

## ПЕРЕДМОВА

Вивчення курсу хімії має виключно важливе значення в загальноінженерній і науковій підготовці студентів вищих навчальних закладів.

Основною навчальною метою викладання курсу хімії у вищому навчальному закладі є оволодіння студентів знаннями та практичними навичками, що дають можливість для подальшого опанування спеціальних дисциплін.

Цей посібник призначений для студентів денної та заочної форм навчання і підготовлений відповідно до вимог навчальних програм з хімії для студентів різних спеціальностей технічного і природничого спрямування.

Мета посібника – забезпечити студентів науково-методичною базою та стисло подати основні розділи навчальної програми курсу. Матеріал поданий з урахуванням специфіки вимог спеціальних дисциплін, які викладаються в університеті.

Теоретичним фундаментом посібника є сучасні уявлення про будову речовини та її зв'язок з властивостями й особливостями процесів, також розглянуто основи хімічної термодинаміки та кінетики хімічних процесів, теорії обмінних та окисно-відновних реакцій. На цій теоретичній основі проведений аналіз хімічних систем і процесів, що мають прикладний характер, у першу чергу це фізико-хімія металів, розчинів

і комплексних сполук, а також електрохімічні процеси. Для здобуття практичних інженерних навичок теоретичний матеріал ілюструється прикладами роботи реальних приладів і пристроїв, які використовуються у виробництві, що підвищує наочність сприйняття матеріалу. Окремими розділами викладено матеріал з хімії та екології води. Спираючись на будову та фізико-хімічні особливості молекули води, проводиться глибокий аналіз методів водопідготовки та очищення природних і стічних вод.

Важливу роль для неформального засвоєння теоретичного матеріалу мають задачі, тому в кожному розділі наведені приклади типових задач і методи їх розв'язання. Для підвищення ефективності навчання і перевірки знань у кінці кожного розділу наводяться питання і завдання для самоконтролю.

## Розділ 1. ОСНОВИ ХІМІЧНИХ ЗНАНЬ

### 1.1. Основні хімічні поняття

*Хімія* – це наука про склад та будову речовин, їх властивості та взаємні перетворення. Окремий вид матерії, який за певних умов має сталі фізичні та хімічні властивості, називається *речовиною*. Речовина складається з елементарних частинок, які мають масу спокою.

Будь-які зміни, що відбуваються з речовиною, називають *явищами*. Фізичними є явища, під час яких не змінюється склад речовини, але можуть змінюватися її форма, агрегатний стан, температура тощо. Хімічні явища пов'язані зі зміною складу та властивостей речовини. Будь-яка хімічна речовина складається з хімічних елементів.

*Хімічним елементом* називається сукупність атомів, які мають однаковий заряд ядра. Кожний елемент має свою назву та хімічний символ. Носієм властивостей елемента є атом.

*Атом* – хімічно неподільна електронейтральна частинка речовини, яка складається з ядра та електронів. Ядро (центральна частина атома) складається з протонів і нейтронів. Маса протона та нейтрона майже однакові й приблизно в 2000 разів більші за масу електрона, тому в ядрі зосереджена практично вся маса атома, що дорівнює  $\approx 10^{-27} \dots 10^{-25}$  кг.

Електрони утворюють електронну оболонку, розміри якої визначають розміри атома ( $\approx 10^{-10}$  м). Позитивний заряд ядра, який відповідає числу протонів, дорівнює негативному заряду електронної оболонки, що визначається числом електронів. Кількісними характеристиками атома є його маса та заряд ядра, що збігається з порядковим номером  $Z$  елемента в Періодичній системі.

*Атомна одиниця маси* – це сучасна позасистемна одиниця вимірювання атомних і молекулярних мас (позначається а.о.м.). Вона є 1/12 часткою маси атома ізотопу Карбону  $^{12}\text{C}$ :

$$1_{\text{а.о.м}} = \frac{19,93 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}{12} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г.}$$

Ця величина – одна з фундаментальних фізичних сталих.

*Відносна атомна маса  $A_r$*  – це величина, що визначається відношенням маси атома елемента до величини 1 а.о.м.

*Молекула* – найменша, здатна до самостійного існування частинка речовини, що зберігає її хімічні властивості. Молекули складаються з атомів, які з'єднані між собою хімічними зв'язками в певній послідовності та певним чином орієнтовані в просторі. Число атомів у молекулах становить від двох ( $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) до кількох тисяч (гормони, білки). Атоми інертних газів іноді називають одноатомними молекулами ( $\text{He}$ ,  $\text{Ar}$ ). Усі молекули однієї речовини молекулярної будови мають однаковий склад, розміри, масу та властивості. Молекули різних речовин різняться за цими характеристиками. Молекули безперервно рухаються. Під час фізичних явищ молекули зберігаються, під час хімічних перетворень – руйнуються, а атоми, що звільняються, поєднуються в нові комбінації, утворюючи нові речовини.

