

**Міністерство освіти і науки України**  
**Запорізька державна інженерна академія**

**Т.Г.Василенко**  
**В.П.Коляда**  
**Т.А.Шарапова**

**ХІМІЯ**

**методичні вказівки для самостійної та індивідуальної  
роботи студентів всіх спеціальностей**

*Рекомендовано до видання  
на засіданні кафедри ВВ  
протокол № 9 від 29.01.18 р.*

**Хімія. Методичні вказівки до самостійної та індивідуальної роботи студентів всіх спеціальностей.** Укладачі: Василенко Т.Г., Коляда В.П., Шарапова Т.А. - Запоріжжя: ЗДІА, 2018. -179 с.

*Укладачі: Т.Г.Василенко - канд. хім. наук, доцент  
В.П.Коляда - канд. хім. наук, доцент  
Т.А.Шарапова - канд. фарм. наук, доцент*

*Відповідальна за випуск: зав. кафедри ВВ  
проф.Д.В.Прутцьков*

## Зміст

Вступ.....	4
1. Будова атому.....	5
2. Періодичний закон і періодична система Д.І.Менделєєва.....	12
3. Основні поняття і закони хімії .....	17
4. Основні класи неорганічних сполук.....	41
5. Хімічний зв'язок і будова молекул.....	57
6. Енергетика хімічних процесів.....	64
7. Кінетика хімічних реакцій та хімічна рівновага.....	73
8. Розчини. Способи вираження концентрації розчинів.....	85
9. Електролітична дисоціація і реакції іонного обміну.....	95
10. Гідроліз солей.....	102
11. Окисно-відновні реакції.....	108
12. Гальванічний елемент.....	115
13. Електроліз.....	122
14. Корозія металів.....	131
15. Неметали та їх властивості. ....	137
16. Метали та їх властивості.....	143
17. Комплексні сполуки.....	157
18. Додатки .....	164

## ВСТУП

Методичні вказівки для самостійної та індивідуальної роботи студентів з дисципліни «Хімія» складено відповідно до навчального плану та робочої програми з хімії. Видання методичних вказівок зумовлено необхідністю забезпечити студентів матеріалами для виконання контрольних робіт та індивідуальних завдань з метою успішного засвоєння ними програмного матеріалу.

Метою викладання дисципліни «Хімія» є формування у студентів сучасних наукових уявлень про матерію і форми її руху, про речовину, механізм перетворення хімічних сполук, розуміння залежності між будовою речовини та її властивостями, про принципи застосування матеріалів в сучасних технологіях.

Задачами дисципліни є оволодіння студентами методами хімічних досліджень та розрахунків, аналізу речовин і матеріалів, аналітикою хімічних процесів, необхідних при вирішенні практичних фахових завдань.

Згідно з вимогами освітньої програми студенти повинні досягти певного рівня компетентності, а саме:

- осмислювати характерні особливості хімічних елементів періодичної системи Д.І.Менделєєва;
- усвідомлювати невід'ємний взаємозв'язок складу та будови речовин із їх властивостями;
- пояснювати явища, закономірності і процеси протікання хімічних реакцій;
- розв'язувати розрахункові задачі за всіма темами курсу;
- проводити експериментальні лабораторні дослідження;
- застосовувати знання і навички, одержані при вивченні курсу для вирішення дослідницьких завдань.

Методичні вказівки містять необхідні розділи для засвоєння матеріалу з загальної та неорганічної хімії, довідкову інформацію.

Кожен розділ складається з теоретичної частини з основними поняттями і законами хімії, контрольними питаннями, прикладами розв'язування задач, а також завданнями для самостійної роботи. Наведено необхідний довідковий матеріал щодо властивостей речовин.

# Тема 1 БУДОВА АТОМУ

## 1.1 Основні поняття

### 1.1.1 Склад атомних ядер. Ізотопи.

Атом складається з позитивно зарядженого ядра дуже малого розміру і негативно заряджених електронів, що складають електронну оболонку атома. В ядрі зосереджена майже вся маса атома.

Ядро атома містить  $Z$  протонів і  $N$  нейтронів .

$$A = Z + N,$$

де  $Z$ - порядковий номер елемента,  $A$  - маса атома або масове число.

Протони і нейтрони утримуються в ядрі ядерними силами. Електронна оболонка атома складається з безперервно рухомих електронів, кількість яких дорівнює кількості протонів в ядрі. Атом в цілому електронейтральний (табл.1.1).

Таблиця 1.1 Характеристики елементарних частинок

Назва частинки	Символ	Заряд		Маса	
		Кулон	Відносні одиниці	кг	а.о.м.
Протон	${}^1_1p$	$1,6 \cdot 10^{-19}$	+1	$1,7 \cdot 10^{-27}$	1
Нейтрон	${}^1_0n$	0	0	$1,7 \cdot 10^{-27}$	1
Електрон	$e^-$	$6 \cdot 10^{-19}$	-1	$9,11 \cdot 10^{-31}$	0,0005

Різновиди атомів одного елемента, в яких ядра мають **однаковий заряд**, але **відрізняються кількістю нейтронів** (і масовим числом), називаються **ізотопами**.

Ізотопи відомі для всіх елементів. Наприклад, гідроген має три ізотопи з власними назвами :  ${}^1_1H$  -протій,  ${}^2_1H$  -дейтерій (позначається знаком D),  ${}^3_1H$  -третій ( інакше T). Ядро протію містить 1 протон, ядро дейтерію - 1 протон і 1 нейтрон, ядро тритію – 1 протон і 2 нейтрони.

### 1.1.2 Будова електронних оболонок атомів хімічних елементів

Електрон, як і всі мікрочастини, має **подвійні властивості**: це безперервно рухома негативно заряджена **частинка** ( з масою  $m$  і швидкістю руху  $v$ ), що проявляє електромагнітні властивості **хвилі** з довжиною хвилі  $\lambda$ . Така особ-

лівість дозволяє представляти електрон у вигляді хмари. Область простору навколо ядра, де енергетично найвигідніше знаходиться електрону, називається **орбіталю**.

Енергетичний стан електрона в атомі характеризується набором чотирьох квантових чисел:  $n$ ,  $l$ ,  $m$ ,  $m_s$  (табл.1.2).

**Таблиця 1.2 Квантові числа**

№	Назва квантового числа	Символ	Які значення приймає	Що характеризує	Як (яким чином) визначається
1.	Головне	$n$	$n = 1,2,3,\dots\infty$	Енергію енергетичного рівня (розмір електронної хмари)	Залежно від відстані електрона до атомного ядра
2.	Орбітальне (побічне)	$l$	$l = 0,1,2,3 \dots (n-1)$ ↓↓↓↓ s p d f ...- символ під- рівня	Енергію енергетичного підрівня (форму електронної хмари)	В залежності від енергії $1s < 2s < 3s < 4s$ і т.д. $s < p < d < f$
3.	Магнітне	$m$	$m = -l, \dots, 0, \dots, +l$ всього $(2l + 1)$ значень	Спрямованість електронної хмари в просторі	Залежно від поєднання головного, побічного і магнітного квантових чисел
4.	Спін	$m_s$	$m_s = +1/2$ $m_s = -1/2$	Спосіб руху (спін) електрона навколо своєї осі ( напрям цього обертання)	Залежно від напрямку обертання електрона


Відповідно до запасу енергії ( головне квантове число) електрони розподіляються по **енергетичних рівнях**, номери яких **співпадають з номерами періодів** в Періодичній системі хімічних елементів Д.І.Менделєєва і позначаються цифрами : 1,2,3... або буквами : K, L, M, N, O, P, Q.

