
Виявлення окремих аніонів дробним методом					
7.	Виявлення сульфат-аніону	BaCl ₂ або Ba(NO ₃) ₂ в кислому середовищі			
8.	Виявлення силікат-аніону	NH ₄ Cl при нагріванні			

9.	Виявлення нітрат(III)-аніону	Дією кислот або калій йодидом				
10.	Виявлення сульфід-аніону	$Cd(NO_3)_2$				
Виявлення сульфат(IV)-аніону						
11.	При відсутності сульфід- і нітрат(III)-аніонів	Дією H_2SO_4 (при нагріванні). Газ, що виділяється, пропускають крізь розчин $KMnO_4$.				
	Якщо в розчині присутній нітрат(III)-аніон	$BaCl_2$, осад $BaSO_3$ відфільтровують і розчиняють в HCl . Газ, що виділяється, досліджують на наявність SO_2 .				
12.	Якщо в розчині присутній сульфід-аніон	$Cd(NO_3)_2$. Осад CdS відфільтровують і у фільтраті виявляють сульфат(IV)-аніон дією йоду.				
	Виявлення карбонат-аніону	Дією $2 M HCl$. Виділений газ карбон діоксид виявляють за допомогою вапняної або баритової води				

	Якщо в розчині присутні сульфат(IV)-аніон і сульфід-аніон	8% розчин H_2O_2 і нагрівають на водяній бані. Після цього розчин досліджують на наявність карбонат-аніону. Магнезійна суміш ($MgCl_2 + NH_3 \cdot H_2O + NH_4Cl$).			
13.	Виявлення фосфат-аніону	Молібденова рідина (розчин діамоній молібдату(VI) у нітратній(V) кислоті при нагріванні).			
	Якщо в досліджуваному розчині присутні аніони другої групи і сульфат(IV)-аніон	$BaCl_2$ осад відфільтровують і розчиняють в 2 М НСІ. Одержаний кислий розчин нейтралізують $NH_3 \cdot H_2O$ і відкривають фосфат-аніон магnezіальною сумішшю або молібденовою рідиною.			
14.	Виявлення нітрат-аніону (при відсутності нітрат(III)-аніона)	Дифеніламін			

	Якщо в розчині присутній нітрат(III)-аніон	Нітрат(III)-аніон відновлюють до азоту амоній хлоридом або сечовиною $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ при нагріванні. Потім у цьому розчині виявляють нітрат-аніон дифеніламіном.			
		H_2SO_4 конц., при нагріванні.			
15.	Виявлення ацетат-аніону.	H_2SO_4 конц. і $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$			
		FeCl_3 Умови: розбавлення водою і нагрівання.			
	Відкриття ацетат-іонів цієї реакцією заважають карбонат-, йодид-, сульфат(IV)-, фосфат-, сульфід-аніони. Їх необхідно осадити розчином барій дихлориду та аргентум нітрату.				

Висновок: у контрольному розчині _____ присутні аніони _____.

ЛАБОРАТОРНЕ ЗАНЯТТЯ №7

Тема: „Якісний аналіз суміші солей”. „Загальні теоретичні основи аналітичної хімії”

Мета: засвоїти хід систематичного аналізу суміші солей сухих неорганічних речовин, контроль знань теоретичних основ аналітичної хімії, якісного аналізу різноманітних об'єктів.

Лабораторне обладнання і реактиви: штатив з набором реактивів, штатив з пробірками, промивалка, тримач пробірок, лійка, скляна паличка, предметне скельце, водяна баня, електроплитка, пісчана баня, мікроскоп, фільтрувальний папір, універсальний індикаторний папірець, ножиці, банка для зливання.

План заняття

I. Співбесіда:

1. Попередні дослідження.
2. Переведення суміші солей сухих речовин у розчин.
3. Якісний систематичний аналіз суміші катіонів I–VI аналітичних груп.
4. Визначення аніонів.

II. Практична частина:

Експериментальна контрольна робота з теми: ”Якісний аналіз суміші двох-трьох солей, розчинних у воді”.

III. Модульна контрольна робота №3 з тем:

„Загальні теоретичні основи аналітичної хімії”.
„Якісний аналіз катіонів та аніонів”.

Домашнє завдання:

1. Самостійна робота:
 - 1.1. Робота з підручником: [1] Р. 4, с. 419–431, [1], [3], [7].
 - 1.2. Повторити матеріал лекцій [3] із курсу „Загальні теоретичні основи аналітичної хімії”, „Якісний аналіз катіонів та аніонів”.
 - 1.3. Повторити питання: «Попередні дослідження», «Обробка проби з урахуванням перетворення її в придатну для визначення форму» з підручника [3], Додаток 1. Матеріали для самостійного опрацювання, с. 124.
 - 1.4. Опрацювати схему аналізу суміші катіонів I–VI аналітичних груп і аналіз суміші аніонів.
 - 1.5. Оформити в зошиті звіт до експериментальної роботи «Якісний аналіз суміші солей».

Аналіз речовин невідомого складу

Якісний аналіз речовин невідомого складу проводять поетапно в декілька стадій. Якщо не рахувати стадії відбору проби та підготовки її до аналізу, то можна виділити 3 етапи:

- попередні випробування зразка;
- систематичний аналіз катіонів;
- аналіз аніонів дробним методом.

Попередні випробування дозволяють виявити деякі елементи у пробі, а також відмітити деякі властивості, що непрямо вказують на присутність цих елементів.

В результаті попередніх випробувань встановлюють:

- зовнішній вигляд речовини (кристали, аморфний порошок і т.п.);
- колір речовини;
- наявність кристалізаційної води або розкладу речовини при нагріванні в тугоплавкій пробірці;
- колір полум'я при внесенні речовини в полум'я;
- розчинність у воді, кислотах, лугах (виділення газу);
- визначення рН розчину при розчиненні у воді (та гідролізі);
- визначення окисників (досліджуваний р-н + KI + H₂SO₄ \rightsquigarrow I₂);
- визначення відновників (досліджуваний р-н + KMnO₄ + H₂SO₄ \rightarrow Mn²⁺, знебарвлення розчину).

Систематичний аналіз на катіони починають з виявлення в окремих порціях досліджуваного розчину іонів NH₄⁺, Fe²⁺, Fe³⁺ та Mn²⁺ дробним методом. Потім виявляють груповими реагентами катіони II–VI груп (наступну групу виявляють тільки після осадження та відокремлення попередньої !!!).

Аналіз катіонів всередині кожної групи ведуть за схемами, згаданими раніше та детально описаними у відповідних підручниках та методичних вказівках.

Якщо в розчині є катіони II–VI аналітичних груп, то перед проведенням якісних реакцій на аніони ці катіони необхідно видалити, оскільки вони будуть заважати відкриттю аніонів. Для цього порцію досліджуваного розчину кип'ятять з розчином соди Na₂CO₃. При цьому проходить осадження катіонів всіх "важких" металічних елементів у вигляді карбонатів і гідроксидів, а аніони залишаються в розчині як добре розчинні солі Натрію, де вони можуть бути легко виявлені дробним методом.

Попередні дослідження суміші солей у сухому стані

Суміш у сухому стані спочатку уважно розглядають неозброєним оком, а потім – за допомогою мікроскопа або лупи. Оцінюють зовнішній вигляд, колір і запах.

У твердому стані речовини можуть мати кристалічну, аморфну або порошкоподібну структуру. Важливо звернути увагу на забарвлення, адже воно може вказувати на наявність певних катіонів:

- рожеве – Mn²⁺ (манган(II));
- зелене – Ni²⁺ (нікель(II)) або Cr²⁺ (хром(II));
- червоне – Co²⁺ (кобальт(II));
- синє чи блакитне – Cu²⁺ (купрум(II));
- жовто-зелене – Fe²⁺ (ферум(II)).

Запах також може дати попередні відомості про склад суміші:

- запах амоніаку – наявність амонійних солей;
- запах йоду – йодиди;
- запах гідроген сульфіді (тухлих яєць) – сульфіді;
- запах сечовини – сечовина або тіосечовина.

До попередніх досліджень належить і проба на забарвлення полум'я. Для цього очищену платинову дротинку (попередньо занурену в концентровану хлоридну кислоту та прожарену) вмочують у подрібнену суміш і вносять у полум'я пальника. Спостерігають таке характерне забарвлення:

- жовте — Na⁺ (натрій);
- фіолетове — K⁺ (калій);
- карміново-червоне — Sr²⁺ (стронцій);
- цегляно-червоне — Ca²⁺ (кальцій);
- жовто-зелене — Ba²⁺ (барій);
- зелене — Cu²⁺ (купрум).

Важливо: полум'я забарвлюється переважно леткими хлоридами металів, тому остаточні висновки роботи рано.

Ще один прийом – **нагрівання у фарфоровій чашці**. Невелику кількість подрібненої суміші нагрівають і спостерігають за змінами. Наприклад, при розкладанні солей важких металів утворюються оксиди іншого кольору. Так, $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ (диамоній дихромат(VI)) під час нагрівання переходить з оранжевого кольору в брудно-зелений через утворення Cr_2O_3 .

Попередні дослідження суміші в розчиненому стані

Сушу речовину розчиняють у 8–10 см³ дистильованої води. Якщо досліджувана речовина розчиняється без утворення осаду і утворюється прозорий розчин, це свідчить про відсутність у суміші катіонів Sn^{2+} (стануму(II)), Sb^{3+} (стибію(III)), Bi^{3+} (бісмуту(III)), Hg^{2+} (меркурію(II)) та Hg_2^{2+} (димеркурію(I)).

Визначення реакції водного розчину є дуже важливим. Якщо при вимірюванні рН розчин має кислу реакцію, це може вказувати на наявність кислотного оксиду, кислотного гідроксиду або середньої солі, що гідролізує з утворенням іонів H^+ . Лужна реакція свідчить про присутність лужного гідроксиду, оксиду або середньої солі, яка при гідролізі утворює іони OH^- . Нейтральний рН вказує, що суміш складається з речовин, які не піддаються гідролізу або гідролізують з утворенням H^+ та OH^- в однакових кількостях.

Ще одним методом попереднього дослідження є реакція розчину з кислотами. Якщо при додаванні розведених сульфатної(VI) або хлоридної кислот до розчину виділяються гази, за їх характером можна зробити висновок про аніони, що входять до складу речовини (див. табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика газів, які виділяються при дії кислот на пробу

Газ	Спосіб виявлення в речовині	Аніон, який міститься
CO_2	Помутніння вапняної води	CO_3^{2-} ; HCO_3^-
SO_2	Запах сірки, яка горить	SO_3^{2-} ; $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$
NO_2	Червоно-бура пара	NO_2^-
H_2S	Запах гнилого білка	SO_3^{2-} ; $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$; S^{2-}
CH_3COOH	Запах оцту	CH_3COO^-
Br_2	Червоно-бура пара	Br^- (з окисником типу MnO_4^-)
HCl	Задушливий газ, помутніння AgNO_3	Cl^-
I_2	Спалах тліючої скіпки	I^- (з окисником типу ClO_4^-)

Для проведення основних досліджень розчиненої суміші її рівномірно ділять на три частини: у першій визначають катіони, у другій – аніони, а третя залишається контрольним розчином.

Катіони визначають за систематичним аналізом, а аніони – за дробним аналізом.

ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

„АНАЛІЗ СУМІШІ КАТІОНІВ І–ІІІ АНАЛІТИЧНИХ ГРУП (K^{1+} , NH_4^{1+} , Ag^{1+} , Rb^{2+} , Va^{2+} , Ca^{2+})»

Номер виданого розчину: _____ Дата: _____

№	Об'єкт аналізу	Операція, що проводиться	Реактив, який діємо, та умови проведення операції	Ефект, що спостерігається	Рівняння реакції в йонно-молекулярному виді	Висновок
1	2	3	4	5	6	7
1	Контрольний розчин	Перемішують для одержання однорідної суміші				
2	0,5 см ³ контрольного розчину	Виявляємо NH_4^{1+} -іон	0,5 см ³ 2 М NaOH	Запах амоніаку, посилення універсального індикатору	$NH_4^{1+} + OH^{1-} \xrightarrow{f^\circ}$ $\xrightarrow{f^\circ} NH_3 \uparrow + H_2O$	Присутній NH_4^{1+} -іон
3	1/2 контрольного розчину	Відокремлення Визначаємо присутність катіонів II групи	та відкриття 2 М HCl	катіонів II Утворюється білий осад	групи $Ag^{1+} + Cl^{1-} = AgCl \downarrow$ $Rb^{2+} + 2Cl^{1-} = RbCl_2 \downarrow$	Катіони II групи присутні

продовження таблиці додатку 1

1	2	3	4	5	6	7
4	У тій же пробі	Проводимо осадження катіонів II групи	2. $MnCl$	Утворюється білий осад	$Ag^{1+} + Cl^{1-} = AgCl \downarrow$ $Pb^{2+} + 2Cl^{1-} = PbCl_2 \downarrow$	
5	У тій же пробі	Перевіряємо на повноту осадження	Обережно по стінках пробірки додаємо 1 краплю $2. MnCl$	Осад не утворюється		Катіони II групи осаджені повністю
6	У тій же пробі	Відокремлюємо осад від розчину	Фільтруємо			Одержали осад №1 і фільтрат №1 (етикетка)
7	Осад №1 на воронці	Видляємо домішки	Промиваємо 2-3 рази холодною водою			
8	Осад №1 на воронці	Переводимо плломбу́м(II) хлорид в розчин	Промиваємо 3-5 разів гарячою водою (по 2 см ³)	Часткове розчинення осаду	$PbCl_2 \xrightarrow{t^{\circ}} Pb^{2+} + 2Cl^{1-}$	Одержали фільтрат №2
9	Фільтрат №2	Виявляємо Pb^{2+} -іони	Розчин KI	Жовтий осад	$Pb^{2+} + 2I^{1-} = PbI_2 \downarrow$	Pb^{2+} -іони присутні

продовження таблиці додатку 1

1	2	3	4	5	6	7
10	Осад №1 на лійці	Повністю розчиняємо $PbCl_2$	Промиваємо гарячою водою			
11	Осад №1 на лійці	Переводимо в розчин аргентум хлорид	$2 M NH_3 \cdot H_2O$	Повне розчинення осаду	$AgCl + 2 NH_3 \cdot H_2O = [Ag(NH_3)_2]^+ + Cl^- + 2H_2O$	
12	Амоніачний розчин	Виявляємо Ag^{1+} - іони	$2 M HNO_3$	Утворення білого осаду	$[Ag(NH_3)_2]^+ + Cl^- + 2H^+ = AgCl \downarrow + 2NH_4^{1+}$	Ag^{1+} - іони присутні
13	0,5 см ³ фільтрату №1	Відокремлення	та відкриття	катіонів III	групи	Присутні катіони III групи
14	Фільтрат №1	Проводимо осадження катіонів III групи	Нагриваємо до 70 °C, додаємо гарячу H_2SO_4 (1:4), гарячий 30% розчин CH_3COONH_4 (для розчинення $PbSO_4$)	Утворюється білий осад	$Ba^{2+} + SO_4^{2-} = BaSO_4 \downarrow$ $Ca^{2+} + SO_4^{2-} = CaSO_4 \downarrow$	
			Те ж саме, що в п. 13, залишаємо стояти 10-15 хв.	Утворюється білий осад	$Ba^{2+} + SO_4^{2-} = BaSO_4 \downarrow$ $Ca^{2+} + SO_4^{2-} = CaSO_4 \downarrow$	

продовження таблиці додатку 1

1	2	3	4	5	6	7
15	Фільтрат №1 з осадом	Перевіряємо на повноту осадження	Обережно по стінці пробірки додаємо краплю 1 М H_2SO_4	Осад не утворюється		Катіони III групи осаджені повністю
16	Фільтрат №1 з осадом	Відокремлюємо осад від розчину	Фільтруємо через фільтр з синьою стрічкою			Одержали осад №2 сульфатів катіонів III групи та фільтрат №3, який містить катіони I групи
17	Осад №2 на воронці	Видаляємо домішки	Промиваємо 2-3 рази холодною водою			
18	Осад №2 на воронці	Переводимо сульфати в карбонати	Кип'ятимо з насиченим розчином Na_2CO_3 , зливаємо маточний розчин з осаду (3-4 рази)		$BaSO_4 + CO_3^{2-} =$ $BaCO_3 + SO_4^{2-} =$ $CaSO_4 + CO_3^{2-} =$ $CaCO_3 + SO_4^{2-} =$	Одержали осад №3 карбонатів катіонів III групи

продовження таблиці додатку 1

1	2	3	4	5	6	7
19	Содовий розчин з осадом карбонатів	Відокремлюємо осад від розчину	Фільтруємо, фільтрат не досліджуємо			
20	Осад №3 карбонатів ВаСО ₃ та СаСО ₃ на фільтрі	Видаляємо домішки	Промиваємо 2-3 рази холодною водою			
21	Осад №3 карбонатів на фільтрі або в чашці	Розчиняємо карбонати III групи катіонів	СН ₃ СООН	Осад розчиняється	$\text{BaCO}_3 + 2\text{CH}_3\text{COOH} = \text{Ba}^{2+} + 2\text{CH}_3\text{COO}^{1-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$ $\text{CaCO}_3 + 2\text{CH}_3\text{COOH} = \text{Ca}^{2+} + 2\text{CH}_3\text{COO}^{1-} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$	Одержали розчин, який вміщує катіони III групи
22	½ ацетатного розчину	Визначаємо Ва ²⁺ - іони	Розчин К ₂ СгО ₄	Жовтий кристалічний осад	Ва ²⁺ + СгО ₄ ²⁻ = ВаСгО ₄ ↓	Ва ²⁺ - іони присутні
23	У тій же пробі	Перевіряємо на повноту осадження Ва ²⁺ - іонів	1 краплю К ₂ СгО ₄ обережно по стінці пробірки	Осад не утворюється		Ва ²⁺ - іони осаджені повністю

продовження таблиці додатку 1

1	2	3	4	5	6	7
24	У тій же пробі	Відокремлюємо розчин від осаду, осад відкидаємо	Фільтруємо			Одержали фільтрат №4, який містить Ca^{2+} -іони
25	$\frac{1}{2}$ фільтрату №4	Визначаємо Ca^{2+} -іони	Розчин $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	Білий дрібнокристалічний осад	$\text{Ca}^{2+} + \text{C}_2\text{O}_4^{2-} = \text{CaC}_2\text{O}_4\downarrow$	Ca^{2+} -іони присутні
26	1 краплю фільтрату №4 поміщаємо на предметне скло	Виявляємо Ca^{2+} -іони	1 краплю 2-н. H_2SO_4 , нагріти до появи білого кола по краю краплі	Під мікроскопом спостерігаємо голчасті кристали, які в деяких місцях утворюють скопчення	$\text{Ca}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} = \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}\downarrow$	Ca^{2+} -іони присутні
27	$\frac{1}{2}$ фільтрату №3	Видаляємо NH_4^{1+} -іони	Виявлення Кип'яtimo з NaOH	катіонів I	групи $\text{NH}_4^{1+} + \text{OH}^{1-} \xrightarrow{t^\circ}$ $\xrightarrow{t^\circ} \text{NH}_3\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	

продовження таблиці додатку 1

1	2	3	4	5	6	7
28	1 краплю розчину фільтрату №3 після кип'ятіння з NaOH	Перевіряємо на повноту видалення NH_4^{1+} - іонів	1 краплю реактиву Неслера	Червоно-бурий осад не утворюється		NH_4^{1+} - іони видалені повністю
29	$\frac{1}{2}$ розчину фільтрату №3 після видалення NH_4^{1+} - іонів	Відкриваємо K^{1+} - іони	$\text{NaN}_2\text{H}_4\text{O}_6$, нейтральне або слабкокисло-середовище, охолодження, потирання склянкою паличкою	Утворюється білий кристалічний осад	$\text{K}^{1+} + \text{HC}_4\text{H}_4\text{O}_6^{1-} = \text{KHC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \downarrow$	K^{1+} - іони присутні
30	$\frac{1}{2}$ розчину фільтрату №3 після видалення NH_4^{1+} - іонів	Відкриваємо K^{1+} - іони	$\text{Na}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$, нейтральне або слабкокисло-середовище, потирання склянкою паличкою	Утворюється жовтий кристалічний осад	$2\text{K}^{1+} + \text{Na}^{1+} + [\text{Co}(\text{NO}_2)_6]^{3-} = \text{K}_2\text{Na}[\text{Co}(\text{NO}_2)_6] \downarrow$	K^{1+} - іони присутні

Висновок: У контрольному розчині № ___ присутні катіони K^{1+} , NH_4^{1+} , Ba^{2+} , Ca^{2+} , Ag^{1+} , Pb^{2+} .

