

# ЗМІСТ

Вступ	6
-------	---

## 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ

<b>1.1 Хімічна рівновага в гомогенних системах</b>	<b>12</b>
1.1.1 Закон діючих мас	12
1.1.2 Хімічна рівновага	14
1.1.3 Електролітична дисоціація. Сильні та слабкі електроліти	16
1.1.4 Рівновага в розчинах електролітів	24
1.1.5 Йонний добуток води. Водневий показник	27
1.1.6 Гідроліз солей	33
1.1.7 Буферні розчини	39
<b>1.2 Хімічна рівновага в гетерогенних системах</b>	<b>41</b>
1.2.1 Добуток розчинності	41
1.2.2 Утворення й розчинення осадів	43
1.2.3 Амфотерні основи в хімічному аналізі	46
<b>1.3 Комплексні сполуки</b>	<b>48</b>
1.3.1 Загальна характеристика та номенклатура комплексних сполук	48
1.3.2 Константа нестійкості комплексних йонів	51
1.3.3 Реакції обміну в розчинах комплексних сполук	53
<b>1.4 Окисно-відновні реакції</b>	<b>54</b>
1.4.1 Ступінь окиснення	54
1.4.2 Сутність окисно-відновних реакцій	55
1.4.3 Окисно-відновний потенціал. Напрямок окисно-відновних реакцій	58

## 2. ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ НЕОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

<b>2.1 Загальні положення якісного аналізу</b>	<b>66</b>
2.1.1 Методи якісного аналізу	66
2.1.2 Аналітичні реакції, їх чутливість та селективність	68
2.1.3 Дробний та систематичний аналіз	70
2.1.4 Лабораторний посуд та реактиви в якісному аналізі	72
<b>2.2 Аналіз катіонів</b>	<b>75</b>
2.2.1 Аналітична класифікація катіонів	75
2.2.2 Аналіз катіонів першої групи	78

2.2.3	Аналіз катіонів другої групи	81
2.2.4	Аналіз катіонів третьої групи	84
2.2.5	Аналіз катіонів четвертої групи	87
2.2.6	Аналіз катіонів п'ятої групи	91
2.2.7	Аналіз катіонів шостої групи	94
<b>2.3</b>	<b>Аналіз аніонів</b>	<b>96</b>
2.3.1	Аналітична класифікація аніонів	96
2.3.2	Аналіз аніонів першої групи	97
2.3.3	Аналіз аніонів другої групи	101
2.3.4	Аналіз аніонів третьої групи	104
<b>2.4</b>	<b>Аналіз невідомої речовини</b>	<b>107</b>
2.4.1	Підготовка речовини до аналізу. Попередній аналіз	107
2.4.2	Систематичний хід аналізу катіонів та суміші аніонів	109
<b>3.</b>	<b>КІЛЬКІСНИЙ АНАЛІЗ</b>	
<b>3.1</b>	<b>Гравіметричний аналіз</b>	<b>120</b>
3.1.1	Терези та правила зважування	120
3.1.2	Сутність гравіметричного аналізу	124
3.1.3	Розрахунки в гравіметричному аналізі	131
<b>3.2</b>	<b>Титриметричний аналіз</b>	<b>134</b>
3.2.1	Теоретичні положення титриметричного аналізу	134
3.2.2	Хімічний еквівалент	140
3.2.3	Концентрація титрованих розчинів	146
3.2.4	Об'ємно-аналітичні розрахунки	150
3.2.5	Лабораторний посуд для об'ємного аналізу	156
3.2.6	Приготування стандартних розчинів	162
3.2.7	Метод кислотно-основного титрування	165
3.2.8	Методи окисно-відновного титрування	175
3.2.9	Методи осадження	185
3.2.10	Комплексонометрія	190
3.2.11	Метрологічні основи хімічного аналізу	195
<b>4.</b>	<b>ОСНОВИ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ МЕТОДІВ АНАЛІЗУ</b>	
<b>4.1</b>	<b>Загальна характеристика фізико-хімічних методів аналізу</b>	<b>206</b>
4.1.1	Характеристика фізико-хімічних методів аналізу	206
4.1.2	Класифікація фізико-хімічних методів аналізу	207

---

<b>4.2 Оптичні методи аналізу</b> . . . . .	<b>208</b>
4.2.1 Рефрактометрія . . . . .	208
4.2.2 Поляриметрія . . . . .	212
4.2.3 Фотоелектроколориметрія . . . . .	214
4.2.4 Спектрофотометрія . . . . .	218
<b>4.3 Електрохімічні методи аналізу</b> . . . . .	<b>223</b>
4.3.1 Кондуктометрія . . . . .	223
4.3.2 Потенціометрія . . . . .	228
<b>4.4 Хроматографічні методи аналізу</b> . . . . .	<b>233</b>
4.4.1 Сутність та класифікація хроматографічних методів аналізу . . . . .	233
4.4.2 Основні методи хроматографічного аналізу . . . . .	236
<b>Додатки</b> . . . . .	<b>247</b>
<b>Список використаної літератури</b> . . . . .	<b>254</b>

# ВСТУП

---

---

Курс аналітичної хімії входить до циклу природничо-наукової підготовки, який вивчають студенти різних спеціальностей.