Поняття	Фізична суть
<b>Номер періоду</b>	відповідає числу енергетичних рівнів в атомі цього елементу
<b>Номер групи</b>	відповідає числу валентних $\bar{e}$ в атомах елементів даної групи і показує можливий вищий ступінь окиснення елементу в сполуках
<b>Порядковий номер елементу</b>	відповідає числу протонів в ядрі атома, позитивному заряду ядра, кількості електронів в атомі.

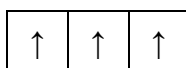
### 1.1.3 Розподіл електронів на енергетичних рівнях і підрівнях

Розподіл електронів на енергетичних рівнях і підрівнях проводять за принципом Паулі, принципом мінімуму енергії та правилом Гунда (табл.1.3).

Таблиця 1.3 Основні принципи розподілу електронів в атомі.

Поняття	Фізична суть
<p><b>Принцип Паулі:</b></p> 	<p>в атомі не можливо існування навіть двох електронів, стан яких характеризувався би однаковими значеннями всіх квантових чисел.</p> <p>Згідно <i>принципу Паулі</i> на одній електронній орбіталі може розміститись <b>не більше двох електронів</b>.</p> <p><b>На одному енергетичному рівні</b> максимально може знаходитись певна кількість електронів (<math>N</math>):</p> $N = 2n^2,$ <p>а на одному <b>підрівні</b> – <math>N = 2(2l+1)</math> електронів, де <math>n</math> - головне квантове число ( або № рівня);  <math>l</math> – орбітальне квантове число .</p>
<p><b>Принцип найменшої енергії:</b></p>	<p>електрони заповнюють в першу чергу ті рівні і підрівні, на яких енергія електронів буде найменшою. <i>Чим меншою є сума (<math>n + l</math>), тим меншою є енергія орбіталі.</i></p> <p><b>Перше Правило Клечковського</b> : електрони заповнюють в <i>першу</i> чергу ті орбіталі, для яких сума (<math>n + l</math>) є найменшою.</p> <p><b>Друге Правило Клечковського</b> : при однакових значеннях суми (<math>n + l</math>), <b>найменшу енергію</b> мають ті орбіталі, для яких головне квантове число <math>n</math> має <b>найменше</b> значення.</p> <p>Енергія орбіталей зростає в такій послідовності:  <math>1s &lt; 2s &lt; 2p &lt; 3s &lt; 3p &lt; 4s &lt; 3d &lt; 4p &lt; 5s &lt; 4d &lt; 5p &lt; 6s &lt; 5d</math> "  <math>4f &lt; 6p &lt; 7s</math>.</p> <p>В такій же послідовності відбувається заповнення рівнів і підрівнів електронами.</p>
<p><b>Правило Гунда</b></p>	<p>в межах підрівня електрони <u>спочатку займають по одному всі квантові комірки</u> і тільки після заповнення їх неспареними електронами, починається формування електронних пар.</p> <p>Заповнення р-підрівня трьома електронами, наприклад, відбувається таким чином:</p>

3p



**Таблиця 1.4 Типи елементів.**

Тип елементів	Підрівень, що заповнюється останнім
<b>s – елементи</b> (метали ІА, ІІА груп і неметали ${}_1\text{H}$ і ${}_2\text{He}$ )	останнім заповнюється електронами <b>s</b> – підрівень <i>зовнішнього</i> рівня;
<b>p – елементи</b> (метали і неметали від ІІІА до VІІА підгрупи, виключаючи ${}_1\text{H}$ і ${}_2\text{He}$ )	останнім заповнюється електронами <b>p</b> – підрівень <i>зовнішнього</i> рівня;
<b>d – елементи</b> (метали від І В до VІІІ В підгрупи)	останнім заповнюється електронами <b>d</b> – підрівень <i>передзовнішнього</i> рівня;
<b>f – елементи</b> (метали лантаноїди і актиноїди)	останнім заповнюється електронами <b>f</b> – підрівень <i>третього ззовні</i> рівня.

**Таблиця 1.5 Енергетичні характеристики стану електрона в атомі.**

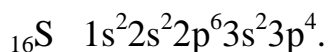
Поняття	Фізична суть
<b>Енергія іонізації (I),</b> (кДж/моль).	- <i>це мінімальна енергія, яка необхідна для відриву електрона від атома. Енергія іонізації зменшується в групі зверху вниз, а в періоді зліва направо-збільшується.</i>
<b>Енергія спорідненості до електрона (E),</b> (кДж/моль)	- <i>це енергія, яка виділяється при приєднанні електрона до атома. Енергія спорідненості до електрона зменшується в групі зверху вниз, а в періоді зліва направо – збільшується</i>
<b>Електронегативність (EN),</b> (кДж/моль)	- характеризує <i>здатність атома до зміщення спільних електронних пар</i> . Розраховується за формулою: $EN = \frac{I + E}{2}$ . Електронні пари зміщуються до атома з більшою електронегативністю. Ця характеристика важлива для визначення стану та міцності хімічного зв'язку.



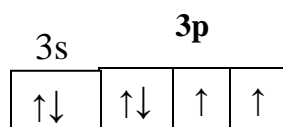
## 1.2 Приклади розв'язування задач

**Приклад 1.** Напишіть електронну формулу елемента з порядковим номером 16. Підкресліть валентні електрони, визначте тип елемента. Розподіліть валентні електрони в квантових комірках та опишіть їх квантовими числами.

**Розв'язання.** За порядковим номером зазначений елемент сульфур, його атом має 16 електронів, які відповідно принципу найменшої енергії розташовані на таких орбіталях:



Скорочена електронна формула:  ${}_{16}\text{S} \dots 3s^2 3p^4$ ; це р-елемент. Валентні електрони в квантових комірках розподіляються таким чином:



Кожен електрон характеризується таким набором квантових чисел:

	$1e$	$2e$	$3e$	$4e$	$5e$	$6e$
$n$	3	3	3	3	3	3
$l$	0	0	1	1	1	1
$m$	0	0	-1	-1	0	1
$m_s$	1/2	-1/2	1/2	-1/2	1/2	1/2

Валентні електрони в атомі сульфору знаходяться на третьому енергетичному рівні, тоді головне квантове число  $n = 3$ . Два електрони на s- підрівні мають  $l = 0$ , а чотири на р- підрівні мають  $l = 1$ . (треба пам'ятати, що значення  $l$  залежить від  $n$ :  $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$ ).

Форма орбіталі	s	p	d	f
$l$	0	1	2	3

Магнітне квантове число залежить від  $l$  і приймає значення від  $-l$  до  $+l$ . Так, при  $l = 0$   $m = 0$ ; при  $l = 1$   $m$  може приймати значення:  $-1, 0, +1$ . Спінове квантове число може приймати значення  $+1/2$  та  $-1/2$  залежно від напрямку обертання електрона навколо своєї вісі.

### 1.3 Контрольні питання

1. Ядерна модель будови атомів Е. Резерфорда.
2. Склад атомних ядер. Ізотопи, ізобари.
3. Сучасна модель стану електрона в атомі.
4. Ймовірність знаходження електрона в навколоядерному просторі. Електронна хмара.
5. Квантові числа:  $n, l, m, m_s$ .
6. Принцип Паулі. Висновки із принципу Паулі. Правило Гунда.
7. Принцип найменшої енергії. Правила Клечковського.
8. Електронні формули атомів.
9. Поділ елементів на типи:  $s, p, d, f$ .