**ЗРАЗОК ОФОРМЛЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ
„АНАЛІЗ СУМІШІ КАТІОНІВ ІV–VI АНАЛІТИЧНИХ ГРУП”**

Номер виданого розчину: _____ Дата: _____

№	Об'єкт аналізу	Операція, що проводиться	Реактив, яким діємо, та умови проведення операції	Ефект, що спостерігається	Рівняння реакції в іонно-молекулярному вигляді	Висновок
1	2	3	4	5	6	7
1	Контрольний розчин перемішуємо					
2	Контрольний розчин	Спостерігаємо забарвлення	Попередні	випробування <i>Забарвлення:</i> синє блакитне жовте рожеве зелене жовтогаряче світло-зелене синьо-зелене		Можлива присутність катіонів Cr^{3+} Cu^{2+} Fe^{3+} Co^{2+} Ni^{2+} або суміш Fe^{3+} і Cu^{2+} суміш Fe^{3+} і Co^{2+} Fe^{2+} суміш Cu^{2+} і Ni^{2+} або Fe^{3+} і Cu^{2+} Fe^{3+} -іони відсутні
3	Контрольний розчин	Визначення рН	Універсальний індикаторний папір	рН=7, осад відсутній		

продовження таблиці додатку 2

1	2	3	4	5	6	7
4	Окрема порція контрольного розчину	Відкриваємо Fe^{2+} -іони	Розчин $K_3[Fe(CN)_6]$	Сілий осад	$K^{1+} + Fe^{2+} + [Fe(CN)_6]^{3-} = KFe[Fe(CN)_6] \downarrow$	Fe^{2+} -іони присутні
5	Окрема порція контрольного розчину	Відкриваємо Fe^{3+} -іони	Розчин $K_4[Fe(CN)_6]$	Сілий осад	$K^{1+} + Fe^{3+} + [Fe(CN)_6]^{4-} = KFe[Fe(CN)_6] \downarrow$	Fe^{3+} -іони присутні
6	Окрема порція контрольного розчину	Cu^{2+} -іони	Розчин $K_4[Fe(CN)_6]$	Червоно-бурий осад	$2Cu^{2+} + [Fe(CN)_6]^{4-} = Cu_2[Fe(CN)_6] \downarrow$	Cu^{2+} -іони присутні
7	1/3 контрольного розчину	Перемішуємо для одержання однорідної суміші	Відокремлення	катионів	IV аналітичної	групи
		Розчинення осадку	$2MnHNO_3$	Осад повністю розчинився		

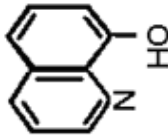
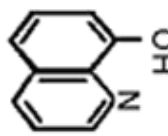
продовження таблиці додатку 2

1	2	3	4	5	6	7
8	1/3 контроль-ного розчину після дії HNO ₃	Осаджуюмо гідроксиди V-VI груп	Осаджуємо гідроксиди додаванням по краплям 4 M NaOH (рН 10-12) і 8-10 крапель H ₂ O ₂ . Ретельно перемішуємо та нагріваємо до повного виділення надлишку H ₂ O ₂ . Якщо після нагрівання бульбашки кисню не виділяються, то надлишок H ₂ O ₂ видалено.	Випадає осад	$Mg^{2+} + 2OH^{-} = Mg(OH)_2$ $2Fe^{2+} + H_2O_2 = 2Fe^{3+} + 2OH^{-}$ $Fe^{3+} + 3OH^{-} = Fe(OH)_3 \downarrow$ $Mn^{2+} + H_2O_2 + 2OH^{-} = H_2MnO_3 \downarrow + H_2O$ $Cu^{2+} + 2OH^{-} = Cu(OH)_2 \downarrow$ $Ni^{2+} + 2OH^{-} = Ni(OH)_2 \downarrow$ $Co^{2+} - e \rightarrow Co^{3+}$; $Co^{3+} + 3OH^{-} \rightarrow Co(OH)_3 \downarrow$ $Al^{3+} + 3OH^{-} = Al(OH)_3 \downarrow$ $Al(OH)_3 \downarrow + OH^{-} = [Al(OH)_4]^{-}$ $Zn^{2+} + 2OH^{-} = Zn(OH)_2 \downarrow$ $Zn(OH)_2 + 2OH^{-} = [Zn(OH)_4]^{2-}$ $Cr^{3+} + 3OH^{-} = Cr(OH)_3 \downarrow$ $2Cr(OH)_3 + 3H_2O_2 + 4OH^{-} = 2CrO_4^{2-} + 8H_2O$ $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2 \uparrow$	Катіони IV-VI групи присутні. H ₂ O ₂ окиснює Mn ²⁺ до H ₂ MnO ₃ , Cr ³⁺ до CrO ₄ ²⁻ , Fe ²⁺ до Fe ³⁺ , Co ²⁺ до Co ³⁺
9	1/3 контроль-ного розчину з осадом	Відокремлюємо осад від розчину	Фільтруємо			Осад містить гідроксиди катіонів V-VI груп, фільтрат №1 /етикетка/ містить CrO ₄ ²⁻ - іони та гідроксокомплекси [Al(OH) ₄] ¹⁻ , [Zn(OH) ₄] ²⁻

продовження таблиці додатку 2

1	2	3	4	5	6	7
10	Осад гідроксидів катіонів V–VI груп на фільтрі	Видаляємо домішки	Промиваємо водою	Відокремлення катіонів VI	групи	На фільтрі – осад гідроксидів катіонів V групи, в фільтраті №2 (етикетка) – VI група катіонів
11	Осад гідроксидів катіонів V–VI груп на фільтрі	Відокремлюємо VI групу катіонів від V групи	Обробляємо осад конц. розчином $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Осад частково розчиняється	$\text{Ni}(\text{OH})_2 \downarrow + 6\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} =$ $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} + 2\text{OH}^{1-} + 6\text{H}_2\text{O};$ $\text{Co}(\text{OH})_2 \downarrow + 6\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} =$ $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} + 3\text{OH}^{1-} + 6\text{H}_2\text{O};$ $\text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow + 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} =$ $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} + 2\text{OH}^{1-} + 4\text{H}_2\text{O}$	На фільтрі – осад гідроксидів катіонів V групи, в фільтраті №2 (етикетка) – VI група катіонів
12	Осад на фільтрі	Видаляємо домішки	Промиваємо водою	суміші	катіонів V групи	На фільтрі – осад $\text{Fe}(\text{OH})_3$ і H_2MnO_3 , в фільтраті №3 (етикетка) – Mg^{2+} -іони
13	Осад гідроксидів катіонів V групи на фільтрі	Розчиняємо $\text{Mg}(\text{OH})_2$	Аналіз Обробляємо осад конц. розчином NH_4Cl	Осад частково розчиняється	$\text{Mg}(\text{OH})_2 + 2\text{NH}_4^{1+} =$ $\text{Mg}^{2+} + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	На фільтрі – осад $\text{Fe}(\text{OH})_3$ і H_2MnO_3 , в фільтраті №3 (етикетка) – Mg^{2+} -іони

продовження таблиці додатку 2

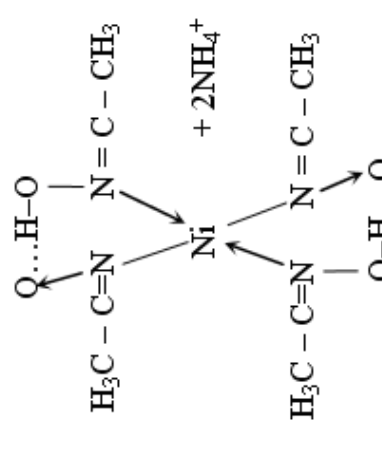
	1	2	3	4	5	6
14	Фільтрат №3	Відкриття Mg^{2+} - іонів	1) $Na_2HPO_4 + NH_3 \cdot H_2O$ 2) оксикінолін рН = 9 	Білий кристалічний осад Зеленувато – жовтий кристалічний осад	$Mg^{2+} + HPO_4^{2-} + NH_3 \cdot H_2O = MgNH_4PO_4 \downarrow + H_2O$ $Mg^{2+} +$  $+H^{1+}$ магній оксикінолінат $Fe(OH)_3 + 3H^{1+} = Fe^{3+} + 3H_2O$	Mg^{2+} - іони присутні
15	Осад гідроксидів катіонів V групи на фільтрі (Fe(OH) ₃ , H ₂ MnO ₃)	Розчиляємо Fe(OH) ₃	2 M HNO ₃	Осад частково розчинився	$Fe(OH)_3 + 3H^{1+} = Fe^{3+} + 3H_2O$	На фільтрі – осад H ₂ MnO ₃ , в фільтраті №4 (етикетка) – Fe ³⁺ - іони
16	Осад на фільтрі	Видаляємо домішки	Промиваємо водою	Темно-бурий осад на фільтрі	H ₂ MnO ₃	Mn ²⁺ - іони присутні
17	Фільтрат №4, окрема порція	Відкриття Fe ³⁺ - іонів	KSCN K ₄ [Fe(CN) ₆]	Криваво-червоне забарвлення розчину Синій осад	$Fe^{3+} + n SCN^- = [Fe(SCN)_n]^{3-n}$ $Fe^{3+} + K^{1+} + [Fe(CN)_6]^{4-} = KFe[Fe(CN)_6]$	Fe ³⁺ - іони присутні

1	2	3	4	5	6
Аналіз суміші катіонів IV аналітичної групи					
18	Відокремлення CrO_4^{2-} -іонів від йонів Алюмінію і Цинку	НСІ до рН 3-4 і насичений р-н Na_2CO_3 до утворення осаду	Утворюється осад	$[\text{Al}(\text{OH})_4]^{1-} + 4\text{H}^{1+} = \text{Al}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$ $\text{Al}^{3+} + 3\text{CO}_3^{2-} + 3\text{H}_2\text{O} =$ $\text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{HCO}_3^{1-}$ $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} + 4\text{H}^{1+} = \text{Zn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$ $2\text{Zn}^{2+} + 3\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}_2\text{O} =$ $\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3\downarrow + 2\text{HCO}_3^{1-}$	У фільтраті №5 (етикетка) – CrO_4^{2-} -іони, на фільтрі – осад $\text{Al}(\text{OH})_3$ і $\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$
19	Розчиняємо осад	НСІ	Осад розчинився	$\text{Al}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^{1+} = \text{Al}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$ $\text{Zn}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 + 4\text{H}^{1+} = 2\text{Zn}^{2+} + 3\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2.$	У фільтраті №6 – Al^{3+} - і Zn^{2+} -катіони
20	Відкриття Zn^{2+} -іонів. Умови: [1] с. 306	Дитизон $\text{NH-NH-C}_6\text{H}_5$ SC $\text{N=N-C}_6\text{H}_5$	Яскраво-рожеве забарвлення водного розчину	$\text{SC} \begin{cases} \text{NH-NH-C}_6\text{H}_5 \\ \text{N=N-C}_6\text{H}_5 \end{cases} + \text{Zn}^{2+} =$ $\text{NH-N-C}_6\text{H}_5$ $\text{CS} \rightarrow \text{Zn}^{2+/2} \text{ або}$ $\text{N=N-C}_6\text{H}_5$ $\text{NH-N-C}_6\text{H}_5$ $\text{CS} \begin{cases} \text{Zn}^{2+/2} \\ \uparrow \\ \text{N=N-C}_6\text{H}_5 \end{cases}$	Zn^{2+} -іони присутні

продовження таблиці додатку 2

1	2	3	4	5	6	
21	Окрема порція фільтрату №6	Відкриття Al^{3+} -іонів	Алізарин в амоніачному середовищі. Умови: [1] с. 302 $C_{14}H_6O_2(OH)_2$	Оранжево-червоне забарвлення водного розчину		Al^{3+} -іони присутні
22	Фільтрат №5	Відкриття CrO_4^{2-} -іонів	2н. $H_2SO_4 + H_2O_2$ + ефір $VaCl_2$, нейтральне або слабкокислое середовище	Ефірний шар синього кольору Жовтий кристалічний осад	$2CrO_4^{2-} + 2H^{1+} \rightarrow Cr_2O_7^{2-} + H_2O$ $Cr_2O_7^{2-} + 4H_2O_2 + 2H^{1+} \rightarrow 2CrO_5 + 5H_2O$ або $2H_2CrO_6 + 3H_2O$ $Va^{2+} + CrO_4^{2-} \rightarrow VaCrO_4 \downarrow$	CrO_4^{2-} -іони присутні
Аналіз суміші катіонів VI аналітичної групи						
23	Фільтрат №2	Руйнуємо комплекси	Додаємо $HCl + H_2SO_4$ до кислого середовища	Універсальний індикатор червоні	$[Ni(NH_3)_6]^{2+} + 6H^{1+} = Ni^{2+} + 6NH_4^{1+}$ $[Cu(NH_3)_4]^{2+} + 4H^{1+} = Cu^{2+} + 4NH_4^{1+}$ $[Co(NH_3)_6]^{3+} + 6H^{1+} = Co^{3+} + 6NH_4^{1+}$	Середовище кисле, амоніачні комплекси руйнуються
24	Фільтрат №2 (1/2 порції)	Відкриття та відокремлення Cu^{2+} -іонів	Насичений свіжо-приготовлений розчин $Na_2S_2O_3$ кип'ятити 3 хв.	Чорний осад Cu_2S	$2Cu^{2+} + 4S_2O_3^{2-} = Cu_2S \downarrow + S \downarrow + SO_2 \uparrow$ $+ 3SO_4^{2-} + S_4O_6^{2-}$ $Co^{3+} + \bar{e} \rightarrow Co^{2+}$	Cu^{2+} -іони присутні

продовження таблиці додатку 2

	1	2	3	4	5	6
25	Фільтрат №2 з осадом (1/2 порції)	Відокремлюємо осад Cu_2S від розчину	Фільтруємо			Фільтрат №7 містить Co^{2+} - та Ni^{2+} -іони
26	Окрема порція фільтрату №7	Визначення Co^{2+} -іонів	$\text{KSCN}_{\text{крис.}}$ + ефір, перемішати	Синє забарвлення	$\text{Co}^{2+} + 4\text{SCN}^{1-} = [\text{Co}(\text{SCN})_4]^{2-}$	Co^{2+} -іони присутні
27	Окрема порція фільтрату №7	Визначення Ni^{2+} -іонів	Диметил-глюксим, $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_{\text{конц.}}$ (2-3 крапл.) $\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} = \text{N} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} = \text{N} \\ \\ \text{OH} \end{array}$	Червоне забарвлення розчину, при більшій концентрації Ni^{2+} -іонів утворюється червоний осад	$\begin{array}{c} \text{OH} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} = \text{N} \\ \\ \text{H}_3\text{C} - \text{C} = \text{N} \\ \\ \text{OH} \end{array} + \text{Ni}^{2+} + 2\text{NH}_3 =$ 	Ni^{2+} -іони присутні

Висновок: у контрольному розчині № ____ присутні катіони _____

Константи іонізації найважливіших кислот і основ

Назва кислоти	Формула	Константи іонізації, K_a	pK_a
Ацетатна (етанова)	CH_3COOH	K $1,74 \cdot 10^{-5}$	4,76
Етилендіамінтетраацетатна	H_4Y (EDTA)	K_1 $1,0 \cdot 10^{-2}$ K_2 $2,1 \cdot 10^{-3}$ K_3 $6,9 \cdot 10^{-7}$ K_4 $5,5 \cdot 10^{-11}$	2,00 2,67 6,16 10,26
Карбонатна	H_2CO_3	K_1 $4,5 \cdot 10^{-7}$ K_2 $4,8 \cdot 10^{-11}$	6,35 10,32
Нітритна (нітратна(III))	HNO_2	K $5,1 \cdot 10^{-4}$	3,29
Оксалатна (щавлева)	$H_2C_2O_4$	K_1 $5,6 \cdot 10^{-2}$ K_2 $5,4 \cdot 10^{-5}$	1,25 4,27
Сульфатна(IV) (сульфітна)	H_2SO_3	K_1 $1,4 \cdot 10^{-2}$ K_2 $6,2 \cdot 10^{-8}$	1,85 7,20
Сульфатна(VI)	H_2SO_4	K_2 $1,15 \cdot 10^{-2}$	1,94
Сульфідна	H_2S	K_1 $1,0 \cdot 10^{-7}$ K_2 $2,5 \cdot 10^{-13}$	7,00 12,60
Тартратна (винна)	$H_2C_4H_4O_6$	K_1 $9,1 \cdot 10^{-4}$ K_2 $4,3 \cdot 10^{-5}$	3,04 4,37
Тетраборатна	$H_2B_4O_7$	K_1 $1,8 \cdot 10^{-4}$ K_2 $2,0 \cdot 10^{-8}$	3,74 7,70
Флуоридна	HF	K $6,2 \cdot 10^{-4}$	3,21
Форміатна (метанова)	$HCOOH$	K $1,8 \cdot 10^{-4}$	3,75
Фосфатна(V)	H_3PO_4	K_1 $7,1 \cdot 10^{-3}$ K_2 $6,2 \cdot 10^{-8}$ K_3 $5,0 \cdot 10^{-13}$	2,15 7,21 12,30
Ціанідна	HCN	K $5,0 \cdot 10^{-10}$	9,30
Янтарна (бурштинова)	$H_2C_4H_4O_4$	K_1 $1,6 \cdot 10^{-5}$ K_2 $2,3 \cdot 10^{-6}$	4,21 5,63
Назва основи	Формула	Константи іонізації, K_b	pK_b
Амоній гідроксид	$NH_3 \cdot H_2O$	K $1,76 \cdot 10^{-5}$	4,755
Аргентум(I) гідроксид	$AgOH$	K $5,0 \cdot 10^{-3}$	2,30
Барій дигідроксид	$Ba(OH)_2$	K_2 $2,3 \cdot 10^{-1}$	0,64
Кальцій дигідроксид	$Ca(OH)_2$	K_2 $4,0 \cdot 10^{-2}$	1,40