*Відносна молекулярна маса  $M_r$*  – це величина, що визначається відношенням маси молекули до величини 1 а.о.м.

Відносна молекулярна маса розраховується за хімічною формулою й дорівнює сумі відносних атомних мас усіх атомів, які входять до складу молекули.

Відносні атомні та молекулярні маси – безрозмірні величини. Вони чисельно дорівнюють атомній і молекулярній масам, вираженим у а.о.м., наприклад, молекулярна маса води  $M_r(\text{H}_2\text{O}) = 18$ .

Сполуки, які складаються з атомів одного елемента, називаються гомосполуками. Найбільш стійка за звичайних умов гомосполука елемента називається *простою речовиною*. Наприклад, Карбон утворює графіт і алмаз, Оксиген утворює атомарний кисень O, молекулярний кисень O<sub>2</sub> і озон O<sub>3</sub>. Серед цих прикладів простими сполуками є графіт та молекулярний кисень як більш стійкі за звичайних умов. Явище існування кількох гомосполук одного елемента називається *алотропією*.

Сполуки, які складаються з атомів різних елементів, називають *гетеросполуками*, або *складними речовинами*, наприклад, вода H<sub>2</sub>O, амоніак NH<sub>3</sub>, сульфатна кислота H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> тощо.

Найважливішою характеристикою речовини є її склад, який описується хімічними формулами. Використовують декілька видів хімічних формул. Для сполук із молекулярною будовою використовуються *молекулярні* формули, які відображають якісний склад та кількісні співвідношення атомів у молекулі. Наприклад, молекула CO<sub>2</sub> складається з атомів Карбону та Оксигену в співвідношеннях 1:2.

Не всі речовини складаються з молекул. Молекулярну будову мають більшість органічних речовин і частина неорганічних, наприклад: прості речовини – водень H<sub>2</sub>, кисень O<sub>2</sub>, йод I<sub>2</sub>; складні – галогеніди, сульфіді, гідриди, оксиди неметалів (CO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, PCI<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, AsH<sub>3</sub>) і безводні неорганічні кислоти (HBr, HI).

Більшість твердих неорганічних речовин (основні оксиди, луки, солі) мають кристалічну структуру, у вузлах кристалічних ґраток яких знаходяться іони або поляризовані атоми. Носієм хімічних властивостей речовини в них є сукупність частинок, кількісне співвідношення яких відображає елементарний склад речовини, наприклад  $\text{NaCl}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ . Тому не можна застосовувати поняття "молекула" щодо речовин із немолекулярною будовою.

*Іоном (йоном)* називається заряджена частинка, яка утворюється внаслідок відщеплення або приєднання електронів та внаслідок електролітичної дисоціації. Позитивно заряджений іон називається катіоном ( $\text{K}^+$ ,  $\text{H}^+$ ), негативно заряджений – аніоном ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ).

*Кількість речовини*  $n$  визначається числом частинок – структурних одиниць речовини, з яких вона складається: молекул, атомів, іонів, електронів, протонів тощо. Одиницею вимірювання кількості речовини є моль.

*Моль* – кількість речовини, що містить стільки структурних або формульних одиниць, скільки атомів міститься в ізотопі Карбону  $^{12}\text{C}$  масою 0,012 кг. Один моль містить  $6,02 \cdot 10^{23}$  частинок. Ця величина називається *сталою Авогадро*, позначається  $N_A$  і має розмірність моль $^{-1}$ , наприклад, 1 моль води містить  $6,02 \cdot 10^{23}$  молекул. Кількість речовини розраховується за формулами

$$v = m/M; \quad v = N/N_A; \quad v = V/V_m,$$

де  $m$  – маса речовини, г;  $M$  – молярна маса речовини, г/моль;  $N$  – число частинок речовини;  $N_A$  – число Авогадро, моль $^{-1}$ ;  $V$  – об'єм речовини, л;  $V_m$  – молярний об'єм речовини, л/моль.

*Молярна маса*  $M$  – це маса одного моля речовини, має розмірність г/моль (кг/моль, або кг·моль $^{-1}$ ). Якщо молярна маса

виражена в грамах на моль, вона чисельно дорівнює відносній молекулярній масі.

Молярний об'єм  $V_M$  – об'єм газоподібної речовини або суміші газів, у якому міститься 1 моль чистої речовини або суміші ( $6,02 \cdot 10^{23}$  молекул):

$$V_M = V/\nu.$$

На відміну від молярної маси молярний об'єм газу залежить від тиску та температури. В хімії найчастіше використовують молярний об'єм газу за нормальних умов ( $T_0 = 273 \text{ K}$ ,  $P_0 = 101,325 \text{ кПа}$ )  $V_0 = 22,4 \text{ л/моль}$ .