### 1.4 Контрольні завдання

**Багатоваріантне завдання.** Напишіть електронні формули елементів, підкресліть валентні електрони, визначте тип елемента; розмістіть валентні електрони в квантових комірках, визначте можливі ступені окиснення в незбудженому та збудженому стані:

1. Елементи: №23, №50, №63.
2. Елементи: №22, №51, №58.
3. Елементи: №25, №53, №60.
4. Елементи: №21, №52, №66.
5. Елементи: №31, №40, №91.
6. Елементи: №32, №56, №73.
7. Елементи: №33, №38, №74.
8. Елементи: №37, №43, №59.
9. Елементи: №21, №49, №90.
10. Елементи: №29, №52, №92.
11. Елементи: №30, №53, №82.
12. Елементи: №26, №38, №84.
13. Елементи: №28, №33, №94.
14. Елементи: №22, №34, №91.

15. Элементы: №37, №61, №81.
16. Элементы: №38, №58, №62.
17. Элементы: №20, №35, №53.
18. Элементы: №25, №52, №73.
19. Элементы: №27, №50, №81.
20. Элементы: №28, №48, №64.
21. Элементы: №31, №57, №93.
22. Элементы: №33, №48, №83.
23. Элементы: №34, №47, №84.
24. Элементы: №35, №73, №85.
25. Элементы: №37, №39, №59.
26. Элементы: №17, №41, №65.
27. Элементы: №14, №43, №67.
28. Элементы: №15, №40, №97.
29. Элементы: №16, №24, №60.
30. Элементы: №23, №37, №74.

## Тема 2 ПЕРІОДИЧНИЙ ЗАКОН І ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ЕЛЕМЕНТІВ Д.І. МЕНДЕЛЄЄВА

### 2.1 Основні поняття

Сучасне формулювання періодичного закону:

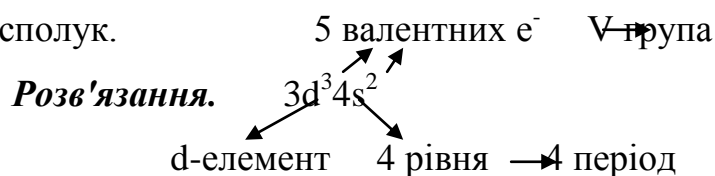
Властивості елементів і їх сполук знаходяться в *періодичній залежності* від заряду ядра атому.

Таблиця 2.1 Структура періодичної системи.

Поняття	Фізична суть
Період	<p>- це <b>горизонтальний ряд елементів</b>, розташованих за зростанням порядкового номеру. Таблиця складається з семи періодів: I-III - малі періоди, IV-VII – великі періоди. Кожний період (за виключенням першого) починається <b>типовими</b> металами, має певну кількість <b>амфотерних металів, неметалів</b> і закінчується <b>інертним газом</b>.</p> <p><i>Зліва направо в періоді:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• радіус атома <i>незначно зменшується</i>, а число валентних електронів зростає;</li> <li>• енергія іонізації <i>збільшується</i>;</li> <li>• спорідненість до електрона <i>збільшується</i>;</li> <li>• відносна електронегативність атому <i>збільшується</i>;</li> <li>• металеві (відновні) і основні властивості <i>слабшають</i>;</li> <li>• неметалеві (окисні) і кислотні властивості <i>посилюються</i>.</li> </ul>
Група	<p>- це <b>вертикальний ряд елементів</b>, що мають однакову кількість валентних електронів (відповідно до номера групи) та ідентичну електронну будову зовнішніх енергетичних рівнів в атомі.</p> <p><i>Зверху вниз в групі:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• радіус атома <i>збільшується</i>, а число валентних електронів <i>не змінюється</i>;</li> <li>• металеві (відновні) властивості <i>посилюються</i>;</li> <li>• неметалеві (окисні) властивості <i>слабшають</i>;</li> <li>• енергія іонізації <i>зменшується</i>;</li> <li>• спорідненість до електрона <i>зменшується</i>;</li> </ul>
Підгрупа: а) головна (A) б) побічна (B)	<p>а) <i>головні підгрупи</i> включають елементи <i>малих і великих періодів</i>, які відносяться до <i>s</i> - і <i>p</i> - типу. В малих періодах знаходяться елементи тільки головних підгруп.</p> <p>б) <i>побічні підгрупи</i> включають елементи <i>тільки великих періодів</i>, які відносяться до <i>d</i>- і <i>f</i>-типу.</p>

## 2.2 Приклади розв'язування задач

**Приклад 1.** В якій групі і в якому періоді періодичної системи елементів знаходиться елемент, який має таку скорочену електронну формулу  $3d^34s^2$ ? Визначте його порядковий номер. Опишіть хімічні властивості цього елемента та його сполук.



Це d-елемент, його атом має 4 енергетичних рівня. Елемент знаходиться у 4-му періоді. Атом має 5 валентних електронів (3 на d- підрівні та 2 на s) і знаходиться у п'ятій групі побічної підгрупи. Отже, порядковий номер елемента - 23. Це ванадій. Елемент може легко віддавати 2 електрони з 4s підрівня, виявляючи ступінь окиснення +2. При цьому він утворює оксид VO і гідроксид  $V(OH)_2$ , які виявляють основні властивості.

Атом ванадію може віддати також 3 електрони з передостаннього 3d - підрівня і виявити вищій ступінь окиснення +5. Оксид  $V_2O_5$  виявляє кислотні властивості. Йому відповідає кислота  $HVO_3$ .

**Приклад 2.** Який з елементів - натрій, чи цезій - має більш виражені металеві властивості?

*Розв'язання.* Будова електронних оболонок атомів  $_{11}Na... 3s^1$ ;  $_{55}Cs ...6s^1$ . Як бачимо, на зовнішньому енергетичному рівні атоми мають по одному електрону. Але у цезія зовнішній електрон розміщений далі від ядра (на 6 енергетичному рівні) і буде легше відриватися від атому. Оскільки металеві властивості елемента зумовлені здатністю віддавати електрони, то вони сильніше виражені у цезія.

## 2.3 Контрольні питання

1. Сучасне формулювання періодичного закону Д.І. Менделєєва.
2. Що називають періодом в періодичній системі?

3. Як змінюються властивості елементів в періоді зліва направо? З чи це пов'язано ?

4. Що називають групою в періодичній системі?

5. Як змінюються властивості елементів в групі зверху вниз? Як впливає на цю зміну радіус атомів ?

6. В чому полягає фізична суть періодичності?

7. Які типи елементів відносяться до головних та побічних підгруп?

## 2.4 Контрольні завдання

31. Енергія іонізації. Змінення її в періодах та групах.

32. Спорідненість до електрону. Змінення її в періодах та групах.

33. Електронегативність за Полінгом. Відносні електронегативності елементів. Змінення їх в періодах та групах.

34. Змінення металевих властивостей елементів в періодах та групах.

35. Змінення окислювально-відновних властивостей елементів в періодах та групах.

36. Змінення кислотно-основних властивостей елементів в періодах та групах.

37. Який з елементів IV періоду - ванадій, чи миш'як - має більш виражені металеві властивості? Відповідь дайте, виходячи з будови атома.

38. Марганець має сполуки, в яких він виявляє ступені окиснення +2, +3, +4, +6, +7. Напишіть формули оксидів та гідроксидів, які відповідають цим ступеням окиснення.

39. У якого елемента 4-го періоду - хрома, чи селена - більш виражені металеві властивості? Відповідь дайте, виходячи з будови атома хрому та селену.

40. У якого з р- елементів п'ятої групи - фосфору, чи сурми - більш виражені металеві властивості? Відповідь дайте, виходячи з будови атома фосфору та сурми.