**Добутки розчинності (ДР) деяких малорозчинних у воді сполук
(за температури 25 °С)**

Сполука <i>1</i>	Назва сполуки <i>2</i>	ДР <i>3</i>
AgBr	Аргентум бромід	$5,3 \cdot 10^{-13}$
AgCH ₃ COO	Аргентум ацетат (етаноат)	$4,0 \cdot 10^{-3}$
Ag ₂ CO ₃	Аргентум карбонат	$1,2 \cdot 10^{-12}$
Ag ₂ C ₂ O ₄	Діаргентум оксалат	$3,5 \cdot 10^{-11}$
AgCl	Аргентум хлорид	$1,78 \cdot 10^{-10}$
Ag ₂ CrO ₄	Діаргентум хромат(VI)	$1,1 \cdot 10^{-12}$
Ag ₂ Cr ₂ O ₇	Діаргентум дихромат(VI)	$1,0 \cdot 10^{-10}$
AgI	Аргентум йодид	$8,3 \cdot 10^{-17}$
Ag ₃ PO ₄	Аргентум фосфат(V)	$1,3 \cdot 10^{-20}$
Ag ₂ S	Діаргентум сульфід	$6,3 \cdot 10^{-50}$
AgSCN	Аргентум тіоціанат	$1,1 \cdot 10^{-12}$
Ag ₂ SO ₃	Аргентум сульфат(IV)	$1,5 \cdot 10^{-14}$
Ag ₂ SO ₄	Аргентум сульфат(VI)	$1,6 \cdot 10^{-5}$
Al(OH) ₃ (Al ³⁺ , 3OH ¹⁻) (AlOH ²⁺ , 2OH ¹⁻) (H ¹⁺ , AlO ₂ ¹⁻)	Алюміній тригідроксид	$3,2 \cdot 10^{-34}$ $3,2 \cdot 10^{-25}$ $1,6 \cdot 10^{-13}$
AlPO ₄	Алюміній фосфат(V)	$5,75 \cdot 10^{-19}$
Ba(OH) ₂	Барій дигідроксид	$5,0 \cdot 10^{-3}$
BaCO ₃	Барій карбонат	$4,0 \cdot 10^{-10}$
BaC ₂ O ₄	Барій оксалат	$1,1 \cdot 10^{-7}$
BaCrO ₄	Барій хромат(VI)	$1,2 \cdot 10^{-10}$
Ba ₃ (PO ₄) ₂	Трибарій дифосфат(V)	$6,0 \cdot 10^{-39}$
BaSO ₃	Барій сульфат(IV)	$8,0 \cdot 10^{-7}$
BaSO ₄	Барій сульфат(VI)	$1,1 \cdot 10^{-10}$
BiI ₃	Бісмут(III) йодид	$8,1 \cdot 10^{-19}$
BiOCl (BiO ¹⁺ , Cl ¹⁻)	Оксобісмут(1+) хлорид	$7,0 \cdot 10^{-9}$
CaCO ₃	Кальцій карбонат	$3,8 \cdot 10^{-9}$
CaC ₂ O ₄	Кальцій оксалат	$2,3 \cdot 10^{-9}$
CaCrO ₄	Кальцій хромат(VI)	$7,1 \cdot 10^{-4}$
CaF ₂	Кальцій дифлуорид	$4,0 \cdot 10^{-11}$
CaHPO ₄ (Ca ²⁺ , HPO ₄ ²⁻)	Кальцій гідрогенфосфат(V)	$2,7 \cdot 10^{-7}$
Ca(H ₂ PO ₄) (Ca ²⁺ , H ₂ PO ₄ ⁻)	Кальцій дигідрогенфосфат(V)	$1,0 \cdot 10^{-3}$

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Ca(OH) ₂ (Ca ²⁺ , 2OH ¹⁻) (CaOH ¹⁺ , OH ¹⁻)	Кальцій дигідроксид	6,5·10 ⁻⁶ 9,1·10 ⁻⁵
Ca ₃ (PO ₄) ₂	Трикальцій дифосфат(V)	2,0·10 ⁻²⁹
CaSO ₃	Кальцій сульфат(IV)	3,2·10 ⁻⁷
CaSO ₄	Кальцій сульфат(VI)	2,5·10 ⁻⁵
Cd(OH) ₂ (Cd ²⁺ , 2OH ¹⁻) (свіжоосаджений) Cd(OH) ₂ (Cd ²⁺ , 2OH ¹⁻) (після старіння Cd(OH) ₂) (H ¹⁺ , HCdO ₂ ²⁻)	Кадмій дигідроксид	2,2·10 ⁻¹⁴ 5,9·10 ⁻¹⁵ 2,0·10 ⁻¹⁹
CdS	Кадмій сульфід	1,6·10 ⁻²⁸
Co(OH) ₂ (блакитний)	Кобальт дигідроксид	6,3·10 ⁻¹⁵
Co(OH) ₂ (рожевий, свіжоосаджений)		1,6·10 ⁻¹⁵
Co(OH) ₃	Кобальт тригідроксид	4,0·10 ⁻⁴⁵
Cr(OH) ₃ (Cr ³⁺ , 3OH ¹⁻) (CrOH ²⁺ , 2OH ¹⁻) (H ¹⁺ , H ₂ CrO ₃ ¹⁻)	Хром тригідроксид	6,3·10 ⁻³¹ 7,9·10 ⁻²¹ 4,0·10 ⁻¹⁵
CuCO ₃	Купрум(II) карбонат	2,5·10 ⁻¹⁰
CuCrO ₄	Купрум(II) хромат(VI)	3,6·10 ⁻⁶
Cu ₂ [Fe(CN) ₆]	Купрум(II) гексаціаноферат(II)	1,3·10 ⁻¹⁶
CuI	Купрум(I) йодид	1,1·10 ⁻¹²
Cu(OH) ₂ (Cu ²⁺ , 2OH ¹⁻) (CuOH ⁺ , OH ¹⁻) (H ¹⁺ , HCuO ₂ ¹⁻)	Купрум дигідроксид	8,3·10 ⁻²⁰ 8,3·10 ⁻¹² 1,0·10 ⁻¹⁹
Cu ₂ (OH) ₂ CO ₃ (малахіт)	Дикупрум дигідроксид карбонат	1,7·10 ⁻³⁴
Cu ₂ S	Дикупрум сульфід	2,5·10 ⁻⁴⁸
CuSCN	Купрум(I) тіоціанат	4,8·10 ⁻¹⁵
CuS	Купрум(II) сульфід	6,3·10 ⁻³⁶
FeCO ₃	Ферум(II) карбонат	3,5·10 ⁻¹¹
Fe(OH) ₂ (Fe ²⁺ , 2OH ¹⁻) (FeOH ¹⁺ , OH ¹⁻) (H ¹⁺ , HFeO ₂ ¹⁻)	Ферум дигідроксид	7,2·10 ⁻¹⁶ 2,2·10 ⁻¹¹ 8,0·10 ⁻²⁰

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Fe(OH) ₃ (Fe ³⁺ , 3OH ¹⁻) (свіжоосаджений) (Fe ³⁺ , 3OH ¹⁻) (після старіння)	Ферум тригідроксид	6,3·10 ⁻³⁸ 3,2·10 ⁻⁴⁰
Fe(OH) ₃ (Fe(OH) ₂ ¹⁻ , OH ¹⁻) (Fe(OH) ²⁺ , 2OH ¹⁻)	Ферум тригідроксид	6,8·10 ⁻¹⁸ 2,0·10 ⁻²⁸
FePO ₄	Ферум(III) фосфат	1,3·10 ⁻²²
FeS	Ферум(II) сульфід	5,0·10 ⁻¹⁸
FeS ₂ (Fe ²⁺ , S ₂ ²⁻)	Ферум(II) дисульфід	6,3·10 ⁻³¹
Hg ₂ Cl ₂ (Hg ₂ ²⁺ , 2Cl ¹⁻)	Димеркурій дихлорид	1,3·10 ⁻¹⁸
Hg ₂ CrO ₄ (Hg ₂ ²⁺ , CrO ₄ ²⁻)	Димеркурій хромат(VI)	5,0·10 ⁻⁹
Hg ₂ I ₂ (Hg ₂ ²⁺ , 2I ¹⁻)	Димеркурій дийодид	4,5·10 ⁻²⁹
HgS (чорний) HgS (червоний)	Меркурій(II) сульфід	1,6·10 ⁻⁵² 4,0·10 ⁻⁵³
Hg ₂ (SCN) ₂ (Hg ₂ ²⁺ , 2SCN ¹⁻)	Димеркурій дитіоціанат	3,0·10 ⁻²⁰
Hg ₂ SO ₄ (Hg ₂ ²⁺ , SO ₄ ²⁻)	Димеркурій сульфат(VI)	6,8·10 ⁻⁷
K ₃ [Co(NO ₂) ₆] (3K ¹⁺ , [Co(NO ₂) ₆] ³⁻)	Калій гексанітрокобальтат(III)	4,3·10 ⁻¹⁰
K ₂ Na[Co(NO ₂) ₆] (2K ¹⁺ , Na ¹⁺ , [Co(NO ₂) ₆] ³⁻)	Дикалій натрій гексанітрокобальтат(III)	2,2·10 ⁻¹¹
MgNH ₄ PO ₄	Амоній магній фосфат(V)	2,5·10 ⁻¹³
Mg(OH) ₂ (свіжоосаджений) Mg(OH) ₂ (Mg ²⁺ , 2OH ¹⁻) (MgOH ¹⁺ , OH ¹⁻) (після старіння)	Магній дигідроксид	6,0·10 ⁻¹⁰ 7,1·10 ⁻¹² 2,6·10 ⁻⁹
Mg ₃ (PO ₄) ₂	Тримагній дифосфат	1,0·10 ⁻¹³
MgCO ₃	Магній карбонат	2,1·10 ⁻⁵
MnCO ₃	Манган карбонат	1,8·10 ⁻¹¹
Mn(OH) ₂ (Mn ²⁺ , 2OH ¹⁻) (MnOH ¹⁺ , OH ¹⁻) (H ¹⁺ , HMnO ₂ ¹⁻)	Манган дигідроксид	1,9·10 ⁻¹³ 4,9·10 ⁻¹⁰ 1,0·10 ⁻¹⁹

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
MnS (тілесного кольору) MnS (зелений)	Манган(II) сульфід	$2,5 \cdot 10^{-10}$ $2,5 \cdot 10^{-13}$
$(\text{NH}_4)_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$	Амоній гексанітрокобальтат(III)	$7,6 \cdot 10^{-6}$
$\text{Na}[\text{Sb}(\text{OH})_6]$ $(\text{Na}^{1+}, [\text{Sb}(\text{OH})_6]^{1-})$	Натрій гексагідроксо- стибат(VI)	$4,8 \cdot 10^{-8}$
$\text{Ni}(\text{C}_4\text{H}_7\text{O}_2\text{N}_2)_2$	Нікель(II) диметилглюксимат	$2,3 \cdot 10^{-25}$
NiCO_3	Нікель(II) карбонат	$1,3 \cdot 10^{-7}$
$\text{Ni}(\text{OH})_2$ (свіжоодержаний) $\text{Ni}(\text{OH})_2$ (після старіння)	Нікель дигідроксид	$2,0 \cdot 10^{-15}$ $6,3 \cdot 10^{-18}$
NiS α NiS β NiS γ	Нікель(II) сульфід	$3,2 \cdot 10^{-19}$ $1,0 \cdot 10^{-24}$ $2,0 \cdot 10^{-26}$
PbCO_3	Плюмбум(II) карбонат	$7,5 \cdot 10^{-15}$
PbCl_2	Плюмбум дихлорид	$1,6 \cdot 10^{-5}$
PbCrO_4	Плюмбум(II) хромат(VI)	$1,8 \cdot 10^{-14}$
PbI_2	Плюмбум дийодид	$1,1 \cdot 10^{-9}$
PbO_2 $(\text{Pb}^{4+}, 4\text{OH}^{1-})$	Плюмбум диоксид	$3,0 \cdot 10^{-66}$
$\text{Pb}(\text{OH})_2$ $(\text{Pb}^{2+}, 2\text{OH}^{1-})$ (жовтий) $(\text{Pb}^{2+}, 2\text{OH}^-)$ (червоний) $(\text{PbOH}^{1+}, \text{OH}^{1-})$ $(\text{H}^{1+}, \text{HPbO}_2^{1-})$	Плюмбум дигідроксид	$7,9 \cdot 10^{-16}$ $5,0 \cdot 10^{-16}$ $1,0 \cdot 10^{-9}$ $3,2 \cdot 10^{-16}$
$\text{Pb}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$	Диплюмбум дигідроксид карбонат	$3,5 \cdot 10^{-46}$
$\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$	Триплюмбум дифосфат(V)	$7,9 \cdot 10^{-43}$
PbS	Плюмбум(II) сульфід	$2,5 \cdot 10^{-27}$
PbSO_4	Плюмбум(II) сульфат(VI)	$1,6 \cdot 10^{-8}$
$\text{Sn}(\text{OH})_2$ $(\text{Sn}^{2+}, 2\text{OH}^{1-})$ $(\text{SnOH}^{1+}, \text{OH}^{1-})$ $(\text{H}^{1+}, \text{HSnO}_2^{1-})$	Станум дигідроксид	$6,3 \cdot 10^{-27}$ $2,5 \cdot 10^{-16}$ $1,3 \cdot 10^{-15}$
$\text{Sn}(\text{OH})_4$	Станум тетрагідроксид	$1,0 \cdot 10^{-57}$
SnS	Станум(II) сульфід	$2,5 \cdot 10^{-27}$
SrCO_3	Стронцій карбонат	$1,1 \cdot 10^{-10}$
SrC_2O_4	Стронцій оксалат	$1,6 \cdot 10^{-7}$
SrCrO_4	Стронцій хромат(VI)	$3,6 \cdot 10^{-5}$
$\text{Sr}(\text{OH})_2$	Стронцій дигідроксид	$3,2 \cdot 10^{-4}$

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Sr ₃ (PO ₄) ₂	Тристронцій дифосфат(V)	1,0·10 ⁻³¹
SrSO ₄	Стронцій сульфат(VI)	3,2·10 ⁻⁷
ZnCO ₃	Цинк карбонат	1,45·10 ⁻¹¹
Zn ₂ [Fe(CN) ₆]	Цинк гексаціаноферат(II)	2,1·10 ⁻¹⁶
Zn[Hg(SCN) ₄] (Zn ²⁺ , [Hg(SCN) ₄] ²⁻)	Цинк тетратіоціанато- меркурат(II)	2,2·10 ⁻⁷
Zn(OH) ₂ (Zn ²⁺ , 2OH ¹⁻) (ZnOH ¹⁺ , OH ¹⁻)	Цинк дигідроксид	1,4·10 ⁻¹⁷ 1,4·10 ⁻¹¹
Zn ₃ (PO ₄) ₂	Трицинк дифосфат	9,1·10 ⁻³³
ZnS (сфалерит)	Цинк сульфід	1,6·10 ⁻²⁴
ZnS (вюрцит)		2,5·10 ⁻²²

Стандартні електродні потенціали деяких систем у водних розчинах

Рівняння процесу	<i>E</i> ^o , В
<i>1</i>	<i>2</i>
АРГЕНТУМ	
Ag ²⁺ + e = Ag ¹⁺	2,00
АЛЮМІНІЙ	
Al ³⁺ + 3e = Al	-1,66
АРСЕН	
AsO ₄ ³⁻ + 2H ₂ O + 2e = AsO ₂ ¹⁻ + 4OH ¹⁻	-0,710
H ₃ AsO ₄ + 2H ¹⁺ + 2e = HAsO ₂ + 2H ₂ O	0,560
АУРУМ	
Au ³⁺ + 2e = Au ¹⁺	1,410
Au ³⁺ + 3e = Au	1,500
Au ¹⁺ + e = Au	1,680
БІСМУТ	
NaBiO ₃ + 4H ¹⁺ + 2e = BiO ¹⁺ + Na ¹⁺ + 2H ₂ O	1,800
БРОМ	
2BrO ¹⁻ + 2H ₂ O + 2e = Br ₂ + 4OH ¹⁻	0,450
2BrO ₃ ¹⁻ + 6H ₂ O + 10e = Br ₂ + 12OH ¹⁻	0,500
CrO ₃ ¹⁻ + 3H ₂ O + 6e = Br ¹⁻ + 6OH ¹⁻	0,610
BrO ¹⁻ + H ₂ O + 2e = Br ¹⁻ + 2OH ¹⁻	0,760
Br ₂ + 2e = 2Br ¹⁻	1,087
BrO ₃ ¹⁻ + 6H ¹⁺ + 6e = Br ¹⁻ + 3H ₂ O	1,450
2BrO ₃ ¹⁻ + 12H ¹⁺ + 10e = Br ₂ + 6H ₂ O	1,520
2HBrO + 2H ¹⁺ + 2e = Br ₂ + 2H ₂ O	1,600

<i>1</i>	<i>2</i>
КАРБОН	
$2\text{CO}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	-0,490
$\text{CO}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{HCOOH}$	-0,200
$\text{CO}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$	-0,120
$\text{CO}_3^{2-} + 6\text{H}^{1+} + 4\text{e} = \text{C} + 3\text{H}_2\text{O}$	0,475
КАЛЬЦІЙ	
$\text{Ca}^{2+} + 2\text{e} = \text{Ca}$	-2,866
КАДМІЙ	
$\text{Cd}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cd}$	-0,403
КОБАЛЬТ	
$\text{Co}^{3+} + 3\text{e} = \text{Co}$	0,460
$\text{Co}^{3+} + \text{e} = \text{Co}^{2+}$	1,950
ХЛОР	
$2\text{ClO}^{1-} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{Cl}_2 + 4\text{OH}^{1-}$	0,400
$\text{ClO}_3^{1-} + 3\text{H}_2\text{O} + 6\text{e} = \text{Cl}^{1-} + 6\text{OH}^{1-}$	0,630
$\text{ClO}^{1-} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{Cl}^{1-} + 2\text{OH}^{1-}$	0,880
$\text{ClO}_4^{1-} + 2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{ClO}_3^{1-} + \text{H}_2\text{O}$	1,190
$\text{Cl}_2 + 2\text{e} = 2\text{Cl}^{1-}$	1,359
$\text{ClO}_4^{1-} + 8\text{H}^{1+} + 8\text{e} = \text{Cl}^{1-} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,380
$\text{ClO}_3^{1-} + 6\text{H}^{1+} + 6\text{e} = \text{Cl}^{1-} + 3\text{H}_2\text{O}$	1,450
ХРОМ	
$\text{Cr}^{3+} + 3\text{e} = \text{Cr}$	-0,740
$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}_2\text{O} + 3\text{e} = \text{Cr}(\text{OH})_3 + 5\text{OH}^{1-}$	-0,130
$\text{CrO}_4^{2-} + 4\text{H}^{1+} + 3\text{e} = \text{CrO}_2^{1-} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,945
$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^{1+} + 6\text{e} = 2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	1,333
$\text{CrO}_4^{2-} + 8\text{H}^{1+} + 3\text{e} = \text{Cr}^{3+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,477
КУПРУМ	
$\text{Cu}^{2+} + \text{e} = \text{Cu}^{1+}$	0,159
$\text{Cu}^{2+} + 2\text{e} = \text{Cu}$	0,640
$\text{Cu}^{2+} + \text{I}^- + \text{e} = \text{CuI}$	0,860
ФЛУОР	
$\text{F}_2 + 2\text{e} = 2\text{F}^{1-}$	2,870
ФЕРУМ	
$\text{Fe}^{2+} + 2\text{e} = \text{Fe}$	-0,473
$\text{Fe}^{3+} + 3\text{e} = \text{Fe}$	-0,058
$\text{Fe}^{3+} + \text{e} = \text{Fe}^{2+}$	0,771
ГІДРОГЕН	
$\text{H}_2 + 2\text{e} = 2\text{H}^{1-}$	-2,250
$2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e} = \text{H}_2 + 2\text{OH}^{1-}$	-0,828
$2\text{H}^{1+} (10^{-7} \text{ M}) + 2\text{e} = \text{H}_2$	-0,414
$2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = \text{H}_2$	0,000
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^{1+} + 2\text{e} = 2\text{H}_2\text{O}$	1,770