**Аналітична хімія** – наука про методи розділення, ідентифікації та визначення хімічного складу речовин.

Аналітична хімія розвиває загальні теоретичні основи хімічного аналізу, розробляє методи визначення компонентів у досліджуваному об'єкті, розв'язує задачі аналізу конкретного зразка невідомої речовини або суміші. Основне завдання аналітичної хімії – забезпечити високу точність аналізу, його чутливість, швидкість та селективність.

Залежно від мети аналізу його поділяють на якісний і кількісний:



**Якісний аналіз** дозволяє визначити та ідентифікувати компоненти в досліджуваному зразку.

**Кількісний аналіз** дозволяє визначити концентрацію компонентів або їх масу в досліджуваному зразку.

Наприклад, за допомогою якісного аналізу встановлено, що до складу сплаву бронзи входять Купрум та Алюміній. Це якісний

склад, який визначено за допомогою якісного аналізу. Кількісний аналіз довів, що міді у сплаві міститься 89%, а алюмінію – 11%. Отже, це й буде його кількісний склад. Вивчаючи невідому речовину, спочатку виконують якісний аналіз, а потім кількісний.

За природою об'єкта дослідження розрізняють аналіз неорганічних та органічних речовин. У цьому навчальному виданні буде розглянуто лише якісний аналіз неорганічних речовин, як це склалося в класичному курсі аналітичної хімії.

Теорія аналітичної хімії містить вчення про відбір та підготовку проб до аналізу, вибір шляхів автоматизації аналізу, застосування методів статистичної обробки результатів аналізу (метрології), використання сучасних комп'ютерних технологій для обробки результатів дослідження.

Завдяки міцним зв'язкам з досягненнями фізики, математики, техніки аналітична хімія є наукою, що лежить на межі різних наукових напрямків.

**Історичні відомості про розвиток аналітичної хімії.** Дослідження об'єктів навколишнього середовища цікавили наших пращурів ще з глибокої давнини. Таким об'єктами були руди, метали, корисні копалини. Алхіміки XIV – XVI ст. проводили операції зважування та безліч дослідів з вивчення властивостей речовин, що заклали основу хімічного аналізу. У XVI – XVII ст. (період ятрохімії) з'явилися нові методи аналізу, які базувалися на реакціях у розчинах (наприклад, відкриття йонів  $\text{Ag}^+$  при взаємодії їх з йонами  $\text{Cl}^-$ ).

Родоначальником аналітичної хімії вважається англійський вчений Роберт Бойль, який увів термін *хімічний аналіз*.

До першої половини XIX ст. аналітична хімія була основним розділом хімії. У цей час було відкрито багато хімічних елементів, виділені складові частини деяких природних сполук, встановлені закони сталості складу, закон кратних співвідношень, закон збереження маси речовини. У цей самий період були закладені основи систематичного аналізу, запропоновані методи аналізу, що базуються на утворенні перлів (забарвлених сплавів у полум'ї).

Наприкінці XIX ст. систематичний якісний аналіз був вдосконалений Г. Розе та К. Фрезеніусом. У цей час спостерігалися значні успіхи в розвитку кількісного аналізу. Були створені об'ємний (титриметричний) аналіз (Ф. Декруазіль і Ж. Гей-Люссак), значно вдосконалювався ваговий (гравіметричний) аналіз, розроблявся метод газового аналізу. Велике значення мав розвиток елементного аналізу органічних речовин (Ю. Лібіх). Наприкінці XIX ст. у науці з'явилася теорія про рівновагу в розчинах за участю йонів (В. Оствальд). Тоді ж в аналітичній хімії розпочинається якісний аналіз йонів у водних розчинах.

У XX ст. розробляються методи макроаналізу органічних сполук. Було запропоновано полярографічний аналіз (Я. Гейровський), з'являються фізико-хімічні методи аналізу. Великим поштовхом у розвитку хімічного аналізу стало відкриття хроматографії у 1903 році (М. Цвет) і створення різних її варіантів.

Великий внесок у розвиток аналітичної хімії зробили такі вчені, як Н. Меншуткін (його підручник з аналітичної хімії витримав понад 16 видань), М. Ільїнський, Л. Чугаєв. Вивчення комплексних сполук дало можливість значно розширити діапазони якісного та кількісного аналізу. Це насамперед роботи І. Алімаріна, А. Бабко. В аналітичній хімії поширені також фотометричний, атомно-абсорбційний методи аналізу.