41. Яку найнижчу ступінь окиснення має водень, фтор, сірка та азот? Чому? Напишіть формули сполук кальцію з цими елементами в цій ступені окиснення.
42. Яку вищу і найнижчу ступінь окиснення мають селен та хлор? Чому? Напишіть формули цих сполук.
43. Хром утворює сполуки, в яких він може мати ступені окиснення +1, +5, +6. Напишіть формули оксидів та гідроксидів, які відповідають цим ступеням окиснення.
44. Яку найвищу і найнижчу ступінь окиснення мають карбон та сульфур? Чому? Напишіть формули сполук цих елементів відповідно цим ступеням окиснення.
45. Атоми яких елементів 4-го періоду утворюють оксид, який відповідає формулі  $R_2O_3$ . Напишіть формули кислот, які відповідають цим оксидам.
46. Напишіть формули оксидів та гідроксидів для елементів 3-го періоду, які відповідають найвищому ступеню окиснення.
47. Який найнижчий ступінь окиснення мають флуор і нітроген? Чому? Напишіть сполуки алюмінію з цими елементами в цих ступенях окиснення.

**Багатоваріантне завдання.** В якому періоді, групі та підгрупі знаходиться елемент? Його порядковий номер? Визначте можливі ступені окиснення цього елемента та напишіть формули оксидів і гідроксидів відповідно до цих ступенів окиснення, якщо атом має таку скорочену електронну формулу:

48. а)  $\dots 4s^2 4p^1$ ; б)  $\dots 3d^2 4s^2$ .
49. а)  $\dots 3s^2 3p^2$ ; б)  $\dots 3d^1 4s^2$ .
50. а)  $\dots 4s^2 4p^2$ ; б)  $\dots 4d^2 5s^2$ .
51. а)  $\dots 3s^2 3p^3$ ; б)  $\dots 4d^3 5s^2$ .
52. а)  $\dots 3s^2 3p^4$ ; б)  $\dots 4d^2 5s^2$ .
53. а)  $\dots 6s^2$ ; б)  $\dots 3d^5 4s^2$ .
54. а)  $\dots 5s^1$ ; б)  $\dots 4s^2 4p^4$ .

55. a)... $3s^23p^5$ ; б)... $3d^{10}4s^2$ .

56. a)... $4s^24p^3$ ; б)... $4d^55s^2$ .

57. a)... $4s^24p^4$ ; б)... $5d^{10}6s^2$ .

58. a)... $5s^25p^1$ ; б)... $5d^16s^2$ .

59. a)... $4s^24p^5$ ; б)... $3d^54s^1$ .

60. a)... $2s^22p^2$ ; б)... $3d^{10}4s^2$ .



## Тема 3 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ЗАКОНИ ХІМІЇ

### 3.1 Основні поняття

Поняття	Фізична суть	Позначення, одиниці вимірювання
<b>Атом</b>	– це найменша хімічно неподільна електронейтральна частинка хімічного елемента, яка зберігає його хімічні властивості.	$N^0, Fe^0, S^0$
<b>Хімічний елемент</b>	- це вид атомів, що мають однаковий заряд ядра.	${}_7N, {}_{26}Fe, {}_{16}S$
<b>Молекула</b>	- це найменша електронейтральна частинка речовини, має постійний склад, зберігає хімічні властивості цієї речовини. Молекули утворюються при сполученні атомів одного або декількох елементів хімічними зв'язками.	$HNO_3,$ $BaSO_4$
<b>Атомна одиниця маси</b>	За одиницю маси атомів і молекул прийнята 1/12 частина маси ізотопу карбону $^{12}C$ . Цю одиницю називають <i>атомною одиницею маси</i> .	1 а.о.м. = $1,66 \cdot 10^{-24} \text{г}$
<b>Відносна атомна (або молекулярна) маса</b>	– це середня алгебраїчна маса ізотопів атома (або молекули): показує <b>в скільки разів маса даного атома (молекули) перевищує 1/12 маси атома карбону</b> . З періодичної системи випливає, що $A_r(O)=16$ а.о.м.; $M_r(H_2O)=2+16=18$ а.о.м.	$A_r$ або $M_r$ а.о.м.
<b>1 Моль</b>	- це <b>кількість речовини</b> , яка містить стільки структурних елементів (атомів, молекул, іонів), скільки атомів містить 12 г ізотопу карбону $^{12}C$ , а саме $6,02 \cdot 10^{23}$ атомів ( <i>число Авогадро <math>N_A</math></i> ). Напр., 1 моль Na містить $6,02 \cdot 10^{23}$ атомів Na; 1 моль $CO_2$ містить $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул $CO_2$ ; 1 моль $NO_3^-$ містить $6,02 \cdot 10^{23}$ іонів $NO_3^-$	$N_A=6,02 \cdot 10^{23}$ (моль <sup>-1</sup> )
<b>Мольна маса речовини</b>	- це маса 1 моль речовини. Наприклад, $M(NH_3)= 14+3 \cdot 1=17$ г/моль	$M$ , г/моль
<b>Кількість речовини</b>	дорівнює відношенню маси речовини до її мольної маси: $\nu = m / M$	$\nu$ , моль

<b>Масова доля речовини в суміші</b>	- це відношення маси певного компонента суміші до маси суміші: $\omega = \frac{m_{\text{комт.}}}{m_{\text{суміші}}} \cdot 100\%$	<b><math>\omega</math></b> , в частках або %
<b>Мольна доля речовини в суміші</b>	- це відношення кількості речовини одного компонента до суми кількості речовини всіх компонентів суміші: $\chi = \frac{V_{\text{комт.}}}{V_{\text{суміші}}} \cdot 100\%$	<b><math>\chi</math></b> , в частках або %

Кількість речовини ( $\nu$ ), маса речовини ( $m$ ), мольна маса речовини ( $M$ ), стала Авогадро ( $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$  структур. одиниць), кількість структурних одиниць ( $N$ ), об'єм газу ( $V$ ), мольний об'єм газу ( $V_M = 22,4$  л/моль) співвідносяться між собою наступним чином:

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A} = \frac{V}{V_M}$$

### 3.2 Приклади розв'язування задач

**Приклад 1.** Яка кількість моль в 300 г кальцію карбонату?

**Розв'язання:**  $\nu = \frac{m}{M}$ ;

$\nu$  – кількість молей;  $m$  – маса речовини, г;

$M$  – його мольна маса, г/моль.  $M_{\text{CaCO}_3} = 100$  г/моль.

$$\nu_{\text{CaCO}_3} = \frac{m_{\text{CaCO}_3}}{M_{\text{CaCO}_3}} = \frac{300\text{г}}{100\text{г/моль}} = 3 \text{ моль CaCO}_3.$$

**Приклад 2.** Яке число атомів в 3,2 г сульфурі?

**Розв'язання:** Кількість молей в 3,2 г сульфурі:

$$\nu = \frac{m_S}{M_S} = \frac{3,2\text{г}}{32\text{г/моль}} = 0,1 \text{ моль.}$$

Оскільки моль речовини містить число Авогадро атомів, знаходимо число атомів сульфурі:

$$n_{\text{атомів}_S} = \nu \cdot N_A = 0,1 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 6,02 \cdot 10^{22} \text{ атомів.}$$

**Приклад 3.** Яка маса молекули NO?

**Розв'язання:**  $m_{\text{NO}} = \frac{M_{\text{NO}}}{N_A} = \frac{30\text{г/моль}}{6,02 \cdot 10^{23}\text{ моль}} = 5 \cdot 10^{-23}\text{Г.}$