<i>1</i>	<i>2</i>
МЕРКУРІЙ	
$\text{Hg}_2^{2+} + 2e = 2\text{Hg}$	0,792
$\text{Hg}^{2+} + 2e = \text{Hg}$	0,850
$2\text{Hg}^{2+} + 2e = \text{Hg}_2^{2+}$	0,907
ЙОД	
$\text{I}_2 + 2e = 2\text{I}^{1-}$	0,536
$\text{I}_3^{1-} + 2e = 3\text{I}^{1-}$	0,545
$\text{IO}_3^{1-} + 6\text{H}^+ + 6e = \text{I}^{1-} + 3\text{H}_2\text{O}$	1,080
$2\text{IO}_3^{1-} + 12\text{H}^+ + 10e = \text{I}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	1,190
$2\text{IO}_3^{1-} + 6\text{H}_2\text{O} + 10e = \text{I}_2 + 12\text{OH}^{1-}$	0,210
$\text{IO}_3^{1-} + 3\text{H}_2\text{O} + 6e = \text{I}^{1-} + 6\text{OH}^{1-}$	0,260
МАГНІЙ	
$\text{Mg}^{2+} + 2e = \text{Mg}$	-2,370
МАНГАН	
$\text{Mn}(\text{OH})_2 + 2e = \text{Mn} + 2\text{OH}^{1-}$	-1,550
$\text{Mn}^{2+} + 2e = \text{Mn}$	-1,170
$\text{MnO}_4^{1-} + e = \text{MnO}_4^{2-}$	0,558
$\text{MnO}_4^{1-} + 2\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{MnO}_2 + 4\text{OH}^{1-}$	0,600
$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^{1+} + 2e = \text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	1,230
$\text{MnO}_4^{1-} + 8\text{H}^{1+} + 5e = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	1,510
$\text{Mn}^{3+} + e = \text{Mn}^{2+}$	1,510
$\text{MnO}_4^{1-} + 4\text{H}^{1+} + 3e = \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,690
$\text{MnO}_4^{2-} + 4\text{H}^{1+} + 2e = \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	2,257
НІТРОГЕН	
$\text{NO}_2^{1-} + \text{H}_2\text{O} + e = \text{NO} + 2\text{OH}^{1-}$	-0,460
$\text{NO}_3^{1-} + 2\text{H}_2\text{O} + 3e = \text{NO} + 4\text{OH}^{1-}$	-0,140
$\text{NO}_3^{1-} + 7\text{H}_2\text{O} + 8e = \text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} + 9\text{OH}^{1-}$	-0,120
$\text{NO}_3^{1-} + \text{H}_2\text{O} + 2e = \text{NO}_2^{1-} + 2\text{OH}^{1-}$	0,010
$2\text{NO}_2^{1-} + 4\text{H}_2\text{O} + 6e = \text{N}_2 + 8\text{OH}^{1-}$	0,410
$\text{NO}_3^{1-} + 2\text{H}^{1+} + e = \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,800
$\text{NO}_3^{1-} + 10\text{H}^{1+} + 8e = \text{NH}_4^+ + 3\text{H}_2\text{O}$	0,870
$\text{NO}_3^{1-} + 4\text{H}^{1+} + 3e = \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	0,960
$\text{HNO}_2 + \text{H}^{1+} + e = \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	0,980
$2\text{HNO}_2 + 4\text{H}^{1+} + 4e = \text{N}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O}$	1,290
$2\text{HNO}_2 + 6\text{H}^{1+} + 6e = \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	1,440
$2\text{NO} + 4\text{H}^{1+} + 4e = \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,680
$\text{N}_2\text{O} + 2\text{H}^{1+} + 2e = \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$	1,770
$\text{NO}_3^{1-} + 3\text{H}^{1+} + 2e = \text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	0,94
НІКЕЛЬ	
$\text{Ni}^{2+} + 2e = \text{Ni}$	-0,228

<i>1</i>	<i>2</i>
ОКСИГЕН	
$O_3 + H_2O + 2e = O_2 + 2OH^{1-}$	0,020
$O_2 + 2H_2O + 4e = 4OH^{1-}$	0,401
$O_2 + 2H^{1+} + 2e = H_2O_2$	0,682
$O_2 + 4H^{1+} + 4e = 2H_2O$	1,229
$H_2O_2 + 2H^{1+} + 2e = 2H_2O$	1,770
$O_3 + 2H^{1+} + 2e = O_2 + H_2O$	2,070
ПЛЮМБУМ	
$Pb^{2+} + 2e = Pb$	-0,126
$PbO_2 + H_2O + 2e = PbO + 2OH^{1-}$	0,280
$Pb^{4+} + 4e = Pb$	0,770
$PbO_2 + 4H^{1+} + 2e = Pb^{2+} + 2H_2O$	1,455
$PbO_2 + SO_4^{2-} + 4H^{1+} + 2e = PbSO_4 + 2H_2O$	1,690
$Pb^{4+} + 2e = Pb^{2+}$	1,694
СУЛЬФУР	
$SO_4^{2-} + H_2O + 2e = SO_3^{2-} + 2OH^{1-}$	-0,930
$2SO_4^{2-} + 5H_2O + 8e = S_2O_3^{2-} + 10OH^{1-}$	-0,760
$SO_3^{2-} + 3H_2O + 4e = S + 6OH^{1-}$	-0,660
$2SO_3^{2-} + 3H_2O + 4e = S_2O_3^{2-} + 6OH^{1-}$	-0,580
$S + 2e = S^{2-}$	-0,480
$S_4O_6^{2-} + 2e = 2S_2O_3^{2-}$	0,090
$S + 2H^{1+} + 2e = H_2S$	0,171
$SO_4^{2-} + 10H^{1+} + 8e = H_2S + 4H_2O$	0,310
$SO_4^{2-} + 8H^{1+} + 6e = S + 4H_2O$	0,360
$H_2SO_3 + 4H^{1+} + 4e = S + 3H_2O$	0,450
$S_2O_3^{2-} + 6H^{1+} + 4e = 2S + 3H_2O$	0,500
$S_2O_8^{2-} + 2e = 2SO_4^{2-}$	2,010
$SO_4^{2-} + 4H^{1+} + 2e = H_2SO_3 + H_2O$	0,17
СТИБІЙ	
$Sb + 3H^{1+} + 3e = SbH_3$	-0,510
$SbO_3^{1-} + H_2O + 2e = SbO_2^{1-} + 2OH^{1-}$	-0,430
$Sb^{3+} + 3e = Sb$	0,200
$SbO_2^{1-} + 4H^{1+} + 3e = Sb + 2H_2O$	0,446
СТАНУМ	
$Sn(OH)_6^{2-} + 2e = HSnO_2^{1-} + 3OH^{1-} + H_2O$	-0,930
$SnCl_4^{2-} + 2e = Sn + 4Cl^{1-}$	-0,190
$Sn^{2+} + 2e = Sn$	-0,140
$SnO_2 + 4H^{1+} + 4e = Sn + 2H_2O$	-0,106
$Sn^{4+} + 4e = Sn$	0,010
$Sn^{4+} + 2e = Sn^{2+}$	0,150
ЦИНК	
$Zn^{2+} + 2e = Zn$	-0,764

Значення загальних констант нестійкості комплексних іонів (20–25 °С)

Комплексоутворювач	Іонізація комплексів	Константа нестійкості, $K_{\text{н}}$	
Ag^{1+}	$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^{1+} \rightleftharpoons \text{Ag}^{1+} + 2\text{NH}_3$	$5,75 \cdot 10^{-8}$	
	$[\text{AgCl}_2]^{1-} \rightleftharpoons \text{Ag}^{1+} + 2\text{Cl}^{1-}$	$9,12 \cdot 10^{-6}$	
	$[\text{AgI}_2]^{1-} \rightleftharpoons \text{Ag}^{1+} + 2\text{I}^{1-}$	$5,50 \cdot 10^{-12}$	
	$[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-} \rightleftharpoons \text{Ag}^{1+} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	$3,47 \cdot 10^{-14}$	
	$[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)]^{1-} \rightleftharpoons \text{Ag}^{1+} + \text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	$1,00 \cdot 10^{-13}$	
	$[\text{Ag}(\text{CN})_2]^{1-} \rightleftharpoons \text{Ag}^{1+} + 2\text{CN}^{1-}$	$1,41 \cdot 10^{-20}$	
	$[\text{Ag}(\text{SCN})_2]^{1-} \rightleftharpoons \text{Ag}^{1+} + 2\text{SCN}^{1-}$ $[\text{Ag}(\text{NO}_2)_2]^{1-} \rightleftharpoons \text{Ag}^{1+} + 2\text{NO}_2^{1-}$	$5,88 \cdot 10^{-9}$ $1,8 \cdot 10^{-3}$	
Al^{3+}	$[\text{Al}(\text{OH})_4]^{1-} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 4\text{OH}^{1-}$	$1,0 \cdot 10^{-33}$	
	$[\text{Al}(\text{F}_6)]^{3-} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 6\text{F}^{1-}$	$2,14 \cdot 10^{-21}$	
	$[\text{Al}(\text{SO}_4)_2]^{1-} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 2\text{SO}_4^{2-}$	$1,26 \cdot 10^{-6}$	
	$[\text{Al}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ $[\text{AlEДТА}]^{1-} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + \text{EДТА}^{4-}$	$5,00 \cdot 10^{-17}$ $7,41 \cdot 10^{-1}$	
Cd^{2+}	$[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 4\text{NH}_3$	$2,75 \cdot 10^{-7}$	
	$[\text{Cd}(\text{CN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 4\text{CN}^{1-}$ $[\text{CdI}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 4\text{I}^{1-}$	$1,76 \cdot 10^{-18}$ $7,94 \cdot 10^{-7}$	
	$[\text{Cd}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{2-} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$	$3,31 \cdot 10^{-7}$	
Co^{2+} Co^{3+}	$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+} + 6\text{NH}_3$ $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} \rightleftharpoons \text{Co}^{3+} + 6\text{NH}_3$	$7,80 \cdot 10^{-6}$ $6,16 \cdot 10^{-36}$	
	$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{4-} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+} + 6\text{CN}^{1-}$ $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3-} \rightleftharpoons \text{Co}^{3+} + 6\text{CN}^{1-}$	$8,13 \cdot 10^{-20}$ $1,00 \cdot 10^{-64}$	
	$[\text{CoEДТА}]^{2-} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+} + \text{EДТА}^{4-}$ $[\text{CoEДТА}]^{1-} \rightleftharpoons \text{Co}^{3+} + \text{EДТА}^{4-}$	$1,00 \cdot 10^{-17}$ $1,00 \cdot 10^{-36}$	
	Cu^{1+}	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^{1+} \rightleftharpoons \text{Cu}^{1+} + 2\text{NH}_3$ $[\text{Cu}(\text{CN})_4]^{3-} \rightleftharpoons \text{Cu}^{1+} + 4\text{CN}^{1-}$	$1,36 \cdot 10^{-11}$ $5,00 \cdot 10^{-31}$
		Cu^{2+}	$[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 4\text{NH}_3$ $[\text{Cu}(\text{C}_2\text{O}_4)_2]^{2-} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 2\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$
$[\text{CuCl}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 4\text{Cl}^{1-}$ $[\text{CuEДТА}]^{2-} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + \text{EДТА}^{4-}$	$2,40 \cdot 10^{-6}$ $1,58 \cdot 10^{-19}$		
Fe^{2+} Fe^{3+}	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 6\text{CN}^{1-}$ $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + 6\text{CN}^{1-}$		$1,00 \cdot 10^{-24}$ $1,00 \cdot 10^{-31}$
	$[\text{FeF}_6]^{3-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + 6\text{F}^{1-}$ $[\text{FeEДТА}]^{1-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + \text{EДТА}^{4-}$		$7,94 \cdot 10^{-17}$ $7,94 \cdot 10^{-26}$
	$[\text{Fe}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{3-} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + 3\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$	$6,31 \cdot 10^{-21}$	
	Hg^{2+}	$[\text{Hg}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{NH}_3$ $[\text{HgCl}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{Cl}^{1-}$	$5,20 \cdot 10^{-20}$ $8,50 \cdot 10^{-16}$
		$[\text{HgBr}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{Br}^{1-}$ $[\text{HgI}_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{I}^{1-}$	$1,00 \cdot 10^{-21}$ $1,48 \cdot 10^{-30}$
$[\text{Hg}(\text{CN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{CN}^{1-}$ $[\text{Hg}(\text{SCN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Hg}^{2+} + 4\text{SCN}^{1-}$		$3,09 \cdot 10^{-42}$ $1,70 \cdot 10^{-20}$	
Ni^{2+}		$[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 6\text{NH}_3$ $[\text{Ni}(\text{CN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 4\text{CN}^{1-}$	$1,23 \cdot 10^{-8}$ $1,00 \cdot 10^{-31}$
		$[\text{NiEДТА}]^{2+} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + \text{EДТА}^{4-}$	$2,40 \cdot 10^{-19}$
		Pb^{2+}	$[\text{Pb}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{2-} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ $[\text{PbEДТА}]^{2-} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + \text{EДТА}^{4-}$
Zn^{2+}	$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 4\text{NH}_3$ $[\text{Zn}(\text{OH})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 4\text{OH}^{1-}$		$2,00 \cdot 10^{-9}$ $2,19 \cdot 10^{-15}$
	$[\text{Zn}(\text{C}_2\text{O}_4)_3]^{4-} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 3\text{C}_2\text{O}_4^{2-}$ $[\text{Zn}(\text{CN})_4]^{2-} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 4\text{CN}^{1-}$	$7,08 \cdot 10^{-9}$ $1,00 \cdot 10^{-10}$	
	$[\text{ZnEДТА}]^{2-} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + \text{EДТА}^{4-}$	$3,16 \cdot 10^{-17}$	

Молярні маси речовин та молярні маси речовин еквівалента

Речовина	Молярна маса M , г/моль
<i>1</i>	<i>2</i>
Ag	107,87
AgBr	187,78
AgSCN	165,96
AgCl	143,32
Ag ₂ CrO ₄	331,73
Ag ₂ CO ₃	275,75
AgI	234,77
AgNO ₃	169,88
Ag ₂ O	231,74
Ag ₂ S	247,80
Al	26,98
1/3Al	8,99
2Al	53,96
Al(C ₉ H ₆ ON) ₃ (оксіхінолінат)	459,44
Al ₂ O ₃	101,96
1/6Al ₂ O ₃	16,99
Al(OH) ₃	78,00
Al ₂ (SO ₄) ₃	342,15
Al ₂ (SO ₄) ₃ ·18H ₂ O	666,42
As	74,92
As ₂ O ₃	197,84
As ₂ S ₃	246,04
1/4As ₂ O ₃	49,46
As ₂ O ₅	229,84
Ba	137,34
1/2Ba	68,67
BaBr ₂	297,16
BaCO ₃	197,35
BaCl ₂	208,25
BaCl ₂ ·2H ₂ O	244,28
BaCrO ₄	253,33
Ba(OH) ₂	171,36
BaSO ₄	233,40
BaSO ₃	217,40
B ₂ O ₃	69,62
Br	79,91
C	12,01

Речовина	Молярна маса M , г/моль
<i>1</i>	<i>2</i>
CO	28,01
CO ₂	44,01
1/2CO ₂	22,01
Ca	40,08
1/2Ca	20,04
CaCO ₃	100,09
1/2CaCO ₃	50,05
CaC ₂ O ₄	128,10
CaC ₂ O ₄ ·H ₂ O	146,12
CaF ₂	78,08
CaCl ₂	110,99
CaCl ₂ ·6H ₂ O	219,08
Ca ₃ (PO ₄) ₂	310,18
Ca(H ₂ PO ₄) ₂	234,04
CaO	56,08
1/2CaO	28,04
Ca(OH) ₂	74,10
1/2Ca(OH) ₂	37,05
Ca(NO ₃) ₂	164,09
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ ·H ₂ O	252,06
CaSO ₄	136,14
CaSO ₄ ·2H ₂ O	172,17
Cd ₂ P ₂ O ₇	398,74
Cl	35,45
2Cl	70,90
C ₆ H ₅ OH	94,11
Cr ₂ O ₃	151,99
1/2Cr ₂ O ₃	76,01
CrO ₃	100,00
1/3CrO ₃	33,33
Cr(OH) ₃	103,02
Cu	63,55
CuSCN	121,62
Cu ₂ O	143,08
CuO	79,54
1/2CuO	39,77
CuSO ₄	159,60
CuSO ₄ ·5H ₂ O	249,68

<i>1</i>	<i>2</i>
Fe	55,85
2Fe	111,70
FeCO ₃	115,86
FeCl ₂	126,75
FeCl ₃	162,21
FeO	71,85
Fe ₂ O ₃	159,69
Fe(OH) ₃	106,87
1/2Fe ₂ O ₃	79,85
Fe ₃ O ₄	231,54
2Fe(OH) ₃	213,74
FeS	87,91
FeSO ₄	151,91
FeSO ₄ ·7H ₂ O	278,02
Fe ₂ (SO ₄) ₃	399,88
H	1,008
H ₂	2,016
H ₂ O	18,015
1/2H ₂ O	9,008
2H ₂ O	36,030
3H ₂ O	54,045
H ₂ O ₂	34,01
H ₃ BO ₃	61,83
HCOOH	46,03
CH ₃ COOH	60,05
CH ₃ COO ⁻	59,04
H ₂ C ₂ O ₄	90,04
1/2H ₂ C ₂ O ₄	45,02
H ₂ C ₂ O ₄ ·2H ₂ O	126,07
1/2H ₂ C ₂ O ₄ ·2H ₂ O	63,04
1/2H ₂ C ₄ H ₄ O ₄ (янтарна (бурштинова) кислота)	59,05
C ₆ H ₅ COOH (бензойна кислота)	122,13
HCl	36,46
2HCl	72,92
HNO ₃	63,01
H ₃ PO ₃	82,00
H ₃ PO ₄	98,00
1/3H ₃ PO ₄	32,67
1/2H ₃ PO ₄	49,00
H ₂ S	34,08
H ₂ SO ₄	98,08
1/2H ₂ SO ₄	49,04

<i>1</i>	<i>2</i>
Hg	200,59
Hg ₂ Cl ₂	472,09
HgCl ₂	271,50
HgO	216,59
I	126,90
K	39,10
KAl(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	474,39
KBr	119,01
KBrO ₃	167,00
1/6KBrO ₃	27,83
KHCO ₃	100,11
K ₂ CO ₃	138,21
1/2K ₂ CO ₃	69,11
KCl	74,56
KClO ₃	122,55
1/6KClO ₃	20,43
K ₂ CrO ₄	194,20
K ₂ Cr ₂ O ₇	294,19
1/6K ₂ Cr ₂ O ₇	49,03
K ₃ [Fe(CN) ₆]	329,23
K ₄ Fe(CN) ₆]	368,33
KI	166,01
KIO ₃	214,00
1/6KIO ₃	35,67
KMnO ₄	158,04
1/5KMnO ₄	31,61
1/3KMnO ₄	52,68
K ₂ O	94,20
1/2K ₂ O	47,10
K ₂ PtCl ₆	486,01
KOH	56,11
K ₂ SO ₄	174,27
Mg	24,31
MgCO ₃	84,32
Mg(NH ₄)PO ₄ ·6H ₂ O	245,43
MgO	40,31
Mg(OH) ₂	58,33
MgC ₂ O ₄	112,33
MgCl ₂ ·KCl·6H ₂ O	277,86
Mg ₂ P ₂ O ₇	222,56
MgSO ₄	120,37
MgSO ₄ ·7H ₂ O	246,48

<i>1</i>	<i>2</i>
MnCO ₃	114,95
MnO ₂	86,94
1/2MnO ₂	43,47
N	14,007
NH ₃	17,03
2NH ₃	34,06
NH ₄ ⁺	18,04
(NH ₄) ₂ Al ₂ (SO ₄) ₄ ·24H ₂ O	906,66
(NH ₄) ₃ PO ₄ ·12MoO ₃	1876,40
NH ₄ Br	97,95
NH ₄ SCN	76,12
(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ ·H ₂ O	142,11
1/2(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ ·H ₂ O	71,06
NH ₄ Cl	53,49
NH ₄ Fe(SO ₄) ₂ ·12H ₂ O	482,19
(NH ₄) ₂ Fe(SO ₄) ₂ ·6H ₂ O	392,14
NH ₄ H ₂ PO ₄	115,03
(NH ₄) ₂ HPO ₄	132,06
NH ₄ I	144,94
NH ₄ NO ₃	80,00
NH ₄ OH	35,046
(NH ₄) ₂ PtCl ₆	443,88
(NH ₄) ₂ SO ₄	132,14
N ₂ O ₅	108,01
Na	22,99
Na ₂ B ₄ O ₇	201,22
Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	381,37
1/2Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	190,69
NaBr	102,90
Na ₂ CO ₃	105,99
NaHCOO	68,02
1/2Na ₂ CO ₃	53,00
Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	286,14
1/2Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O	143,07
Na ₂ C ₂ O ₄	134,00
1/2Na ₂ C ₂ O ₄	67,00
Na ₃ AlF ₆	209,94
NaCH ₃ COO	82,03
Na ₂ Cr ₂ O ₇	261,97
1/6Na ₂ Cr ₂ O ₇	43,66