## 1.2. Класи неорганічних сполук

Предметом вивчення хімії є хімічні елементи та їх сполуки. За хімічними та фізичними властивостями елементи поділяють на металеві та неметалеві.

З відомих елементів Періодичної системи більше 85 мають металеві властивості. Хімічні властивості металевих елементів зумовлені здатністю їх атомів віддавати електрони та перетворюватись у катіони, тобто проявляти відновні властивості:  $\text{Me} - n\bar{e} \rightarrow \text{Me}^{n+}$ . До металів належать усі елементи побічних або *B*-підгруп Періодичної системи, включаючи лантаноїди та актиноїди. До них відносяться також елементи головних *IA*- та *IIA*-підгруп (крім Гідрогену). З елементів *IIIA*...*VI A*-підгруп до металів належать ті, які розміщуються нижче діагоналі, проведеної через *B*, *Si*, *As*, *Te* та *At*, інші – до неметалів. Наприклад, до металевих елементів належать Літій, Калій, Кальцій, Ферум, Купрум, Неодим. Елементи, які розміщені поблизу вказаної межі, проявляють властивості одночасно металів і неметалів (наприклад, Бор, Арсен, Станум, Плюмбум). Проявляючи різний ступінь окиснення, один

і той же елемент може мати різні властивості (Ферум, Манган, Хром тощо).

До елементів-неметалів належать Гідроген, Нітроген, Оксиген, галогени (F, Cl, Br, I), інертні гази (He, Ar, Ne та ін.), Сульфур, Фосфор. Для більшості з них характерною особливістю є здатність приймати електрони та утворювати аніони (наприклад,  $S^0 + 2\bar{e} \rightarrow S^{2-}$ ), тобто виявляти окисні властивості. Іноді вони можуть виявляти відновні властивості. Більшість інертних газів не утворюють іонів.

У зв'язку із введенням у дію нової української номенклатури у деяких елементів було змінено їх тривіальні назви на міжнародні. В табл. 1.1 наведені нові назви деяких елементів і простих речовин, які вони утворюють.

**Таблиця 1.1. Стандартизовані назви елементів і простих речовин**

Символ елемента	Назва елемента	Назва простої речовини
Ag	Аргентум	срібло
As	Арсен	арсен
Bi	Бісмут	бісмут
C	Карбон	вуглець, графіт
F	Флуор	флуор (фтор)
H	Гідроген	водень
Hg	Меркурій	ртуть
Mn	Манган	манган
N	Нітроген	азот
Ni	Нікол, Нікель	нікель
O	Оксиген	кисень
S	Сульфур	сірка
Si	Силіцій	силіцій

Прості речовини металів, або просто метали, відрізняються від неметалів своїми фізичними, хімічними та механічними властивостями. Для металів характерні висока електро-

і теплопровідність, металічний блиск, твердість, ковкість, здатність до пластичної деформації і т. п. Усі метали, крім ртуті, за звичайних умов є твердими речовинами.

Серед простих сполук неметалів є гази ( $H_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $Cl_2$ ,  $F_2$ ), рідини ( $Br_2$ ), тверді речовини (S, P, Si). Більшість із них є діелектриками (окрім графіту і силіцію, що проводять електричний струм), не мають металічного блиску, мають невелику твердість і є крихкими.

Класифікація неорганічних сполук має велике значення для успішного вивчення хімії. Вона складена за класифікацією елементів згідно з Періодичним законом Д.І. Менделєєва та враховує властивості утворених ними сполук. Хімічні властивості елементів проявляються в хімічних реакціях. Важливими класами неорганічних сполук є оксиди, основи, кислоти та солі.

### **Оксиди**

*Оксидами* називаються сполуки елементів з Оксигеном (наприклад,  $Na_2O$  – натрій оксид,  $ZnO$  – цинк оксид). Якщо елемент утворює декілька оксидів, то після назви вказується його ступінь окиснення:  $FeO$  – ферум (II) оксид,  $Fe_2O_3$  – ферум (III) оксид,  $Cl_2O_7$  – хлор (VII) оксид.

Оксиди бувають солетворними та несолетворними ( $CO$ ,  $NO$ ,  $N_2O$ ). Перші поділяються на основні, кислотні та амфотерні.

*Основними* називаються оксиди, що утворюють солі при взаємодії з кислотами або з кислотними оксидами. Їм відповідають основи:  $CaO$  –  $Ca(OH)_2$ ,  $FeO$  –  $Fe(OH)_2$ . Основними оксидами можуть бути тільки оксиди металів.

*Кислотними* називаються оксиди, що утворюють солі взаємодією з основами або з основними оксидами. Їм відповідають кислоти  $SO_2$  –  $H_2SO_3$ ,  $P_2O_5$  –  $H_3PO_4$ . Ці оксиди називаються ангідридами кислот. Кислотні оксиди утворюються