### 3.3 Основні закони хімії

**Стехіометричні закони** встановлюють кількісні співвідношення між взаємодіючими речовинами.

Закон	Формулювання закону	Автор
<b>Закон збереження маси</b>	Маса речовин, що вступили в реакцію, дорівнює масі речовин, що утворилися внаслідок реакції. Наприклад. $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$ $4\text{Г} + 32\text{Г} = 36\text{Г}$	М.Ю. Ломоносов (1748 р.).
<b>Закон сталості складу</b>	Кожна хімічна сполука має постійний якісний і кількісний склад незалежно від способу її утворення. Наприклад, $\text{CO}_2$ можна отримати різними способами: $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$ $2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$ $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ У всіх випадках масова частка карбону і кисню в $\text{CO}_2$ складає : 27,3% та 72,7% відповідно.	Ж. Пруст (1799 р.)
<b>Закон кратних відношень</b>	Якщо два елементи, що реагують між собою, утворюють декілька сполук, то різні масові кількості одного елемента, що сполучаються з однією і тією ж масовою кількістю другого, відносяться як невеликі цілі числа. <b>Наприклад</b> , в сполуках нітрогену $\text{N}_2\text{O}$ , $\text{NO}$ , $\text{N}_2\text{O}_3$ , $\text{N}_2\text{O}_4$ , $\text{N}_2\text{O}_5$ масова кількість кисню, з'єднаного з <b>однаковою масовою кількістю</b> нітрогену, знаходяться у співвідношенні 1:2:3:4:5.	Дж. Дальтон (1803 р.)
<b>Закон еквівалентів</b>	Маси реагуючих і утворених речовин відносяться між собою, як їх мольні маси (або об'єми) еквівалентів. $\frac{m_1}{m_2} = \frac{M_{\text{екв}1}}{M_{\text{екв}2}} = \frac{V_{\text{екв}1}}{V_{\text{екв}2}}$ або	І.В.Ріхтер, (1792 р.)

	$v_{екв1} = v_{екв2}, \quad \frac{m_1}{M_{екв1}} = \frac{m_2}{M_{екв2}}$	
--	--	--

### 3.4 Приклади розв'язування задач

#### 3.4.1 Встановлення хімічних формул

**Приклад 4.** Знайдіть молекулярну формулу речовини, яка містить 39,97% С; 6,73% Н; 53,3% О, а 300 см<sup>3</sup> пари цієї речовини мають масу 2,41г за нормальних умов.

**Розв'язання:** 1) Знайдемо найпростішу формулу речовини. В загальному вигляді формула буде така: C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub>. На підставі **закону сталості складу** речовини можна записати: 12x : 1y : 16z = 39,97 : 6,73 : 53,3.

Звідси: x : y : z =  $\frac{39,97}{12} : \frac{6,73}{1} : \frac{53,3}{16}$ , або x : y : z = 3,33 : 6,73 : 3,33.

Далі відношення дрібних чисел змінюємо на відношення цілих чисел: поділимо їх на найменше і одержимо:

$$x : y : z = 1 : 2 : 1$$

Отже, найпростіша формула речовини CH<sub>2</sub>O, а її відносна молекулярна маса буде дорівнювати 30.

Знайдемо істинну формулу сполуки. По-перше, знайдемо молярну масу сполуки з даних умов задачі:

$$M_{C_xH_yO_z} = \frac{2,41г \cdot 22,4л / моль}{0,3л} = 180 г / моль.$$

Це значить, що відносна молекулярна маса сполуки  $Mr_{C_xH_yO_z} = 180$ .

Знайдемо відношення молекулярної маси найпростішої формули і молекулярної маси сполуки:

$$\frac{Mr_{C_xH_yO_z}}{Mr_{CH_2O}} = \frac{180}{30} = 6.$$

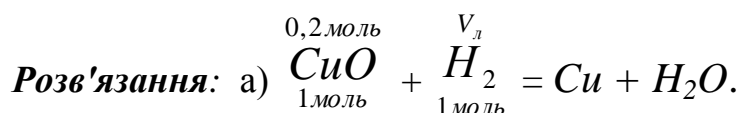
Для знаходження істинної формули сполуки необхідно склад найпростішої формули збільшити в 6 разів. Тобто, істинна формула речовини буде C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>. **Відповідь:** Формула сполуки C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>.

#### 3.4.2 Розрахунки за рівняннями хімічних реакцій

**Приклад 5.** Який об'єм гідрогену (н.у.) необхідний для повного відновлення:

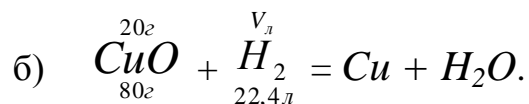
а) 0,2 моль оксиду купруму (II);

б) 20 г оксиду купруму (II)?



За рівнянням хімічної реакції  $\nu_{\text{H}_2} = \nu_{\text{CuO}} = 0,2$  моль;

$$V_{\text{H}_2} = V_{\text{м}} \cdot \nu_{\text{H}_2} = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 0,2 \text{ моль} = 4,48 \text{ л}.$$



Складемо пропорцію:

на відновлення 80 г CuO потрібно 22,4 л H<sub>2</sub>;

на відновлення 20 г CuO потрібно V<sub>л</sub> H<sub>2</sub>:

$$V_{\text{H}_2} = \frac{20\text{г} \cdot 22,4\text{л}}{80\text{г}} = 5,6 \text{ л}.$$

**Відповідь:** а) V<sub>H<sub>2</sub></sub> = 4,48 л; б) V<sub>H<sub>2</sub></sub> = 5,6 л.

### 3.4.3 Розрахунки за хімічними рівняннями, якщо одна з реагуючих речовин є в надлишку

**Приклад 6.** До розчину, який містить нітрат аргентума масою 25,5 г додали розчин, що містить 7,82 г натрію сульфіді. Яка маса осаду, що утворився?

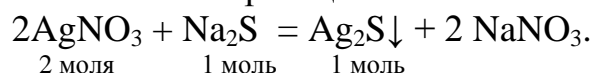
**Розв'язання.** 1) Знаходимо кількість речовини нітрату аргентума, взятого для реакції:

$$\nu_{\text{AgNO}_3} = \frac{m_{\text{AgNO}_3}}{M_{\text{AgNO}_3}}; \quad \nu_{\text{AgNO}_3} = \frac{25,5\text{г}}{170\text{г/моль}} = 0,15 \text{ моль}.$$

2) Кількість речовини натрію сульфіді в розчині становить:

$$\nu_{\text{Na}_2\text{S}} = \frac{m_{\text{Na}_2\text{S}}}{M_{\text{Na}_2\text{S}}}; \quad \nu_{\text{Na}_2\text{S}} = \frac{7,8\text{г}}{78\text{г/моль}} = 0,1 \text{ моль}.$$

3) Складаємо рівняння хімічної реакції:



З цього рівняння видно, що 2 моль AgNO<sub>3</sub> реагують з 1 моль Na<sub>2</sub>S.

Тоді для взаємодії 1,15 моль аргентума нітрату потрібно

$$0,15 \text{ моль} : 2 = 0,075 \text{ моль натрію сульфіді}.$$

Отже, частина натрію сульфіді, що міститься в розчині, не прореагує, тобто Na<sub>2</sub>S взятий в надлишку (аргентум нітрат – в недостатній кількості). Для розрахунку маси продукту реакції необхідно використовувати кількість речовини, взятої в недостатній кількості, тобто нітрат аргентума.