<i>1</i>	<i>2</i>
NaMg(UO ₂) ₃ ·(CH ₃ COO) ₆	1388,94
NaCl	58,44
Na ₂ CrO ₄	161,98
NaHCO ₃	84,01
Na ₂ HPO ₄ ·12H ₂ O	358,14
NaPO ₃	101,96
NaI	149,89
NaNO ₂	69,00
NaNO ₃	85,00
Na ₂ O	61,98
1/2Na ₂ O	30,99
Na ₂ O ₂	77,98
NaOH	40,00
Na ₂ S	78,04
1/2Na ₂ S	39,02
Na ₂ S ₂ O ₃	158,11
Na ₂ S ₂ O ₃ ·5H ₂ O	248,18
Na ₂ SO ₃	126,04
1/2Na ₂ SO ₃	63,02
Na ₂ SO ₃ ·7H ₂ O	252,15
1/2Na ₂ SO ₃ ·7H ₂ O	126,08
Na ₂ SO ₄	142,04
Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O	322,19
Ni	58,71
NiO	74,71
Ni(C ₄ N ₂ O ₂ H ₇) ₂	288,94
NiSO ₄ ·7H ₂ O	280,88
O	15,999
OH ⁻	17,01
P	30,97
P ₂ O ₅	141,98
P ₂ O ₅ ·24MoO ₃	3596,50
Pb	207,19
PbBr ₂	368,01
Pb(CH ₃ COO) ₂ ·3H ₂ O	379,33
PbCO ₃	267,20
PbCl ₂	278,10
PbCrO ₄	323,18
PbI ₂	461,00
PbO	223,19

<i>1</i>	<i>2</i>
Pb ₃ O ₄	685,57
PbO ₂	239,19
PbS	239,25
PbSO ₄	303,25
Pt	195,09
S	32,06
SO ₂	64,06
SO ₃	80,06
SO ₄ ²⁻	96,06
Sb	121,75
Sb ₂ O ₃	291,50
Si	28,09
SiF ₄	104,08
SiO ₂	60,09
Sn	118,69
SnCl ₂	189,60
SnCl ₂ ·2H ₂ O	225,63

<i>1</i>	<i>2</i>
SnO	134,69
SnO ₂	150,69
Sr	87,62
SrCO ₃	147,63
Sr(OH) ₂ ·8H ₂ O	265,76
Sr(NO ₃) ₂	211,63
SrSO ₄	183,68
Zn	65,37
ZnCO ₃	125,38
ZnCl ₂	136,28
ZnNH ₄ PO ₄	178,40
ZnO	81,37
Zn(OH) ₂	99,39
Zn ₂ P ₂ O ₇	304,68
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	287,54
ZnS	97,43

Наближені значення коефіцієнтів активності при різній іонній силі розчину

Іонна сила	Коефіцієнти активності іонів			
	однозарядних	двозарядних	трьох-зарядних	чотирьох-зарядних
1·10 ⁻⁴	0,990	0,950	0,900	0,830
2·10 ⁻⁴	0,980	0,940	0,870	0,770
5·10 ⁻⁴	0,975	0,900	0,800	0,670
1·10 ⁻³	0,960	0,860	0,730	0,560
2·10 ⁻³	0,950	0,810	0,645	0,455
2,5·10 ⁻³	0,945	0,805	0,640	0,450
5,5·10 ⁻³	0,920	0,720	0,510	0,300
1·10 ⁻²	0,890	0,630	0,390	0,190
2·10 ⁻²	0,870	0,570	0,320	0,150
2,5·10 ⁻²	0,855	0,550	0,280	0,120
5·10 ⁻²	0,810	0,450	0,240	0,100
0,1	0,780	0,370	0,180	0,060
0,2	0,700	0,240	0,080	0,030
0,3	0,660	—	—	—
0,5	0,620	—	—	—

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ*

Тема: „Аналітична хімія як наука”, „Якісний аналіз”

1. **Аналітична хімія** – наукова дисципліна про принципи, методи і засоби визначення хімічного складу і будови хімічної сполуки, речовини та матеріалу.

2. **Хімічний аналіз** – сукупність дій, які дозволяють одержати інформацію про хімічний склад об'єкту, що вивчається.

3. **Компонент** – досліджувана сполука, або атом, або молекула, яка входить в склад зразка.

4. **Проба (зразок)** – частина матеріалу, що аналізується, яка відображає його середній склад.

5. **Наважка (аналітична наважка)** – частина проби, що використовується при виконанні аналітичного дослідження.

6. **Об'єкт аналізу** – в аналітичній хімії те, що аналізують (тобто предмет дослідження).

7. **Метод аналізу** – коротке визначення принципів, покладених в основу аналізу речовини. Принципи аналітичних визначень: всі якісні визначення ґрунтуються на будові атома, іона і їх властивостях, а кількісні визначення – на функціональній залежності аналітичних властивостей визначуваних речовин від їх структури і концентрації, на еквівалентності взаємодії речовин у хімічних реакціях.

8. **Методика аналізу** – детальний опис всіх умов і послідовності реакцій, які забезпечують необхідну точність і відтворюваність при проведенні аналізу певного хімічного об'єкта.

9. **Аналітичний сигнал** – середнє значення результатів вимірювань, функціонально зв'язане із вмістом визначуваного компонента. В якісному хімічному аналізі аналітичний сигнал – це зміна агрегатного стану або зовнішнього вигляду речовини в результаті хімічної реакції, виділення газу тощо.

10. **Метрологічна оцінка методу аналізу** – визначення правильності і відтворюваності методу аналізу, нижньої і верхньої межі концентрацій, що визначаються.

11. **Ідентифікація** (від лат. indentifico – ототожнення) – встановлення тотожності невідомої сполуки з іншою, відомою. Для цього співставляють фізичні, фізико-хімічні і хімічні константи, тобто зіставляють властивості і реакції обох речовин.

12. **Якісний аналіз** – сукупність фізичних, хімічних і фізико-хімічних методів, які використовуються для виявлення елементів, іонів, радикалів, характеристичних

* Використана література:

1. Сегеда А. С. Аналітична хімія. Якісний аналіз : навч.-метод. посіб. Київ : ЦУЛ, 2002. 524 с.
2. Сегеда А. С. Аналітична хімія. Кількісний аналіз. Київ : Фітосоціоцентр, 2006. 544 с.
3. Шафорост Ю. А., Мінаєва В. О. Курс лекцій із загальних теоретичних основ аналітичної хімії та теми для самостійного опрацювання : навч. посіб. для студ. вищих навч. закл. Черкаси : Вид. від. ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2025. 282 с.
4. Мінаєва В. О., Шафорост Ю. А., Нінова Т. С. Аналітична хімія. Кількісний хімічний аналіз (Методи гравіметричного і титриметричного аналізу) : навч.-метод. посіб. для студ. вищих навч. закл. Черкаси : Вид. Від. ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2025. 456 с.
5. Білий О. В. Фізична хімія : навчальний посібник для вузів / О. В. Білий. – Київ : ЦУЛ, Фітосоціоцентр, 2002. – 364 с.
6. Сегеда А. С. Хімія. Понятійний апарат : навч. посіб. для студентів. Київ, 2006. 562 с.
7. Корнілов М. Ю., Білодід О. І., Голуб О. А. Термінологічний посібник з хімії : для викладачів і вчителів хімії та учнів середніх навчальних закладів. Київ : ІЗМН, 1996. 254 с.

(функціональних) груп і сполук, що входять до складу досліджуваних речовин. В якісному аналізі застосовують характерні реакції, які супроводжуються аналітичним сигналом (поява або зникнення забарвлення, виділення або розчинення осаду, утворення газу тощо). Характерні реакції повинні бути селективними і високочутливими. Якісний аналіз у водних розчинах ґрунтується на іонних реакціях і дозволяє виявляти та ідентифікувати катіони або аніони.

13. Кількісний аналіз – процес визначення кількісного вмісту кожного або всіх компонентів, які входять до складу об'єкту, що аналізують.

Терміни 12-13 класифікують аналітичну хімію за видами аналізу.

14. Ізотопний аналіз – визначення частки ізотопів хімічного елементу в зразку.

15. Елементний органічний аналіз – сукупність аналітичних методів, які використовуються для кількісного визначення елементів в органічних сполуках.

16. Структурний аналіз – визначення будови речовин і матеріалів, тобто з'ясування розташування в просторі складових їх структурних одиниць (молекул, іонів, атомів).

17. Функціональний аналіз – сукупність фізичних і хімічних методів аналізу, які використовують для якісного і кількісного визначення в органічних сполуках реакційно здатних груп атомів (або окремих атомів), так званих функціональних груп. Відомо близько 100 функціональних груп. Наприклад: **1)** функціональні групи, які містять Оксиген: гідроксигрупа $-OH$, карбонільна $=C=O$, карбокси- $-COOH$, алкоксильна $-OR$ (типу $-OCH_3$) та ін;

2) функціональні групи, які містять Нітроген: аміногрупа $-NH_2$, нітро- $-NO_2$, нітроз- $-NO$, нітрильна $-CN$, гідразинова $-NHNH_2$, амідна $-CONH_2$ та ін.;

3) функціональні групи, які містять Сульфур: тіольна $-SH$, сульфідна $=S$, дисульфідна $-S-S-$, сульфоксидна $=S=O$, сульфонна $=SO_2$ та ін.;

4) функціональні групи, які містять ненасичені карбон-карбонові зв'язки: $-C=C-$, $-C\equiv C-$.

Функціональний аналіз використовується при встановленні структури молекул невідомих органічних сполук, визначення органічних сполук, у контролі виробництва.

18. Молекулярний аналіз – це аналіз складних сумішей органічних сполук, визначення їх молекулярного та кількісного складу.

19. Фазовий аналіз – визначення хімічного складу і кількості окремих фаз у гетерогенних системах чи індивідуальних форм сполук елементів у рудах, сплавах, напівпровідниках та ін.

Терміни 14-19 класифікують аналітичну хімію за тим, що визначають.

20. Локальний аналіз – аналіз в окремій точці, на поверхні, на гранях або на ребрах кристала, пошаровий аналіз. Локальний аналіз проводять в основному для визначення неоднорідностей на поверхні і в об'ємі.

21. Валовий аналіз – аналіз, який проводять по всій масі зразка.

Терміни 20-21 класифікують аналітичну хімію по тому, де визначають.

22. Пробірний аналіз (пробірне мистецтво) – методи визначення благородних металів (золота, срібла, платини та ін.) у рудах, продуктах їх переробки, злитках, готових виробів із використанням хіміко-металургійних процесів (виплавлення, купелювання та ін.).

23. Арбітражний аналіз – контрольний аналіз при виникненні протиріч між поставщиком і споживачем, який проводиться для встановлення відповідності сировини, готової продукції нормам, державним стандартам або технічним умовам.

24. Стандарт – це нормативний документ на метод, методику аналізу чи на стандартні зразки. Це офіційний документ, який визначає допустимі кількості речовин домішок та методи їх визначення. Стандарти є державні, галузеві, стандарт підприємства, технічні умови, керівні нормативні документи (КНД), державна

фармакопея.

25. Технічний аналіз – сукупність фізичних, фізико-хімічних і хімічних методів аналізу сировини, напівфабрикатів і готової промислової продукції. Технічний аналіз займається аналітичним контролем різних технологічних виробництв, наприклад, сталей, добрив, води. Види аналізів, методи, техніка роботи та ін. регламентуються державними стандартами (ДСТ), технічними умовами (ТУ) або керівними нормативними документами (КНД). Розрізняють марковані, прискорені (експресні), контрольні (арбітражні) методи технічного аналізу.

26. Макрометоди аналізу – сукупність методів і прийомів роботи, які дозволяють проводити аналіз з великими наважками речовини (0,5-1 г і більше) і потребують об'єму розчинів 10-100 см³. Посуд і колби ємністю 150-200 см³, пробірки 10-20 см³. Для відділення осаду від розчину використовують фільтрування.

27. Напівмікрометоди аналізу – сукупність методів і прийомів роботи, які дозволяють проводити аналіз з наважками речовини від 0,01 до 0,10 г або 0,5-5,0 см³ розчину. Реакції виконують в пробірках об'ємом 1-3 см³ або краплинним методом, або мікрокристалоскопічним методом, при використанні якого про наявність допоміжних іонів судять за кольором і формою кристалів, які утворилися. Для відділення осаду від розчину використовують як фільтрування, так і центрифугування.

28. Мікрометоди якісного аналізу – сукупність методів і прийомів роботи, які дозволяють проводити аналіз з наважками речовини від 0,010 до 0,001 г речовини і від 0,05 до 0,50 см³ розчину. Для відділення осаду від розчину використовують не фільтрування, як у макроаналізі, а центрифугування.

29. Ультрамикроаналіз – сукупність методів якісного і кількісного аналізу малих кількостей речовин (маса проби 10⁻⁶-10⁻⁴ г, об'єм розчину менше 10⁻² см³). Об'єктами ультрамикроаналізу є малі кількості природних і синтезованих сполук, включення в сплавах металів, в мінералах, метеоритах, продукти корозії.

Терміни 26-29 класифікують аналітичну хімію в залежності від масштабів робіт, тобто від того, з якою кількістю речовини мають справу при виконанні аналізу.

30. Центрифугування – розділення неоднорідних систем (наприклад, рідина – тверді часточки) на фракції за густиною за допомогою відцентрових сил. Центрифугування здійснюється в апаратах, які називаються центрифугами. Центрифугування в якісному аналізі використовується для відокремлення осаду від розчину

31. Методи ідентифікації (методи виявлення) – методи хімічного аналізу, які засновані на встановленні тотожності невідомої сполуки з іншою, відомою, на основі співставлення з фізичними і хімічними властивостями, що спостерігаються.

32. Методи розділення – допоміжні методи, їх використовують для розділення речовин, якщо неможна відразу проводити визначення. Для розділення використовують методи осадження, електролізу, екстракції, хроматографії, дистиляції, зонної плавки та інші. В якісному аналізі для розділення іонів елементів використовують групові реагенти, які дозволяють найважчу задачу аналізу складних сумішей призвести до кількох порівняно простих задач.

33. Методи визначення – методи кількісного аналізу.

34. Гібридні методи аналізу – це методи, які об'єднують розділення і визначення. Наприклад, *газова хроматографія*, де розділення проводять в хроматографічній колонці і визначають компоненти детектором. В *екстракційно-фотометричному методі* іон, що визначають, екстрагують у вигляді забарвленого комплексу, наприклад жовто-коричневого комплексу Cu²⁺ з натрій діетилдитіокарбаматом (НаДДТК), який фотометрують.

В залежності від того, які властивості спостерігають і які процеси покладено в основу методів аналізу, розрізняють:

- а) фізичні методи аналізу;
- б) фізико-хімічні методи аналізу;
- в) хімічні методи аналізу;
- г) біоаналітичні методи аналізу.

35. **Фізичні методи аналізу** – методи, які засновані на спостереженні якої-небудь фізичної властивості, характерної для елемента, що визначають. До них відносяться методи, засновані на вивченні оптичних, електричних, магнітних, теплових та інших властивостей.

36. **Фізико-хімічні методи аналізу** – велика група кількісних методів аналізу, які ґрунтуються на вимірюванні різних фізичних явищ, які відбуваються при хімічних реакціях, із використанням відповідних приладів.

Фізичні та фізико-хімічні методи аналізу ще називають інструментальними методами.

37. **Інструментальні методи аналізу** – методи кількісного визначення вмісту речовин, для виконання яких необхідна відповідна апаратура. До інструментальних методів аналізу належать: **1)** електрохімічні методи – потенціометрія, полярографія, кондуктометрія та ін; **2)** методи, які ґрунтуються на випромінюванні або поглинанні випромінювання, – емісійний спектральний аналіз, фотометричні методи, рентгеноспектральний аналіз та ін.; **3)** масспектральний аналіз; **4)** методи, в основі яких лежить вимірювання радіоактивності. Є й інші інструментальні методи аналізу.

38. **Хімічні методи аналізу** – методи аналізу, в яких використовують характерні хімічні реакції, що супроводжуються зовнішніми проявами: утворенням у розчинах осадів певного кольору, зміною кольору розчину або розплав, виділенням газоподібних продуктів без запаху або з певним запахом тощо.

39. **Біоаналітичні методи** – це методи хімічного аналізу, коли про наявність або кількість речовини хімічного компонента роблять висновок за характером і величиною дії хімічного компонента на індикаторний організм.

40. **Аналітичні реакції** – хімічні реакції, які використовуються в аналітичній хімії для виявлення (ідентифікації), розділення і кількісного визначення елементів, атомів, іонів, молекул.

41. **Аналітичні реагенти (реактиви)** – речовини (хімічні препарати), які використовуються для проведення аналітичних реакцій. Їх розрізняють на:

- особливо чисті (о. ч.) – 10^{-7} - 10^{-9} % домішок;
- хімічно чисті (х. ч.) – 0,05 % домішок;
- чисті для аналізу (ч. д. а.) – 0,4 % домішок;
- чисті (ч.) – 1% домішок.

42. **Селективність (вибірковість) аналізу** – можливість визначати або виявляти компонент, який аналізують (молекули, іони, функціональні групи), в присутності інших супутніх компонентів.

43. **Селективні (вибіркові) аналітичні реакції** – реакції, які при певних умовах проходять одночасно тільки з небагатьма іонами (речовинами) та дають аналітичний ефект на обмежене число іонів (речовин), а також забезпечують високу селективність аналізу.

44. **Селективні (вибіркові) аналітичні реагенти** – реагенти, які в окремих умовах дають аналітичні реакції тільки з небагатьма речовинами та забезпечують високу селективність (вибірковість) аналізу.

45. **Характерні аналітичні реакції** – реакції, які властиві даній речовині або іону.

46. **Характерний аналітичний реагент (реактив)** – аналітичний реагент на даний іон, речовину.

47. **Специфічні аналітичні реакції** – реакції, які дозволяють визначити або виявити необхідну речовину (іон) в умовах досліду в присутності інших речовин (іонів) без попереднього їх виділення.

48. **Специфічні аналітичні реагенти (реактиви)** – аналітичні органічні або неорганічні реагенти, які дозволяють за певних умов виявити (визначити) одну речовину (іон). Наприклад, крохмаль є специфічним реагентом на просту речовину йод.

49. **Загальноаналітичні реакції** – реакції, в результаті яких всі, або більшість певного виду іонів, які знаходяться в даному розчині, утворюють осаді або газоподібні продукти або, навпаки, багатокомпонентні осаді розчиняються. Реактиви, які викликають такі реакції, називаються загальноаналітичними (кислоти HCl, H₂SO₄, луки NaOH, KOH, NH₄OH, солі Na₂CO₃, Na₂HPO₄ та ін.)

50. **Групові аналітичні реакції** – реакції, в результаті яких із суміші іонів невелика їх група утворює осаді або газоподібні продукти, або навпаки, в результаті яких складові частини багатокомпонентних осадів переходять в розчин.