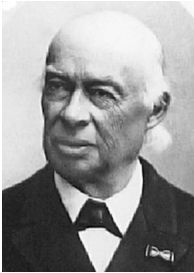
**Роберт Бойль** (1627–1691) – англійський хімік, фізик і філософ, один із засновників Лондонського королівського товариства.

Поклав початок новому напрямку в хімії, в основі якого була вимога вивчення складу речовин експериментальним методом. Уперше запровадив наукове поняття «хімічний елемент». Бойль – один із засновників якісного хімічного аналізу.



**Генріх Розе** (1795–1864) – німецький хімік, засновник нової аналітичної хімії, розробник сірководневого якісного аналізу та низки методів вагового аналізу.

*Відкрив хімічний елемент Ніобій.*



**Карл Фрезеніус** (1818–1897) – німецький хімік, один із творців аналітичної хімії, засновник першого наукового журналу з цієї галузі науки «*Zeitschrift für analytische Chemie*».

*Автор підручників з якісного та кількісного хімічного аналізу.*



**Ярослав Гейровський** (1890–1967) – чеський хімік, лауреат Нобелівської премії з хімії, розробник полярографічного методу аналізу.

*Сконструював полярограф з автоматичним записом кривих поляризації.*



**Михайло Цвет** (1872–1919) – російський ботанік-фізіолог та біохімік. Відкрив явище хроматографії, розробив хроматографічні методи розділення та аналізу сумішей.



**Микола Меншуткін** (1842–1907) – російський хімік. Сферою наукових інтересів вченого були органічна та фізична хімія.

У 1877–1897 рр. виконав серію робіт з вивчення кінетики реакцій етерифікації й омилення ефірів і сформулював низку структурно-кінетичних закономірностей. Автор підручника «Аналітична хімія», що витримав 16 видань.



**Лев Чугаєв** (1873–1922) – російський хімік. Зробив великий внесок у розвиток хімії координаційних сполук.

Запропонував органічний реагент для визначення катіонів Ніколу (реагент Чугаєва).



**Анатолій Бабко** (1905–1968) – український хімік-аналітик.

Наукові праці присвячені хімії координаційних сполук та їх застосуванню в аналітичній хімії, а також фотометричному та люмінесцентному аналізу.

Вимоги часу завжди були стимулом розвитку аналітичної хімії, її досягнення постійно були пов'язані з розвитком техніки, сільсько-го господарства, промисловості, металургії, харчових технологій, медицини та фармакології, розробкою корисних копалин. Велику роль відіграє аналітична хімія в моніторингу об'єктів навколишнього середовища. Нині в Україні існують потужні школи в галузі

аналітичної хімії, успішно розробляються сучасні методи якісного і кількісного аналізу, біоаналітичні методи аналізу, розширюється коло аналітичних об'єктів. Аналітична хімія пронизує та інтегрує всі інші хімічні дисципліни. Формування професійних компетентностей майбутніх фахівців різних галузей знань неможливе без вивчення аналітичної хімії. Ця наука широко застосовується в харчових виробництвах, металургійній, хімічній, фармацевтичній промисловості, під час аналізу корисних копалин, нафтопродуктів. Курс аналітичної хімії розширює науковий світогляд фахівців різних галузей і сфер діяльності: технологів, спеціалістів у галузях біотехнології, фармації, агрохімії та ґрунтознавства, харчових виробництв, текстильної промисловості та інших, а також розвиває світогляд та загальну культуру.

# 1

## ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІТИЧНОЇ ХІМІЇ

---

### 1.1 Хімічна рівновага в гомогенних системах

---

#### 1.1.1 Закон діючих мас

Для проведення хімічного аналізу дуже важливо вміти керувати швидкістю хімічної реакції.

**Швидкість хімічної реакції** – зміна молярної концентрації речовини за одиницю часу.

Швидкість хімічної реакції залежить від природи реагуючих речовин, площі поверхні (для гетерогенних реакцій), концентрації реагуючих речовин, температури, впливу тиску (для газів), а також наявності каталізаторів та інгібіторів.

Залежність швидкості хімічної реакції від концентрації реагуючих речовин дослідили норвезькі вчені К. Гульдберг і П. Вааге (1867 р.). На той час терміна «концентрація» не було, а замість нього користувалися терміном «діючі маси», тому історично залишилася назва «закон діючих мас».

**Закон діючих мас:** швидкість хімічної реакції прямо пропорційна добутку молярних концентрацій реагуючих речовин у степенях, що дорівнюють їх стехіометричним коефіцієнтам.