4) З рівняння реакції виходить:

$$\nu_{\text{Ag}_2\text{S}} = \frac{\nu_{\text{AgNO}_3}}{2}; \quad \nu_{\text{Ag}_2\text{S}} = \frac{0,15 \text{ моль}}{2} = 0,075 \text{ моль.}$$

5) Розраховуємо масу сульфиду аргентума, що випав в осад:

$$m_{\text{Ag}_2\text{S}} = \nu_{\text{Ag}_2\text{S}} \cdot M_{\text{Ag}_2\text{S}}$$
$$m_{\text{Ag}_2\text{S}} = 0,075 \text{ моль} \cdot 248 \text{ г/моль} = 18,6 \text{ г.}$$

*Відповідь:* Маса осаду  $\text{Ag}_2\text{S} = 18,6 \text{ г.}$

### 3.4.4 Визначення масової частки виходу продукту

#### від теоретично можливого

**Приклад 7.** З 34 г натрію нітрату при дії концентрованої сульфатної кислоти отримали 22,7 г нітратної кислоти. Яка масова частка виходу нітратної кислоти від теоретично можливого?

**Розв'язання.**  $2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{HNO}_3$ .

$$m_{\text{NaNO}_3} = 2 \text{ моль} \cdot 85 \text{ г/моль} = 170 \text{ г}; \quad m_{\text{HNO}_3} = 2 \text{ моль} \cdot 63 \text{ г/моль} = 126 \text{ г}$$

1) Знайдемо теоретично можливий вихід нітратної кислоти:

з 170 г  $\text{NaNO}_3$  утворюється 126 г  $\text{HNO}_3$ ;

з 34 г  $\text{NaNO}_3$  утворюється  $m$  г  $\text{HNO}_3$ :

$$m_{\text{HNO}_3} = \frac{34\text{г} \cdot 126\text{г}}{170\text{г}} = 25,2 \text{ г.}$$

2) Знайдемо масову частку виходу нітратної кислоти від теоретично можливого:

$$\omega_{\text{вих. HNO}_3} = \frac{m_{\text{HNO}_3}}{m_{\text{HNO}_3}^{\text{теор}}} = \frac{22,7\text{г}}{25,2\text{г}} = 0,9 \text{ або } \omega_{\text{вих. HNO}_3} = \frac{22,7\text{г}}{25,2\text{г}} \cdot 100\% = 90\% .$$

*Відповідь:*  $\omega_{\text{вих. HNO}_3} = 90\% .$

**Приклад 8.** Який об'єм амоніаку (н.у.) можна отримати з 214 г амонію хлориду, коли масова частка виходу амоніаку становить 95 % від теоретично можливого?

**Розв'язання.**  $2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ca}(\text{OH})_2 \xrightarrow{\text{нагрів}} \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_3\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ .

$$m_{\text{NH}_4\text{Cl}} = 2 \text{ моль} \cdot 53,5 \text{ г/моль} = 107 \text{ г}; \quad V_{\text{NH}_3} = 2 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 44,8 \text{ л}$$

1) Знайдемо теоретичний вихід амоніаку:

з 107 г  $\text{NH}_4\text{Cl}$  утворюється 44,8 л  $\text{NH}_3$ ;

з 214 г  $\text{NH}_4\text{Cl}$  утворюється  $V$  л  $\text{NH}_3$ :

$$V_{NH_3} = \frac{214z \cdot 44,8л}{107z} = 89,6 \text{ л.}$$

2) Знайдемо практичний об'єм амоніаку через об'ємну частку його виходу:

$$\omega_{вих.NH_3} = \frac{V_{NH_3}^{прат.}}{V_{NH_3}^{теор.}}; \quad V_{NH_3}^{прат.} = V_{NH_3}^{теор.} \cdot \omega_{вих.NH_3};$$

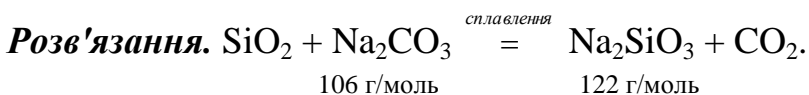
$$V_{NH_3}^{прат.} = 89,6 \text{ л} \cdot 0,95 = 85 \text{ л.}$$

**Відповідь:**  $V_{NH_3}^{прат.} = 85 \text{ л.}$

### 3.4.5 Розрахунки з речовинами, що містять певну масову частку

#### домішок

**Приклад 9.** Скільки натрію силікату можна отримати при сплавленні оксиду силіцію (IV) з 64,2 кг соди, масова частка домішок в якій становить 5%?



1) Знайдемо масу натрію карбонату в соді:

$$\omega_{Na_2CO_3}^{чист.} = \frac{m_{Na_2CO_3}^{чист.}}{m_{Na_2CO_3}^{загальн.}};$$

$$m_{Na_2CO_3}^{чист.} = m_{Na_2CO_3}^{загальн.} \cdot \omega_{Na_2CO_3}^{чист.};$$

$$m_{Na_2CO_3}^{чист.} = 64,2 \text{ кг} \cdot 0,95 = 61 \text{ кг.}$$

2) Для знаходження маси натрію силікату складемо пропорцію з врахуванням співвідношень речовин в рівнянні:

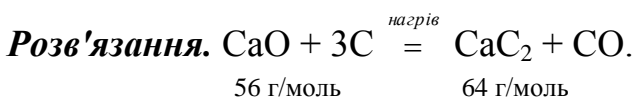
$$106 \text{ кг } Na_2CO_3 \text{ утворює } 122 \text{ кг } Na_2SiO_3;$$

$$61 \text{ кг } Na_2CO_3 \text{ утворює } x \text{ кг } Na_2SiO_3.$$

$$x = \frac{61 \cdot 122}{106} = 70,20 \text{ кг.}$$

**Відповідь:** 70,20 кг.

**Приклад 10.** Скільки кальцію оксиду, в якому є домішок 10 %, необхідно для отримання 16 кг кальцію карбідіду?



1) Знайдемо масу чистого кальцію оксиду, необхідного для отримання 16 кг кальцію карбіду. Для цього з врахуванням співвідношень речовин в рівнянні реакції складемо пропорцію:

для отримання 64 кг  $\text{CaC}_2$  необхідно 56 кг  $\text{CaO}$ ;

для отримання 16 кг  $\text{CaC}_2$  необхідно  $m$  кг  $\text{CaO}$ :

$$m_{\text{CaO}} = \frac{16\text{кг} \cdot 56\text{кг}}{64\text{кг}} = 14\text{ кг.}$$

2) Знайдемо загальну масу кальцію оксиду з домішками:

$$\omega_{\text{CaO}}^{\text{чист.}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\text{чист.}}}{m_{\text{CaO}}^{\text{загальн.}}}; \quad m_{\text{CaO}}^{\text{загальн.}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\text{чист.}}}{\omega_{\text{CaO}}^{\text{чист.}}};$$

$$m_{\text{CaO}}^{\text{загальн.}} = \frac{14\text{кг}}{0,9} = 15,5\text{ кг.}$$

**Відповідь:**  $m_{\text{CaO}}^{\text{загальн.}} = 15,5\text{ кг.}$

### 3.5 Поняття еквівалента речовини

Кількісні дослідження хімічних перетворень свідчать, що речовини реагують між собою у певних масових співвідношеннях. Для характеристики таких масових співвідношень речовин, що взаємодіють одна з одною або заміщують один елемент іншим без залишку, введено поняття «еквівалент».