51. **Груповий аналітичний реагент (реактив)** – реагент (реактив), який утворює з великим числом неорганічних іонів або певними класами органічних сполук характерні продукти реакції (осаді, газі, розчинні забарвлені сполуки). Наприклад, 2 M розчин хлоридної кислоти HCl є груповим реактивом для Ag⁺, Pb²⁺ і Hg₂²⁺ -іонів за кислотно-лужною системою аналізу катіонів, оскільки він утворює з цими катіонами осаді хлоридів, нерозчинних у воді і 2 M розчині нітратної(V) кислоти. Групові реактиви використовують у практиці аналітичної хімії для відокремлення групи катіонів з їх суміші.

52. **Окремі аналітичні реакції** – характерні аналітичні реакції, які використовують в якісному аналізі для виявлення окремого іону.

53. **Маскування** (в аналітичній хімії) – зв'язування заважаючих іонів у малодисоційовані, в основному безбарвні комплексні сполуки або переведення їх в іншу форму (наприклад, зміною ступеня окиснення) без видалення з аналізованого розчину при виявленні, визначенні і відокремленні яких-небудь компонентів аналізованого об'єкта.

54. **Дробний хід аналізу** – аналіз, при якому склад речовини визначають специфічними у певних умовах реакціями, які дозволяють відкрити досліджувані іони в присутності інших іонів.

55. **Систематичний хід аналізу** – аналіз, при якому суміш іонів спочатку розділяють за допомогою так званих групових реагентів на декілька окремих груп. Потім у межах кожної з цих груп виявляють окремі іони певними характерними реакціями.

56. **Осадження** – виділення одного чи кількох іонів або речовин у вигляді малорозчинної сполуки. Осадження використовують для розділення елементів у хімічному якісному і кількісному аналізі і в хімічній технології. На утворенні осадів ґрунтується багато методів виявлення, розділення, гравіметричного і титриметричного визначення іонів елементів і речовин.

57. **Аналітична група** – сукупність хімічних сполук, які мають одну або кілька спільних хімічних властивостей (наприклад, однотипну розчинність або здатність реагувати з певною речовиною). Наприклад, аргентум(1+)-, плюмбум(2+)- і димеркурій(2+)-іони з хлорид-іоном утворюють нерозчинні хлориди – AgCl, PbCl₂, Hg₂Cl₂.

58. **Аніони** – негативно заряджені іони (наприклад, [Cr(OH)₆]³⁻, Cl⁻, OH⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻, тощо). В електричному полі аніони переміщуються до позитивно зарядженого електрода – анода. Аніони є в розчинах більшості солей, кислот і основ, а також у кристалічній ґратці сполук із іонним зв'язком і в розплавах.

59. **Катіони** – атоми або групи атомів, які несуть позитивний електричний заряд, наприклад, H^+ або (H_3O^+) -, Na^+ -, NH_4^+ -катіони.

60. **Класифікація катіонів (аніонів)** (від *лат.* classis – розряд, клас і facio – роблю, розкладаю) – розподіл катіонів (аніонів) на групи в якісному аналізі.

61. **Крапельний аналіз** – метод якісного або напівкількісного хімічного аналізу, у якому досліджуваній розчин і реагент беруть у кількості однієї чи двох крапель; виявлення іонів або речовин виконують на фільтрувальному папері або крапельній пластинці, рідше в мікропробірці або прямо на зразку. Використовують для контролю чистоти різних речовин, для швидкого аналізу руд і мінералів за польових умов. **Крапельний аналіз** на фільтрувальному папері заснований на капілярно-адсорбційних явищах у волокнах фільтрувального паперу.

62. **Пірохімічний аналіз** (від *грец.* πυρ – вогонь) – методи виявлення деяких хімічних елементів (наприклад, у солях, у мінералах) шляхом нагрівання речовини до високої температури. Відомо три прийоми пірохімічного аналізу: отримання забарвлених перлів, реакції забарвлення полум'я, реакції розкладу.

63. **Мікрокристалоскопічний метод аналізу** – метод якісного мікрохімічного аналізу, у якому на предметне скло наносять краплю досліджуваного об'єкту і краплю реагенту. Потім предметне скло нагрівають і розглядають утворені кристали під мікроскопом. Мікрокристалоскопічний метод аналізу застосовують для виявлення неорганічних і органічних речовин за характерними кристалічними осадами.

64. **Безстружковий метод аналізу металів і сплавів** – метод якісного або напівкількісного хімічного аналізу, у якому на поверхню зразка наносять краплю нітратної кислоти або іншого розчинника; при цьому частина металу розчиняється. Потім з краплею отриманого розчину проводять крапельний аналіз.

65. **Чутливість аналітичної реакції** – найменша кількість іона, яку можна відкрити з допомогою даного реагенту даною реакцією за певних умов її виконання або кількісно визначити даним методом аналізу із заданою довірчою ймовірністю.

В якісному аналізі чутливість реакції кількісно характеризується трьома взаємозв'язаними показниками:

– відкриваним мінімумом m_{min} (мкг);

– граничною концентрацією $c_{гран}$ (г/см³);

– мінімальним об'ємом гранично розведеного розчину V_{min} (см³).

66. **Відкриваний мінімум, m_{min}** або спрощено m – найменша маса іону (речовини), яка в певних умовах дозволяє відкрити іон (речовину) дією даного реагенту в мініальному об'ємі гранично розведеного розчину. Ця величина дуже мала, її виражають у мікрограмах (мкг), тобто у мільйонних частинах грама, 1 мкг позначають грецькою буквою γ .

67. **Гранична (мінімальна) концентрація, $c_{гран}$ (c_{min})** – величина, що показує, при якій мінімальній концентрації досліджуваної речовини в розчині дана реакція ще дає позитивний результат при відкритті досліджуваної речовини в певному об'ємі (мініальному об'ємі). Чисельно гранична концентрація виражається відношенням одиниці маси іону, що визначається (г), до такого найбільшого об'єму розчинника (см³), при якому реакція ще може дати позитивний результат (виражають в г/см³):

$$c_{гран} = \frac{1}{V_{гран}} = \frac{m}{V_{min} \cdot 10^6},$$

де $V_{гран}$ – об'єм розчинника (см³), в якому міститься 1 г досліджуваних іонів або речовини.

68. **Мінімальний об'єм гранично розведеного розчину V_{min}** – найменший об'єм досліджуваного розчину, який містить відкриваний мінімум іону, що визначається, та

необхідний для визначення досліджуваної речовини певною аналітичною реакцією (виражають в см³).

$$V_{min} = \frac{m}{c_{гран} \cdot 10^6}$$

69. **Граничне розведення** $V_{гран}$ – величина, що показує, в якому об’ємі розчинника треба розчинити 1 г іону, що визначається, щоб реакція відбувалась в певних умовах (виражають в см³/г). Граничне розведення є величиною, оберненою до граничної концентрації.

$$V_{гран} = \frac{1}{c_{гран}}$$

70. **Екстрагування** (екстракція, від лат. *extraho* – витяг) – розділення сумішей рідких або твердих речовин за допомогою вибіркового (селективного) розчинників (екстрагентів), яке ґрунтується на різній розчинності в них компонентів суміші. В аналітичній хімії екстрагування використовують для розділення близьких за властивостями хімічних елементів, концентрування слідів елементів.

71. **Рівняння хімічних реакцій** – умовний скорочений запис хімічної реакції за допомогою символів хімічних елементів чи хімічних формул речовин, які беруть участь у цій хімічній реакції, і стехіометричних чисел реакції (або стехіометричних коефіцієнтів).

Види рівнянь хімічних реакцій:

молекулярні ($\text{AgNO}_3 + \text{NaCl} = \text{AgCl} + \text{NaNO}_3$),

іонно-молекулярні ($\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- = \text{AgCl}$),

іонно-електронні ($\text{MnO}_4^- + 5e + 8\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$).

Рівняння хімічної реакції – це умовна форма, вона ніколи повністю не відбиває сутності явища. Проте така модель необхідна у процесі пізнання, хоч містить елементи умовності. Рівняння хімічної реакції є базою для проведення практичних розрахунків у хімії.

72. **Реактив Несслера** – розчин $\text{K}_2[\text{HgI}_4]$ у KOH ; при взаємодії з амоніаком NH_3 , солями амоній-іона NH_4^+ утворює червоно-коричневий осад. Використовують для виявлення і визначення амоніаку, Нітрогену (після переведення в амоніачну форму).

Тема: „Стан сильних і слабких електролітів у розчинах”

1. **Електроліти** – речовини, водні розчини або розплави яких проводять електричний струм. Всі електроліти поділяють на сильні електроліти (ступінь дисоціації близький до 1) і слабкі електроліти (ступінь дисоціації близький до 0).

2. **Неелектроліти** – речовини, розчини або розплави яких не проводять електричний струм.

3. **Дисоціація** – розпад речовини, молекули, радикалу або іона на кілька частинок, які мають меншу молекулярну масу. Залежно від характеру дії, яка викликає дисоціацію, розрізняють електролітичну дисоціацію, дисоціацію під дією іонізуючих випромінювань, фотодисоціацію (наприклад, $\text{Cl}_2 + h\nu = 2\text{Cl}$), термічну дисоціацію. Таким чином, дисоціацію викликають дія розчинника, температури, світла чи інших факторів. У хімії полімерів замість терміну “дисоціація” використовують термін “деструкція”.

4. **Електролітична дисоціація** – розпад молекул електролітів (основ, кислот, солей) на іони при їх розчиненні у воді або при розплавленні. Розпад відбувається завдяки впливу на молекули електроліту полярних молекул розчинника. Необхідною умовою електролітичної дисоціації у водному розчині є наявність у речовині іонного або

ковалентного полярного зв'язку і достатня полярність розчинника, а у розплавах – іонний тип ґратки речовини, яку нагрівають.

5. **Теорія електролітичної дисоціації** – класична теорія електролітичної дисоціації, яку розробив С. Арреніус (1887 р.).

6. **Сильні електроліти** – електроліти, які в розчині дисоціюють практично повністю.

7. **Слабкі електроліти** – електроліти, які в розчині дисоціюють лише частково, у їх розчинах встановлюється динамічна рівновага між молекулами та іонами, на які вони дисоціюють.

8. **Оборотний процес** – хімічний процес, який протікає одночасно в двох протилежних напрямках (прямому і зворотному). Процес електролітичної дисоціації (іонізації) слабких електролітів є оборотним.

9. **Необоротний процес** – процес, при якому взяті речовини повністю перетворюються в продукти реакції, що не реагують між собою за даних умов, наприклад: розкладання вибухових речовин, горіння вуглеводнів.

10. **Ступінь дисоціації електролітів** – величина, яка характеризує стан рівноваги процесу дисоціації в гомогенних (однорідних) системах (газуватих, рідких). Ступінь електролітичної дисоціації (α) є мірою сили електроліту. Ступінь електролітичної дисоціації речовини у розчині дорівнює відношенню числа молекул N , що продисоціювали у розчині, до загального числа молекул N у цьому розчині. Ступінь дисоціації речовини виражають у частках одиниці, але часто ступінь дисоціації виражають у процентах. Наприклад, у 0,01 M розчині ацетатної (етанової) кислоти CH_3COOH ступінь дисоціації дорівнює близько 4%. Це означає, що у водному розчині кислоти лише 4 з кожних 100 молекул продисоціювали, тобто знаходяться у вигляді гідроген- і ацетат-іонів (H^+ , CH_3COO^-), решта 96 молекул не продисоціювали. Ступінь дисоціації залежить від природи розчиненої речовини, природи розчинника, температури, концентрації речовини у розчині.

11. **Позірний ступінь дисоціації електролітів** – ступінь дисоціації, яка отримується в результаті безпосереднього вимірювання (за виміром електропровідності, осмотичного тиску, пониження температури замерзання і підвищення температури кипіння).

12. **Електростатична взаємодія** – взаємодія нерухомих електричних зарядів.

13. **Міжіонні сили** – сили електролітичної взаємодії іонів, які зменшують рухливість іонів, що, в свою чергу, знижує електропровідність розчинів, впливає на осмотичний тиск, на температуру замерзання і кипіння розчинів, за величиною яких визначають ступінь дисоціації, і створює ефект неповної дисоціації електроліту.

14. **Активність, a (активна концентрація іонів)** – ефективна (позірна, уявна) концентрація іонів у водних розчинах з урахуванням електростатичної взаємодії між ними

15. **Коефіцієнт активності іона, f** – відношення активності іона (a) до загальної концентрації іона у розчині (c , моль/дм³) називається коефіцієнтом активності (f):

$$f = \frac{a}{c},$$

де a – активна концентрація іона, c – загальна концентрація іона.

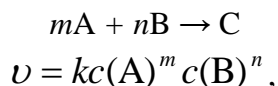
Коефіцієнти активності нейтральних частинок у розбавлених розчинах електролітів вважають рівними одиниці.

16. **Іонна сила розчину, μ** – міра електростатичної взаємодії усіх присутніх іонів у розчині, тобто міра інтенсивності електричного поля, створюваного іонами у розчині, яка залежить від зарядів іонів і їх концентрації.

17. **Закон іонної сили: в розбавлених розчинах електролітів коефіцієнти**

активності іонів однакового заряду приблизно рівні у всіх розчинах однакової іонної сили. Тому в довідниках наводяться середні величини коефіцієнтів активності для одно-, дво-, трьох- і чотиризарядних іонів (Додаток 8).

18. **Закон дії мас** сформулювали в 1864–1867 рр. К. Гульдберг і П. Вааге. Згідно закону дії мас **швидкість, з якою речовини реагують одна з іншою, прямо пропорційна молярним концентраціям реагуючих речовин (діючим масам).**



де k – коефіцієнт пропорційності, який називають константою швидкості хімічної реакції. Концентрації кожної речовини піднесені до степеня, що дорівнює відповідному стехіометричному коефіцієнту.

Закон дії мас використовують при різних розрахунках хімічних процесів.

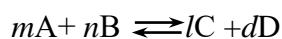
19. **Константа швидкості хімічної реакції, k** – швидкість реакції, при якій концентрація кожної речовини, що бере участь у реакції, дорівнює 1 моль/дм³ або добуток цих концентрацій дорівнює 1.

20. **Константа рівноваги хімічної реакції** – це відношення добутку **рівноважних** концентрацій продуктів, що утворилися в результаті реакції, до добутку **рівноважних** концентрацій вихідних речовин. Концентрації кожної речовини піднесені до степеня, що дорівнює відповідному стехіометричному коефіцієнту. Константа рівноваги хімічної реакції є постійна величина для даної температури.

21. **Концентраційна константа рівноваги хімічної реакції** – константа рівноваги хімічної реакції, яка виражається через рівноважні концентрації речовин (іонів), що беруть участь у хімічній реакції (позначають K^c).

22. **Термодинамічна константа рівноваги** – константа рівноваги хімічної реакції, яка виражається через активності речовин (іонів), що беруть участь в реакції (позначається K^0 або K^a).

Для реакції:



$$K^0 = \frac{a(C)^l \cdot a(D)^d}{a(A)^m \cdot a(B)^n}$$

23. **Константа іонізації слабкого електроліту** – це відношення добутку **рівноважних** концентрацій іонів, на які розпадаються молекули слабкого електроліту, до **рівноважної** концентрації неіонізованих молекул електроліту.

24. **Закон розведення Оствальда: з розведенням слабкого електроліту ступінь іонізації зростає.** Закон дозволяє вирахувати ступінь іонізації, якщо відома $K_{\text{іон}}$ і молярна концентрація електроліту в розчині, і навпаки, визначивши експериментально ступінь іонізації, можна обрахувати константу іонізації.

25. **Іонний добуток води** – добуток рівноважних концентрацій гідроген- і гідроксид-іонів у хімічно чистій воді або в будь-якому водному розчині.

26. **Правило іонного добутку води** – у хімічно чистій воді і в будь-якому водному розчині добуток рівноважних концентрацій гідроген- і гідроксид-іонів є величина стала при постійній температурі.

13. **Водневий показник (рН розчину)** – величина, яка характеризує концентрацію (активність) гідроген-іонів у розбавлених водних та інших розчинах; чисельно дорівнює від'ємному десятковому логарифму молярної концентрації (активності) гідроген-іонів (або гідроксоній-іонів H_3O^+): $pH = -\lg[H^+]$, де $[H^+]$ – молярна концентрація гідроген-іонів, моль/дм³. Поняття рН введено для зручності розрахунків, зв'язаних із величиною $[H^+]$, яка змінюється в широких межах. У чистій воді і нейтральних розчинах $pH = 7$, у

кислих $pH < 7$ і в лужних $pH > 7$. Величину pH вимірюють за допомогою кислотно-лужних індикаторів, потенціометричними методами тощо.

14. **Поняття pOH** – величина, яка характеризує концентрацію (активність) гідроксид-іонів у розбавлених водних та інших розчинах; чисельно дорівнює від'ємному десятковому логарифму молярної концентрації (активності) гідроксид-іонів: $pOH = -\lg[OH^-]$, де $[OH^-]$ – молярна концентрація гідроксид-іонів, моль/дм³. pOH – це показник лужності розчину.

15. **Шкала pH** – це залежність між величиною pH і реакцією водного розчину, її можна зобразити наступним чином:



Значення $pH = 0$ і $pH = 14$ відповідають приблизно концентраціям гідроген-іонів в $1M$ розчині HCl ($pH = 0$) і в $1M$ розчині $NaOH$ ($pH = 14$).

Водні розчини можуть мати величину pH в інтервалі 0–14.

16. **Зміщення хімічної рівноваги** – виведення системи зі стану рівноваги внаслідок зміни концентрації речовин, тиску, температури, які спричиняють зміну швидкостей прямої або зворотної реакцій.

17. **Одноіменні (спільні) іони** – іони, однакові з одним із іонів даного електроліту.

18. **Принцип Ле Шательє** – якщо на систему, яка знаходиться в стані хімічної рівноваги, подіяти зовнішнім чинником (змінити концентрацію, тиск, температуру), то рівновага системи зміститься в той бік, щоб зменшити вплив цього чинника.

19. **Буферні розчини** (англ. Buffer, від buff – зм'якшувати удари) – це розчини з певною стійкою концентрацією гідроген-іонів. Готують буферні розчини з буферних систем: суміш слабкої кислоти і її солі (наприклад, ацетатної (етанової) кислоти і її солі CH_3COOH і CH_3COONa), слабкої основи і її солі (наприклад, амоніак–вода(1/1) і його солі $NH_3 \cdot H_2O$ і NH_4Cl), суміш двох гідроген-солей (наприклад, NaH_2PO_4 і Na_2HPO_4) тощо. Величина pH буферних розчинів мало змінюється при додаванні до них невеликих кількостей сильної кислоти або лугу, при розбавленні або концентруванні. Відомо багато буферних розчинів (ацетатний буферний розчин, амоніачний буферний розчин, фосфатний буферний розчин, боратний буферний розчин, форміатний буферний розчин та інші).

20. **Буферна ємність** – кількість речовини еквівалента сильної кислоти або основи (моль), яку потрібно додати до 1 дм^3 буферного розчину, щоб змінити його pH на одиницю (± 1). Буферна ємність є кількісною характеристикою здатності буферного розчину протидіяти зміні pH .

Теорії кислот і основ

1. **Теоретична концепція кислот і основ Арреніуса (іонна теорія кислот і основ)**. Теорія електролітичної дисоціації Арреніуса (1887 р.) стала основою теоретичної концепції кислот і основ С. Арреніуса. Згідно даної теорії

кислоти – це речовини (молекули або іони), що утворюють при дисоціації у водному розчині іони H^+ (гідроген-іони) і аніони;

основи – це речовини (молекули або іони), що утворюють при дисоціації у водному розчині іони OH^- (гідроксид-іони) і катіони.