Поняття	Фізична суть	Позначення, одиниці вимірювання
<b>Хімічний еквівалент елемента</b>	така кількість речовини, яка сполучається з 1 моль атомів гідрогену або заміщує цю кількість атомів Н в хімічних реакціях	МОЛЬ
<b>Мольна маса еквівалента</b>	маса 1 еквівалента речовини: $M_{\text{екв}}(\text{H})=1\text{ г/моль}$ ; $M_{\text{екв}}(\text{O})=8\text{ г/моль}$	$M_{\text{екв}}$ , г/МОЛЬ
<b>Кількість еквівалентів речовини</b>	дорівнює відношенню маси речовини до мольної маси її еквівалента $v_{\text{екв}} = m / M_{\text{екв}}$	$v_{\text{екв}}$ , МОЛЬ
<b>Мольний об'єм еквіва-</b>	об'єм, який займає 1 еквівалент речовини в газоподібному стані	$V_{\text{екв}}$ , л/МОЛЬ



лента	$V_{екв} = V_M / \nu_{екв}$ $V_{екв}(H_2) = 11,2 \text{ л/моль}; V_{екв}(O_2) = 5,6 \text{ л/моль}$	
Фактор еквівалентності	відношення мольної маси еквівалента речовини $M_{екв}$ до мольної маси $M$ речовини $f_{екв} = M_{екв} / M = \nu / \nu_{екв}$ Фактор еквівалентності взаємно пов'язує кількість речовини ( $\nu$ ) і відповідну кількість еквівалентів цієї речовини ( $\nu_{екв}$ )	$f_{екв}$ безрозмірна величина

Зв'язок між цими поняттями виражається такими співвідношеннями:

$$\nu_{екв} = m / M_{екв} = V_M / V_{екв} ; f = M_{екв} / M = \nu / \nu_{екв}$$

де  $M$  - мольна маса речовини, г/моль;  $m$  - маса речовини, г;  $V_M$  - мольний об'єм газу, що дорівнює **22,4 л/моль** при нормальних умовах.

### 3.5.1 Визначення мольної маси еквівалентів ( $M_{екв}$ ) простих і складних речовин

Розрахункова формула	Приклади
$M_{екв}(\text{елемента}) = M / z_{ел.}$ , де $M$ - мольна маса елемента; $z_{ел.}$ - ступінь окиснення елемента* $V_{екв}(\text{газоподібної реч.}) = V_m / \nu_{екв}$	$M_{екв}(Al) = \frac{27}{3} = 9 \text{ г/моль.}$ $V_{екв}(O_2) = \frac{22.4}{4} = 5.6 \text{ л/моль}$
$M_{екв}(\text{оксиду}) = M / (n_{ел.} \times z_{ел.})$ , де $M$ - мольна маса оксиду; $n_{ел.}$ - кількість атомів елемента; $z_{ел.}$ - ступінь окиснення елемента	$M_{екв}(Al_2O_3) = \frac{102}{2 \cdot 3} = 17 \text{ г/моль.}$
$M_{екв}(\text{кислоти}) = M / n_{H^+}$ , де $M$ - мольна маса кислоти; $n_{H^+}$ - кількість катіонів водню	$M_{екв}(H_2SO_4) = \frac{98}{2} = 49 \text{ г/моль.}$
$M_{екв}(\text{основи}) = M / n_{OH^-}$ , де $M$ - мольна маса основи; $n_{OH^-}$ - кількість аніонів гідроксо-груп	$M_{екв}(Ca(OH)_2) = \frac{74}{2} = 37 \text{ г/моль}$
$M_{екв}(\text{солі}) = M / (n_{Me} \times z_{Me})$ , де $M$ - мольна маса солі; $z_{ел.}$ - ступінь окиснення металу	$M_{екв}(Al_2(SO_4)_3) = \frac{342}{2 \cdot 3} = 57 \text{ г/моль}$

\* ступінь окиснення елемента за модулем.

**Мольна маса еквівалента складної речовини** дорівнює сумі мольних мас еквівалентів її складових частин:

$$M_{\text{екв}}(\text{XY}) = M_{\text{екв}}(\text{X}) + M_{\text{екв}}(\text{Y})$$

$$M_{\text{екв}}(\text{оксиду}) = M_{\text{екв}}(\text{елемента}) + M_{\text{екв}}(\text{O}) = M_{\text{екв}}(\text{елемента}) + 8$$

$$M_{\text{екв}}(\text{кислоти}) = M_{\text{екв}}(\text{H}^+) + M_{\text{екв}}(\text{кисл. залишку}) = 1 + M_{\text{екв}}(\text{кисл. залишку})$$

$$M_{\text{екв}}(\text{основи}) = M_{\text{екв}}(\text{Me}) + M_{\text{екв}}(\text{OH}^-) = M_{\text{екв}}(\text{Me}) + 17$$

$$M_{\text{екв}}(\text{солі}) = M_{\text{екв}}(\text{Me}) + M_{\text{екв}}(\text{кисл. залишку})$$

### 3.5.2 Визначення еквівалентів речовин

**Приклад 11.** На відновлення 7,09 г оксиду двовалентного металу витрачається 2,24 л гідрогену (н.у.). Які мольні маси еквівалентів оксиду та металу? Який це метал?

**Розв'язання.** Згідно до закону еквівалентів маси (об'єми) речовин, що реагують між собою, пропорційні мольним масам (об'ємам) їхніх еквівалентів:

$$\frac{m_1}{M_{\text{екв.}(1)}} = \frac{m_2}{M_{\text{екв.}(2)}}$$

або коли одна з реагуючих речовин – газ, то

$$\frac{m_1}{M_{\text{екв.}(1)}} = \frac{V_2}{V_{\text{екв.}(2)}}$$

$V_{\text{екв.}(2)}$  - еквівалентний об'єм гідрогену, тобто об'єм, який має еквівалентна маса газу.

Молярний об'єм будь-якого газу за н.у. дорівнює 22,4 л. Тому еквівалентний об'єм гідрогену [ $V_{E(H_2)}$ ], молекула якого складається з двох атомів гідрогену, дорівнює  $22,4 : 2 = 11,2$  л.

За умовою задачі:

$$\frac{m_{\text{MeO}}}{M_{\text{екв.}(MeO)}} = \frac{V_{H_2}}{V_{\text{екв.}(H_2)}};$$

$$\frac{7,09}{M_{\text{екв.}(MeO)}} = \frac{2,24}{11,2}; \quad M_{\text{екв.}(MeO)} = \frac{7,09 \cdot 11,2}{2,24} = 35,45 \text{ г/моль.}$$

За законом еквівалентів  $M_{\text{екв.}(MeO)} = M_{\text{екв.}(Me)} + M_{\text{екв.}(O)}$ , тому

$$M_{\text{екв.}(Me)} = M_{\text{екв.}(MeO)} - M_{\text{екв.}(O)} = 35,45 - 8 = 27,45 \text{ г/моль.}$$

Молярна маса еквіваленту металу визначається за співвідношенням

$M_{\text{екв.}(Me)} = \frac{A}{B}$ , де А – мольна маса металу, В – валентність елементу;

$$A = M_{\text{екв.}(Me)} \cdot B = 27,55 \text{ г/моль} \cdot 2 = 54,9 \text{ г/моль.}$$

Атомна маса в а.о.м. чисельно дорівнює мольній масі, яка визначається в г/моль, тобто атомна маса металу 54,9 а.е.м., а метал, який ми визначаємо – Mn.

*Відповідь:* Метал – Mn (манган).