2. **Електронна теорія кислот і основ Льюїса** – теорія кислот і основ, запропонована у 1923 році Г. Льюїсом. За електронною теорією Льюїса

кислоти – це речовини, що можуть приймати неподілену пару електронів атома іншої молекули для утворення хімічного зв'язку за рахунок вільної атомної орбіталі і неподіленої пари електронів донора (донорно-акцепторний (координаційний) зв'язок);

основи – речовини (молекули або іони), що мають неподілену пару електронів, яка може бути використана для заповнення вільної атомної орбіталі іншого атома (акцептора електронів).

3. **Донор (електронів)** – атом (іон) або група атомів, які утворюють хімічний зв'язок за рахунок своєї неподіленої пари електронів і заповнення вільної атомної орбіталі акцептора.

4. **Акцептор** – атом (іон) або група атомів, які приймають електрони і утворюють хімічний зв'язок за рахунок вільної атомної орбіталі і неподіленої пари електронів донора.

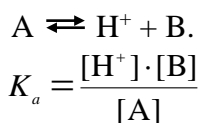
5. **Протолітична (протонна) теорія кислот і основ** – теорія кислот і основ, запропонована у 1923 році незалежно один від одного датським вченим Й. Бренстедом і англійським вченим Т. Лоурі (Лаурі).

6. **Кислота (за Бренстедом), А** – частинка (молекула або іон), яка здатна бути в даній реакції донором протону. При цьому кислота перетворюється в спряжену основу.

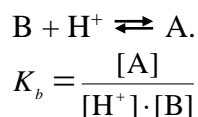
7. **Основа (за Бренстедом), В** – частинка (молекула або іон), яка приєднує протон (акцептор протону). При цьому основа перетворюється в спряжену кислоту.

8. **Спряжена кислотно-основна пара А/В** – кислота **А** і утворена при віддачі протону основа **В**.

9. **Константа кислоти K_a (константа кислотності)** – константа рівноваги процесу віддачі протона кислотою з утворенням основи:



10. **Константа основи K_b (константа основності)** – константа рівноваги процесу приєднання протона основою з утворенням кислоти:

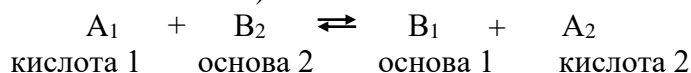


Константа кислоти і константа основи спряжених протолітів взаємозв'язані:

$$K_a = 1 / K_b.$$

11. **Протолітична реакція** – передача протона від кислоти однієї спряженої пари **А₁/В₁** до основи іншої спряженої пари **А₂/В₂**.

12. **Константа рівноваги протолітичної реакції $A_1 + B_2 \rightleftharpoons A_2 + B_1$** – це відношення добутку рівноважних концентрацій продуктів, що утворилися в результаті протолітичної реакції (кислоти 2 і основи 1), до добутку рівноважних концентрацій вихідних речовин (кислоти 1 і основи 2).



$$K = \frac{[B_1] \cdot [A_2]}{[A_1] \cdot [B_2]}$$

13. **Протофільні (основні) розчинники** – розчинники, молекули яких дуже легко приєднують протони. У таких розчинниках дисоціація кислот підсилюється (піридин, гідрозин, ацетон, діоксан, етер).

14. **Протогенні (кислі) розчинники** – розчинники, молекули яких мало схильні до

приєднання протонів, але легко їх відщеплюють (безводні карбонові кислоти – ацетатна, форміатна та ін.). У таких розчинниках легко дисоціюють основи; кислоти дисоціюють слабо.

15. **Амфіпротонні розчинники** – розчинники, які володіють як протонодонорними (кислотними), так і протоноакцепторними (основними) властивостями. Частіше за все як амфіпротонний розчинник використовують воду. Амфіпротонними розчинниками є спирти, безводний амоніак, безводна сульфатна кислота та ін.

16. **Апротонні розчинники** – розчинники, які не володіють ні протонодонорними, ні протоноакцепторними властивостями (гексан, бензен, хлороформ).

17. **Автопротолітичні процеси (автопротоліз)** – процеси, у яких одна молекула розчинника проявляє властивості кислоти, а інша – основи.



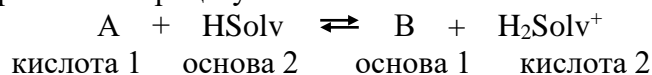
Катіон H_2Solv^+ , утворений із молекули розчинника, називається **ліоній**, а аніон Solv^- – **ліат**.

18. **Гідроксоній іон** – іон ліонію H_3O^+ амфіпротонного розчинника води (сполука гідроген-іона з молекулою води).

19. **Константа автопротолізу** – добуток рівноважних концентрацій іонів ліонію і ліату амфіпротонного розчинника:

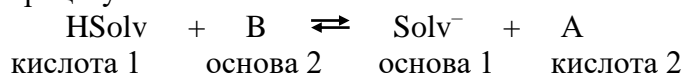
$$K_{\text{HSolv}} = [\text{H}_2\text{Solv}^+] \cdot [\text{Solv}^-].$$

20. **Константа кислотності протолітичної пари А/В у розчиннику HSolv**, $K_{a, \text{HSolv}}$ – константа рівноваги процесу



$$K_{a, \text{HSolv}} = \frac{[\text{B}] \cdot [\text{H}_2\text{Solv}^+]}{[\text{A}] \cdot [\text{HSolv}]}$$

21. **Константа основності протолітичної пари А/В у розчиннику HSolv**, $K_{b, \text{HSolv}}$ – константа рівноваги процесу



$$K_{b, \text{HSolv}} = \frac{[\text{Solv}^-] \cdot [\text{A}]}{[\text{B}] \cdot [\text{HSolv}]}$$

Тема: „Рівновага в гетерогенній системі осад – насичений розчин”

1. **Гомогенні системи** – це системи, які складаються з однієї фази.
2. **Гетерогенні системи** – це системи, які складаються з кількох фаз.
3. **Фаза** – це сукупність однорідних частин гетерогенної системи, яка характеризується певним складом, однаковими хімічними, фізичними та термодинамічними властивостями і відокремлена від інших частин системи поверхнею розділу.
4. **Насичений розчин** – розчин, який знаходиться в рівновазі з твердою фазою. Насичений розчин містить максимально можливу кількість розчиненої речовини за даних умов. Доказом цього є присутність надлишку розчиненої речовини як окремої фази. В насиченому розчині **малорозчинного електроліту** $\text{ЙД} = \text{ДР}$.

5. **Правило добутку розчинності** – в насиченому розчині малорозчинної речовини добуток активностей іонів, піднесених до степенів, що дорівнюють їх стехіометричним коефіцієнтам, є величиною постійною при даній температурі. У загальному вигляді



$$D P^o(M_p X_q) = a(M^{q+})^p a(X^{p-})^q.$$

6. **Розчин пересичений** – розчин, який містить за даних умов більше розчиненої речовини, ніж у насиченому розчині, надлишок речовини легко випадає в осад. У пересиченому розчині *малорозчинного електроліту* іонний добуток перевищує добуток розчинності: $\text{ЙД} > \text{ДР}$.

7. **Пересичення** – надлишкова концентрація речовини, яка міститься у розчині, порівняно з тією, яка потрібна для насичення.

8. **Умова утворення осаду мало- і середньорозчинних електролітів:** $\text{ЙД} > \text{ДР}$. *Осад мало- і середньорозчинних електролітів утворюється в тому випадку, якщо добуток концентрацій іонів в розчині над осадом перевищує величину ДР електроліту при даній температурі.*

9. **Осадження** – виділення одного чи кількох іонів або речовин у вигляді малорозчинної сполуки. Осадження використовують для розділення елементів у хімічному якісному і кількісному аналізі і в хімічній технології. На утворенні осадів ґрунтується багато методів виявлення, розділення, гравіметричного і титриметричного визначення іонів елементів і речовин.

10. **Осади** – малорозчинні сполуки, які утворюються в реакціях обміну (осадження і гідролізу) та в реакціях окиснення-відновлення. Осади є аморфні і кристалічні.

11. **Дробне осадження** – поступове переведення компонентів суміші в осад окремими (дробними) порціями (фракціями) в міру досягнення добутків розчинності їх малорозчинних сполук. Дробне осадження – спосіб розділення суміші речовин, близьких за хімічними властивостями, але різних за розчинністю.

12. **Практично повне осадження** – осадження вважається практично повним, якщо концентрація іона, який осаджують, не буде перевищувати $1 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-6}$ моль/дм³.

13. **Ефект однойменного іону** – зменшення розчинності малорозчинного електроліту при додаванні однойменних іонів. Ефект однойменного іону сприяє більш повному осажденню твердої фази, що і використовується в аналізі.

10. **Сольовий ефект** – явище підвищення розчинності малорозчинного електроліту в присутності сильного електроліту, який не має спільного іону.

11. **Ненасичений розчин** – розчин, в якому концентрація розчиненої речовини менше, ніж у насиченому розчині. У ненасиченому розчині *малорозчинного електроліту* іонний добуток менший ніж добуток розчинності: $\text{ЙД} < \text{ДР}$.

12. **Розчинення** – процес переходу розчиненої речовини в товщу розчинника Швидкість переходу розчиненої речовини у розчин залежить від ступеня подрібнення, температури.

13. **Умова розчинення осаду малорозчинного електроліту:** $\text{ЙД} < \text{ДР}$. *Осад мало- і середньорозчинних електролітів розчиняється в тому випадку, якщо добуток концентрацій іонів в розчині над осадом стає меншим за ДР електроліту.*

14. **Розчинність речовини** – це здатність речовини утворювати з іншими речовинами однорідні системи – розчини, в яких речовина знаходиться у вигляді окремих її структурних елементів (іонів, молекул чи інших). Розчинність виражається молярною концентрацією розчиненої речовини в її насиченому розчині (моль/дм³) або у масових одиницях, віднесених до 100 г або 100 см³, або 1000 см³ розчинника тощо (г/100

г або г/100 см³, або г/1000 см³). Розчинність рідких і твердих речовин залежить практично тільки від температури. Розчинність речовини – важлива властивість для аналітичної хімії. Наприклад, на різній розчинності однієї і тієї ж речовини у двох розчинниках, що не змішуються, ґрунтується екстракційне розділення.

15. Коагуляція (від *лат.* coagulatio – згущення) – об'єднання дрібних часточок у дисперсних системах у більшій під впливом сил зчеплення. Веде до випадання з колоїдного розчину сирнистого осаду або до застуднівання.

16. Пептизація – розщеплення агрегатів, які виникають при коагуляції дисперсних систем, на первинні часточки під дією рідкого середовища (наприклад, води) або спеціальних речовин – пептизаторів.

Тема: „Гідроліз солей”, „Амфотерність гідроксидів”

1. Сольволіз – реакція обмінного розкладу між речовиною, яка розчиняється, і розчинником. Сольволіз у воді називається гідролізом, у рідкому амоніку – амонолізом, сольволіз у спиртах – алканолізом і т. д. На відміну від *сольватації* сольволіз супроводжується утворенням нових хімічних сполук певного складу, як правило слабкодисоційованих, малорозчинних або газуватих.

2. Гідроліз (від *грец.* hydro – вода і lysis – розклад) – це обмінна взаємодія речовин з водою, під час якої складові частини речовини сполучаються зі складовими частинами води і зміщують рівновагу дисоціації молекул води. При взаємодії речовини з водою відбувається, як правило, зміна кислотності (рН) середовища. Гідроліз солей є оборотним процесом. Процеси гідролізу проходять без зміни ступенів окиснення атомів елементів сполук. Гідролізу підлягають сполуки різних класів: солі, вуглеводи, білки, естери тощо. Більш детально вивчений гідроліз солей.

Реакції гідролізу використовуються в якісному аналізі як характерні реакції відкриття ряду катіонів (наприклад, Sb³⁺, Bi³⁺, Fe³⁺) і аніонів (наприклад, CH₃COO⁻, SiO₃²⁻); для розділення Cr³⁺- і Al³⁺-іонів; для регулювання рН розчинів (наприклад, додаванням катіонів чи аніонів – NH₄⁺, CH₃COO⁻) тощо. Гідроліз має велике практичне народно-господарське значення, зокрема, при гідролізі жирів у присутності лугів одержують мила.

Кількісно гідроліз, як оборотний процес, характеризують двома величинами: ступенем гідролізу (*h*) і константою гідролізу (*K_Г*). Останні зручно обчислювати, виходячи з рівнянь реакцій гідролізу, виражених у іонно-молекулярній формі.

3. Константа гідролізу (константа рівноваги процесу гідролізу), K_Г – це відношення добутку рівноважних молярних концентрацій речовин продуктів гідролізу до рівноважної молярної концентрації негідролізованих іонів солі.

4. Ступінь гідролізу, h – це відношення кількості речовини солі X (або молярної концентрації речовини солі X у розчині (моль/дм³), або числа молекул солі), що прогідролізувала, до загальної кількості речовини солі X (молярної концентрації речовини солі X або числа молекул солі) у цьому розчині. Ступінь гідролізу виражається в частках одиниці або в відсотках (%).

5. Постадійний гідроліз – гідроліз солі, утвореної високзарядним катіоном слабкої основи (наприклад, FeCl₃) або аніоном багатоосновної слабкої кислоти (наприклад, Na₃PO₄). При постадійному гідролізі ступенями гідролізу можна знехтувати і приблизно розглядати K_Г, *h* і рН, виходячи лише з першої стадії гідролізу.

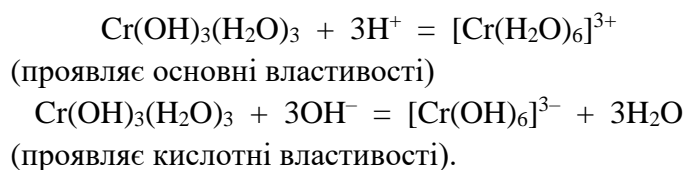
6. Гідроліз солі багатокислотної слабкої основи – постадійний гідроліз солі за катіоном з утворенням основних солей.

7. **Гідроліз солі багатоосновної слабкої кислоти** – поетапний гідроліз солі за аніоном з утворенням кислих солей.

8. **Шляхи посилення гідролізу:** розбавлення розчинів, підвищення температури, видалення продуктів гідролізу, додавання до розчину інших катіонів або аніонів, що також зазнають гідролізу (взаємне посилення гідролізу).

9. **Шляхи пригнічення гідролізу:** підвищення концентрації солі, зниження температури, але найбільш ефективним прийомом пригнічення гідролізу є додавання одного з продуктів гідролізу.

10. **Амфотерність** (від грец. amphoteros – обидва) – здатність деяких сполук проявляти залежно від умов як кислотні, так і основні властивості. Наприклад, амфотерні ряд оксидів (ZnO, Al₂O₃, Cr₂O₃) і гідроксидів (Zn(OH)₂, Al(OH)₃(H₂O)₃, Cr(OH)₃(H₂O)₃ тощо). У водних розчинах вони існують у вигляді аквакомплексів або гідросокомплексів:

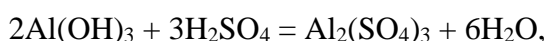


Амфотерність сполук має велике значення для практики якісного аналізу. Зокрема, вона покладена в основу кислотно-лужної класифікації катіонів, використовується для відокремлення аналітичних груп катіонів та окремих катіонів у кислотно-лужній системі аналізу, для виявлення окремих катіонів тощо.

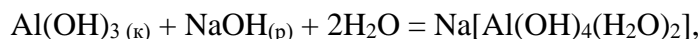
11. **Амфоліти (амфотерні електроліти)** – електроліти, які здатні в залежності від середовища поводити себе як кислоти і як основи.

12. **Амфотерні гідроксиди** – гідроксиди, які здатні в залежності від середовища поводити себе як кислоти і як основи.

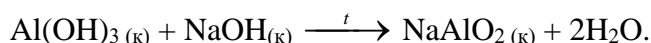
Найбільш типовими амфотерними гідроксидами є: Be(OH)₂, Zn(OH)₂, Al(OH)₃, Sn(OH)₂, Pb(OH)₂, Sb(OH)₃, Cr(OH)₃ тощо. Всі амфотерні гідроксиди – тверді речовини, малорозчинні у воді, слабкі електроліти. Двоїстість амфотерних гідроксидів проявляється у здатності дисоціювати як за кислотним, так і за основним типами з утворенням гідроген- та гідроксид-іонів. У кислому середовищі посилюється дисоціація їх за основним типом, у лужному – за кислотним. Таким чином, напрям дисоціації амфотерного гідроксиду залежить від рН розчину. Амфотерні гідроксиди взаємодіють із кислотними гідроксидами



розчиняються у водних розчинах лугів



легко сплавляються з лугами:



Тема: „ Окисно-відновні процеси в аналітичній хімії ”

1. **Окиснення** – процес віддачі електронів від структурних частинок речовини – атомів, молекул, іонів. Окиснення супроводжується підвищенням ступеня окиснення атома елемента.

2. **Відновлення** – процес приєднання (прийняття) електронів атомами, молекулами, іонами. Відновлення супроводжується пониженням ступеня окиснення атома елемента.

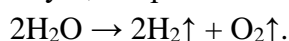
3. **Окисники** – ті атоми, молекули або іони, які в процесі окисно-відновної реакції приймають електрони, тобто відновлюються.

4. **Відновники** – ті атоми, молекули або іони, які в процесі окисно-відновної реакції віддають електрони, тобто окиснюються.

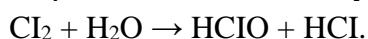
5. **Окисно-відновні реакції** – всі реакції, при перебігу яких відбувається перехід електронів від атомів, молекул або іонів одних сполук до атомів, молекул або іонів інших сполук.

6. **Міжмолекулярні окисно-відновні реакції** – окисно-відновні реакції, в яких атоми, що відновлюються, і атоми, що окиснюються, знаходяться в різних молекулах, наприклад: $\text{H}_2\text{S} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{S} + 2\text{HCl}$.

7. **Реакції внутрішньо-молекулярного окиснення-відновлення** – окисно-відновні реакції, в яких атоми, що відновлюються, і атоми, що окиснюються, знаходяться в одній і тій самій молекулі, наприклад:



8. **Реакції самоокиснення-самовідновлення** – реакції, в яких атоми одного елементу перетворюються на речовини зі зміною ступенів окиснення, наприклад:



9. **Ступінь окиснення атома якого-небудь елементу** у будь-якій хімічній сполуці є заряд, який мав би атом цього елементу, якби електрони в кожному хімічному зв'язку цього елементу повністю перейшли до більш електронегативного атома. У вільному стані ступінь окиснення атома елемента дорівнює нулю. При написанні формул сполук ступінь окиснення наводиться арабською цифрою над символом елемента із знаком (+) чи (–) перед цифрою або римською цифрою без знака, а в тексті – у дужках після назви елемента. Наприклад:



Ступінь окиснення – це допоміжна величина для запису рівнянь процесів окиснення, відновлення і окисно-відновних реакцій. Отже, межі застосування поняття “ступінь окиснення” – лише для складання рівнянь хімічних окисно-відновних реакцій. Поняття “ступінь окиснення” не можна використовувати до сполук нестехіометричного складу (наприклад, KS_8 , Mo_5Si_3 , Nb_3B_4).

10. **Метод електронного балансу** – метод складання рівнянь окисно-відновних реакцій, який базується на порівнянні ступенів окиснення атомів елементів у вихідних речовинах і в продуктах реакції.

11. **Електронно-іонний метод складання рівнянь окисно-відновних реакцій** – метод, який базується на складанні іонно-молекулярних рівнянь процесів окиснення і відновлення з наступним додаванням їх в одне рівняння.

12. **Окисно-відновний потенціал** (оксред-потенціал) – рівноважний електродний потенціал, який встановлюється при зануренні інертного електрода (платини або золота) в окисно-відновне середовище, тобто у розчин, який містить як окисник (Ox), так і відновник (Red). Кількісна залежність окисно-відновного потенціалу від концентрації (точніше активностей) реагуючих речовин виражається рівнянням Нернста:

$$E_{\text{Ox/Red}} = E_{\text{Ox/red}}^{\circ} + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{Ox}]^a}{[\text{Red}]^c},$$

де $E_{\text{Ox/Red}}^{\circ}$ – стандартний окисно-відновний потенціал, n – число електронів, які беруть участь у реакції, F – число Фарадея, R – газова стала, T – абсолютна температура, $[\text{Ox}]$ і $[\text{Red}]$ – рівноважні молярні концентрації окисника і відновника, a і c – стехіометричні коефіцієнти при окисненій і відновленій формах речовини. Окисно-відновний потенціал визначають електрохімічними методами і виражають у вольтах (В) відносно стандартного водневого електрода.

13. **Електрод** – в електрохімії електродом називають як електрохімічну систему, що включає метал і розчин електроліту, так і власне метал (або напівпровідник).

14. **Водневий електрод** – пластинка або дротинка з платини, покритої шаром платинової чорноти для забезпечення достатньої площі поверхні, насичена воднем і занурена у розчин, що містить гідроген-іони. Потенціал платини залежить від молярної концентрації гідроген-іонів у розчині. На поверхні платини зворотно проходить реакція: $2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightleftharpoons \text{H}_2$. Водневий електрод використовують для вимірювання концентрації (активності) гідроген-іонів.

15. **Стандартний водневий електрод** – пластинка або дротинка з платини, насичена воднем (тиск газоподібного водню рівний 101325 Па) і занурена у розчин, що містить гідроген-іони, активність яких в розчині 1 моль/дм³. Стандартний водневий електрод використовується для вимірювання потенціалів електродних реакцій. Умовно потенціал стандартного водневого електрода прийняли рівним нулю.

16. **Електродний потенціал** – це е.р.с. гальванічного елемента, який складається з досліджуваного електрода і стандартного водневого електрода. Величина електродного потенціалу знаходиться не тільки експериментально, але й виводиться термодинамічним методом і виражається рівнянням Нернста.

Електродний потенціал будь-якої окисно-відновної пари є стандартний і реальний.

17. **Стандартний електродний потенціал** – потенціал електрода у розчині, в якому іони, які визначають електродний потенціал, мають активність, рівну одиниці. Величини стандартного електродного потенціалу вимірюються відносно стандартного водневого електрода, потенціал якого умовно прийнятий за нуль і виражається у вольтах. Стандартні електродні потенціали наводяться в довідниках. Стандартний електродний потенціал позначається символом $E^{\circ}_{\text{Ox/Red}}$, а реальний – символом $E_{\text{Ox/Red}}$; біля знаків пишуться індекси відповідної системи (спочатку пишуть формулу **окисненої форми**, а потім через вертикальну лінію, що позначає межу розділення електрод–розчин, пишуть формулу **відновленої форми**). Наприклад, для пари Cu^{2+}/Cu : $E^{\circ}_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = + 0,34 \text{ В}$; для пари Zn^{2+}/Zn : $E^{\circ}_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} = - 0,76 \text{ В}$.

18. **Ряд стандартних електродних потенціалів металів (ряд напруг)** – ряд стандартних електродних потенціалів металів, визначених по відношенню до потенціалу стандартного водневого електрода і розміщених у напрямі зростання їх потенціалів. Ряд стандартних електродних потенціалів металів служить важливим орієнтиром при оцінці можливості протікання різних реакцій. Ряд стандартних електродних потенціалів використовують лише до водних розчинів кислот і солей; цей ряд справедливий, коли умови дослідів близькі до стандартних.

19. **Таблиця стандартних окисно-відновних потенціалів** – довідкова таблиця, в якій наведені величини стандартних окисно-відновних потенціалів (E°) різних окисно-відновних пар, користуючись якими можна передбачити напрям проходження різних окисно-відновних реакцій, вибирати відповідні окисники та відновники і вирішувати ряд інших важливих для аналітичної практики питань.

20. **Методи окисно-відновного титрування (оксидиметрія, оксередметрія)** – класичні титриметричні методи в аналітичній хімії, які ґрунтуються на реакціях перенесення електрона (окиснення-відновлення). У процесі титрування змінюється окисно-відновний потенціал системи, близько точки еквівалентності спостерігається різка зміна потенціалу. Окисно-відновні методи класифікують залежно від природи окисника або відновника, які використовуються в цій реакції (перманганометрія йодометрія, цериметрія, хроматометрія, ванадатометрія, броматометрія, аскорбінометрія та ін.)

Тема: „ Утворення та руйнування комплексних сполук”

1. **Комплексні сполуки** (координаційні сполуки) – сполуки або іони, які утворюються в результаті приєднання до даного іона (або атома), який називається **комплексоутворювачем**, нейтральних молекул або іонів, які називаються **лігандами**. Комплексні сполуки можуть містити комплексний малодисоційований аніон: $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$, комплексний катіон: $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ або взагалі не дисоціювати на іони: $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_4]$ (сполуки типу неелектролітів). Комплексні сполуки дуже різноманітні і багаточисельні. Вони використовуються в хімічному аналізі для розділення сумішей елементів, для виявлення і маскування іонів, в технології при одержуванні ряду металів (золота, срібла, металів платинової групи та ін.).

2. **Комплексоутворювач** – центральний атом чи іон у комплексній сполуці, до якого приєднуються нейтральні молекули або іони.

3. **Ліганди** (від *лат.* ligo – прив’язую), застарілий термін “аденди” – молекули або іони, зв’язані з комплексоутворювачем у комплексній сполуці.

4. **Координаційне число** – загальне число зв’язків, яке комплексоутворювач може утворювати з лігандами в координаційно насиченому комплексі. Наприклад, координаційне число комплексоутворювача ферум(III)-іона у сполуці $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ дорівнює шести; для сполуки $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ координаційне число комплексоутворювача аргентум(I)-іона дорівнює двом.

5. **Подвійні солі** – комплексні сполуки з надзвичайно малою стійкістю, наприклад: $\text{NH}_4[\text{Fe}(\text{SO}_4)_2]$. В твердому стані і в концентрованих розчинах вони стійкі і мають будову, аналогічну до будови комплексних сполук.

6. **Ступенева константа нестійкості комплексного іону** – відношення добутку рівноважних концентрацій іонів, на які розпадається комплексний іон, до рівноважної концентрації вихідного комплексного іону.

7. **Загальна константа нестійкості комплексного іону** – добуток констант дисоціації комплексного іону (констант нестійкості) за окремими стадіями.

8. **Ступенева константа стійкості (утворення) комплексного іону** – відношення рівноважної концентрації продукту комплексоутворення до добутку рівноважних концентрацій вихідних речовин. Константа стійкості характеризує рівноважний процес утворення комплексу і є величиною, оберненою константі нестійкості.

9. **Загальна константа стійкості (утворення) комплексного іону** – добуток констант стійкості (утворення) комплексного іону за окремими стадіями.

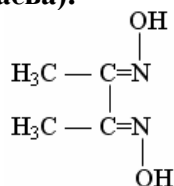
10. **Дентатність** (*грец.* – dentatus – зубець) – координаційна ємність ліганда – число координаційних місць, яке займає один ліганд у внутрішній сфері центрального атома комплексоутворювача. Якщо ліганд займає одне місце біля комплексоутворювача (має один контактний атом, один зубець), то його називають монодентатним (Cl^- , OH^- , CN^- та ін.) якщо два – бідентатним, три – тридентатним, чотири – тетрадентатним. Вища дентатність (пента, гекса) зустрічаються порівняно рідше.

11. **Хелати** (“клевшевидні” сполуки, від *грец.* chele – клешня краба, кіготь) – циклічні комплексні сполуки атома комплексоутворювача з полідентатними лігандами.

12. **Внутрішньоконкомплексна сполука** – хелат, у якому замикання циклу супроводжується витісненням іоном металу з кислотних функціональних груп ліганда одного або декількох протонів. Внутрішньоконкомплексні сполуки утворюються при взаємодії метал-іонів із молекулами деяких органічних сполук, які містять солеутворюючу (функціональну) і комплексоутворюючу групи, тобто є бідентатними або полідентатними лігандами. Внутрішньоконкомплексні сполуки використовують у хімії для розділення, концентрування і визначення різних хімічних елементів.

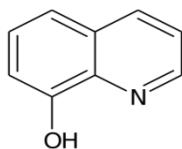
13. **Органічні аналітичні реагенти** – органічні сполуки, які використовуються в аналітичній хімії для виявлення, відокремлення, кількісного визначення як неорганічних, так і органічних сполук (наприклад, диметилглюксим H_2Dm , 8-оксихінолін $HOxip$, етилендіамінтетраацетатна кислота ЕДТА та ін.).

14. **Диметилглюксим (реагент Чугаєва):**



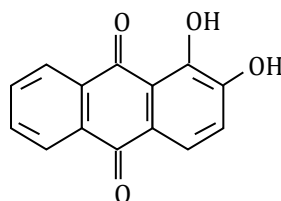
Диметилглюксим – органічний реагент, який застосовують для якісного та кількісного визначення Нікелю, з солями якого диметилглюксим утворює червоний нерозчинний осад диметилглюксимата нікелю $(C_4H_7O_2N)_2Ni$. Визначенню і виявленню іонів Ni^{2+} мішають іони Fe^{2+} . Вперше описаний як характерний реагент на нікель(II)-іон російським хіміком Л. О. Чугаєвим.

15. **8-оксихінолін:**

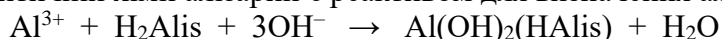


8-оксихінолін – органічний реагент, який утворює з багатьма катіонами металів малорозчинні у водних розчинах (ацетатної кислоти, амоніаку та ін.) кристалічні внутрішньокмплесні солі, наприклад $Mg(C_9H_6ON)_2$, $Al(C_9H_6ON)_3$. Використовується на практиці для виявлення, визначення і розділення ряду іонів металів (Al^{3+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Mg^{2+} та ін.), з якими утворює внутрішньокмплесні сполуки.

16. **Алізарин** (1,2-діоксіантрахінон, $C_{12}H_6(CO)_2(OH)_2$, H_2Alis):

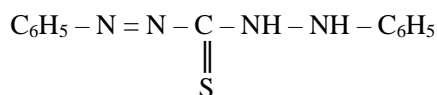


В аналітичній хімії алізарин є реагентом для визначення алюміній(3+)-іонів:



і ряду інших елементів.

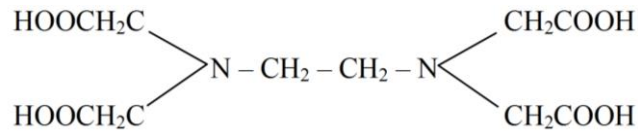
17. **Дитизон (дифенілтіокарбазон):**



– кристали синьо-чорного кольору, нерозчинні у воді, розчинні у трихлорометані (хлороформі) $CHCl_3$ і тетрахлорометані CCl_4 . Дитизон – сульфуро- і нітрогеновмісний ліганд. Із багатьма катіонами дитизон утворює забарвлені внутрішньокмплесні сполуки (дитизонати), розчинні в $CHCl_3$, CCl_4 і CS_2 . Дитизон використовують для розділення і високочутливого визначення метал-іонів, наприклад, бісмуту(III), кадмію(II), ртуті(II), цинку(II), купрум(II), кобальту(II), пльомбуму(II) та ін.

18. **Комплесони** – органічні речовини (головним чином амінополікарбонові кислоти та їх солі), які утворюють з іонами металів неіонізуючі стійкі водорозчинні комплекси. В їх молекулах до атому Нітрогену приєднано кілька алкілкарбоксільних груп – CH_2COOH , здатних зв'язувати центральний іон металу.

19. Етилендіамінтетраацетатна кислота (ЕДТА) :



– білий дрібнокристалічний порошок, малорозчинний у воді, нерозчинний у більшості органічних розчинників, розчинний у лугах. ЕДТА – слабка чотириосновна органічна кислота, важливий представник комплексонів, утворює міцні внутрішньоконплексні сполуки з більшістю метал-іонів. Використовують ЕДТА у вигляді дивнатрієвої солі $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, яку теж називають ЕДТА, як більш розчинну сполуку. Її застосовують в аналітичній хімії для визначення та маскуваннн багатьох катіонів, наприклад: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Al^{3+} та ін.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА З АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ

Основна

1. Сегеда А. С. Аналітична хімія. Якісний аналіз : навч.-метод. посіб. Київ : ЦУЛ, 2002. 524 с.
2. Сегеда А. С. Аналітична хімія. Кількісний аналіз. Київ : Фітосоціоцентр, 2006. 544 с.
3. Загальні теоретичні основи аналітичної хімії (курс лекцій та матеріали для самостійного опрацювання) : навч. посібник / укладачі : Ю. А. Шафорост, В. О. Мінаєва. Черкаси, 2025. 216 с. : табл.
4. Загальні теоретичні основи аналітичної хімії (задачі та алгоритми розв'язання) [Електронне видання] : навч.-метод. посібник / укладачі : В. О. Мінаєва, Ю. А. Шафорост. Черкаси, 2025. 321 с.
5. Сегеда А. С. Збірник задач і вправ з аналітичної хімії. Кількісний аналіз. Київ : Фітосоціоцентр, 2005. 491 с.
6. Аналітична хімія. Кількісний хімічний аналіз : навч. посібник / укладачі : В. О. Мінаєва, Ю. А. Шафорост, Т. С. Нінова. Черкаси, 2025. 514 с. : табл.; іл.
7. Аналітична хімія : тестові завдання [Електронний ресурс] / укладачі : В. О. Мінаєва, Ю. А. Шафорост. Черкаси, 2025. 223 с.
8. Сегеда А. С., Галаган Р. Л. Збірник задач і вправ з аналітичної хімії. Якісний аналіз. Київ : ЦУЛ. Фітосоціоцентр, 2002. 429 с.
9. Робочий зошит з аналітичної хімії. Якісний аналіз : навч.-метод. посібник / укладачі : Ю. А. Шафорост, В. О. Мінаєва. Черкаси, 2025. 150 с.
10. Робочий зошит з аналітичної хімії. Кількісний аналіз : навч.-метод. посібник / укладачі : Ю. А. Шафорост, В. О. Мінаєва. Черкаси, 2025. 156 с. : табл. ; іл.
11. ДСТУ 2439:2018. Хімічні елементи та прості речовини. Терміни та визначення основних понять, назви й символи. [Чинний від 2019-10-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 12 с.
12. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. [Чинний від 1 липня 2016 р.]. Розробник : Державна наукова установа «Книжкова палата України імені Івана Федорова». 37 с.

Допоміжна

13. Аналітична хімія : підручник для вищих навч. закл. / А. С. Алемасова та ін. ; за ред. В. М. Зайцева. Донецьк : ДонНУ, 2009. 415 с.
14. Аналітична хімія. Загальні положення. Рівноваги. Якісний та кількісний аналіз : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / О. І. Юрченко та ін. ; за ред. О. І. Юрченко. Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2012. 418 с.
15. Теоретичні основи та способи розв'язання задач з аналітичної хімії : навч. посіб. / О. А. Бугаєвський та ін. ; за заг. ред. О. А. Бугаєвського. Харків : ХНУ, 2003.
16. Аналітична хімія : якісний та кількісний аналіз : навч. конспект лекцій / В. В. Болотов та ін. ; за ред. В. В. Болотова. Вінниця : Нова Книга, 2011. 424 с.
17. Жаровський Ф. Г., Пилипенко А. Т., П'ятницький І. В. Аналітична хімія. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ : Вища школа, Головне вид-во, 1982. 544 с.
18. Мінаєва В. О., Бочарнікова В. М., Григоренко Т. А. Математична обробка даних хімічного експерименту : навч. посіб. Черкаси : Вид. від. ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2003. 208 с.
19. Бабко А. К. Кількісний аналіз. Київ : Вища шк., 1974. 351 с.

20. Корнілов М. Ю., Білодід О. І., Голуб О. А. Термінологічний посібник з хімії : для викладачів і вчителів хімії та учнів середніх навчальних закладів. Київ : ІЗМН, 1996. 254 с.
21. Більченко М. М. Лабораторний практикум з аналітичної хімії. Кількісний аналіз : навч. посіб. Суми : Університетська книга, стереотип. вид., 2025. 142 с.
22. Аналітична хімія. Якісний аналіз : практикум для студентів ф-ту хімії та фармації першого (бакалаврського) рівня освіти / Чеботарьов О. М., Топоров С. В., Гузенко О. М., Хома Р. Є. Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2020. 118 с.
23. Аналітична хімія : навч. посіб. / О. М. Гайдукевич та ін. Харків : Основа, Вид-во НФАУ, 2000. 432 с.
24. Fundamentals of analytical chemistry / D. Skoog, D. West, F. Holler, S. Crouch. 9th ed. Boston : Cengage Learning, 2013. 1072 p.
25. Harris D. C. Quantitative chemical analysis. 7th ed. New York : W. H. Freeman and Co, 2007. 828 p.
26. Запорожець О. А., Кеда Т. Є., Смик Н. І. Основи аналітичної хімії. Якісний аналіз катіонів і аніонів. Завдання для самоконтролю : навч. посіб. (для студ. хім. фак.) Київ : 2017. 64 с.
27. Christian G. D., Dasgupta P. K., Schug K. A. Analytical chemistry : 7th ed. New York : John Wiley & Sons, 2014. 850 p.
28. Analytical Chemistry : 1st ed. / Robert Kellner, Matthias Otto, H. Michael Widmer (eds.). Weinheim : Wiley-VCH, 1998. 942 p.
29. Аналітична хімія : навч.-довідк. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / В. В. Болотов та ін. Харків : НФаУ ; Оригінал, 2012. 320 с.
30. Базель Я. Р., Воронич О. Г., Кормош Ж. О. Практичний курс аналітичної хімії. Ч. 1. Луцьк : ред. вид. відд. «Вежа» Волин. держ. ун-т ім. Лесі Українки, 2004. 260 с.
31. Бохан Ю. В. Хімічні методи аналізу : теорія та практика : навч. посіб. / Ю. В. Бохан та ін. ; з грифом МОН. Кіровоград : Вид-во ДНУ, 2013. 312 с.
32. Кузьма Ю., Ломницька Я., Чабан Н. Аналітична хімія. Львів : Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2001. 298 с.
33. Зінчук В. К., Гута О. М. Хімічні методи якісного аналізу. Львів : Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2006. 151 с.
34. Аналітична хімія. Хімічні методи аналізу : навч. посіб. / Л. П. Циганок, Т. О. Бубель, А. Б. Вишнікін, О. Ю. Вашкевич; за ред. проф. Л. П. Циганок. Дніпропетровськ : ДНУ ім. О. Гончара, 2014. 252 с. URL: http://library.dnu.dp.ua/Methodichki/analit_chimija.pdf
35. Аналітична хімія: Якісний та кількісний аналіз : навч. консп. лекцій / В. В. Болотов, О. М. Свечнікова, М. Ю. Голік та ін. ; за ред. проф. В. В. Болотова. Вінниця : Нова Книга, 2011. 424 с.
36. Мінаєва В. О. Аналітична хімія. Титриметричний аналіз: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / В. О. Мінаєва, Т. С. Нінова, Ю. А. Шафорост. Черкаси : Вид. від. ЧНУ імені Богдана Хмельницького, 2010. 456 с.
37. Семенишин Д. І., Ларук М. М. Аналітична хімія та інструментальні методи аналізу : навч. посіб. Львів : Вид. Львівської політехніки, 2015. 148 с.

Навчально-методичне електронне видання

Юлія Анатоліївна Шафорост
Валентина Олександрівна Мінаєва

РОБОЧИЙ ЗОШИТ З АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ. ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ

Навчально-методичний посібник
для самостійної роботи студентів

Ум. друк. арк. 5,0. Формат 60×84/8.

Підписано у світ 22.12.2025
ФОП Цибульська В.О.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК №6562 від 03.01.2019

ISBN 978-617-8324-63-6