**Приклад 12.** Визначте мольні маси еквівалентів  $\text{H}_2\text{SO}_4$  та  $\text{Al}(\text{OH})_3$  в реакціях:



**Розв'язання.** Мольна маса еквіваленту  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в реакції (1)  $M_{\text{екв. H}_2\text{SO}_4} = 98 \text{ г/моль}$ ;

в реакції (2)  $M_{\text{екв. H}_2\text{SO}_4} = \frac{98 \text{ г/моль}}{2} = 49 \text{ г/моль}$ ;

в реакції (3)  $M_{\text{екв. Al}(\text{OH})_3} = 78 \text{ г/моль}$ , а

в реакції (4)  $M_{\text{екв. Al}(\text{OH})_3} = \frac{M_{\text{Al}(\text{OH})_3}}{3} = \frac{78}{3} = 26 \text{ г/моль}$ .

**Приклад 13.** Яка мольна маса еквіваленту металу, якщо з 3,85 г нітрату цього металу утворюється 1,6 г його гідроксиду?

**Розв'язання.** Враховуємо, що мольна маса еквіваленту хімічної сполуки дорівнює сумі мольних мас еквівалентів частинок, які його складають:

а) мольна маса еквіваленту гідроксиду дорівнює сумі еквівалентів металу та гідроксид – іону;

б) мольна маса еквіваленту солі дорівнює сумі еквівалентів металу та кислотного залишку.

За законом еквівалентів:

$$\frac{m_{\text{Me}(\text{NO}_3)_x}}{m_{\text{Me}(\text{OH})_x}} = \frac{M_{\text{екв. Me}(\text{NO}_3)_x}}{M_{\text{екв. Me}(\text{OH})_x}};$$

$$\frac{3,85}{1,6} = \frac{M_{\text{екв. Me}} + M_{\text{екв. (NO}_3^-)}}{M_{\text{екв. Me}} + M_{\text{екв. (OH}^-)}}; \quad \frac{3,85}{1,6} = \frac{M_{\text{екв. Me}} + 62}{M_{\text{екв. Me}} + 17}.$$

**Відповідь:**  $M_{\text{екв. Me}} = 15 \text{ г/моль}$ .

### 3.6 Газові закони

Закон	Фізична суть	Дата
<b>Закон Авогадро</b>	В рівних об'ємах будь-яких газів за однакових умов міститься однакова кількість молекул. <u>Наслідок: 1 моль</u> будь-якого газу при <b>нормальних умовах (н.у.)</b> займає об'єм 22,4 л. $V_M = 22,4 \text{ л/моль}$	1811р
<b>Об'єднаний закон газового стану Бойля-Маріотта і Гей-Люссака</b>	$(p_0 V_0)/T_0 = (p_1 V_1)/T_1$ встановлює функціональну залежність трьох вимірюваних змінних: $p$ , $V$ і $T$ (параметрів стану) при постійній кількості газу. $p_0$ , $V_0$ і $T_0$ — параметри, що відповідають н. у.: $p_0 = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па}$ , $T_0 = 273 \text{ К}$	1834р
<b>Загальне рівняння стану ідеального газу Рівняння Клапейрона—Менделєєва</b>	$pV = \nu RT = \frac{m}{M} RT$ встановлює функціональну залежність параметрів стану та кількості речовини газу $\nu$ , моль; де $p$ — тиск газу, Па; $V$ — об'єм газу, м <sup>3</sup> ; $\nu$ — кількість речовини газу, моль; $m$ — маса газу, кг; $M$ — мольна маса газу, г/моль; $T$ — температура, К; $R=8,31$ — універсальна газова стала., Дж/(К • моль).	1874р
<b>Закон об'ємних відношень Гей-Люссака</b>	при сталих температурі і тиску об'єми газів, які вступають у реакцію, відносяться між собою і до об'ємів газоподібних продуктів реакції як невеликі прості числа. Наприклад, $\begin{array}{ccccc} \text{H}_2 & + & \text{Cl}_2 & = & 2\text{HCl} \\ 1 \text{ моль} & & 1 \text{ моль} & & 2 \text{ моль} \\ 1V & & 1V & & 2V \end{array}$	1834р

#### 3.6.1 Відносна густини газу, об'ємна частка речовини.

Поняття	Визначення	Позначення, одиниця вимірювання
<b>Відносна густина одного газу за іншим</b>	- це відношення маси даного об'єму газу ( $m_1$ ) до маси такого ж об'єму іншого газу ( $m_2$ ): $D = \frac{m_1}{m_2} = \frac{M_1}{M_2}$	$D$ , безрозмірна величина
<b>Об'ємна час-</b>	- це відношення об'єму ( $V_{\text{комп.}}$ ), що займає пе-	$\varphi, \%$

<b>тка речовини в суміші</b>	вний компонент суміші, до об'єму всієї суміші ( $V_{\text{суміші}}$ ): $\varphi = \frac{V_{\text{комп.}}}{V_{\text{суміші}}} \cdot 100\%$	
------------------------------	--	--

**Приклад 14.** Яка відносна густина оксиду сульфуру (IV) за повітрям?

**Розв'язання.**  $D_{\text{пов.}} = \frac{M_{\text{SO}_2}}{M_{\text{повітря}}} = \frac{64\text{г/моль}}{29\text{г/моль}} = 2,21.$

**Відповідь:**  $D_{\text{пов.}} = 2,21$ , тобто оксид сульфуру (IV) в 2,21 рази важчий за повітря.

**Приклад 15.** Газ в 22 рази важчий за гідроген. Яка відносна молекулярна маса газу?

**Розв'язання.**  $D_{\text{H}_2} = \frac{M_{\text{rX}}}{M_{\text{rH}_2}}; M_{\text{rX}} = D_{\text{H}_2} \cdot M_{\text{rH}_2}; M_{\text{rX}} = 22 \cdot 2 = 44.$

**Відповідь:**  $M_{\text{rX}} = 44$  а.о.м.

### 3.6.2 Знаходження мас та об'ємів газів

**Приклад 17.** Який об'єм (за нормальних умов) займають 3 моль карбон (IV) оксиду?

**Розв'язання.**  $V_M = \frac{V}{\nu}, V = \nu V_M; V_{\text{CO}_2} = 22,4 \text{ л/моль} \cdot 3 \text{ моль} = 67,2 \text{ л.}$

**Відповідь:**  $V_{\text{CO}_2} = 67,2 \text{ л.}$

**Приклад 18.** Яку масу мають 28 л кисню (за нормальних умов)?

**Розв'язання.**  $M = \frac{m}{\nu}, m = M \cdot \nu; V_M = \frac{V}{\nu}, \nu = \frac{V}{V_M},$

звідки :  $m = M \frac{V}{V_M}.$

$m_{\text{O}_2} = \frac{32\text{г/моль} \cdot 28\text{л}}{22,4\text{л/моль}} = 40\text{г.}$

**Відповідь:**  $m_{\text{O}_2} = 40\text{г.}$

**Приклад 19.** При  $25^{\circ}\text{C}$  і тиску  $99,3$  кПа деяка кількість газу займає об'єм  $152$  мл. Який об'єм займе така ж сама кількість газу за нормальних умов?

**Розв'язання.** Для розрахунку використаємо об'єднаний газовий закон Бойля-Маріотта і Гей-Люссака:

$$\frac{P \cdot V}{T} = \frac{P_0 \cdot V_0}{T_0}, \text{ звідки } V_0 = \frac{P \cdot V \cdot T_0}{P_0 \cdot T}.$$

Виконаємо розрахунки:  $V_0 = \frac{99,3 \cdot 152 \cdot 273}{101,325 \cdot 298} = 136,5$  мл.

**Відповідь:** Об'єм газу за нормальних умов –  $136,5$  мл.

**Приклад 20.** Яка молекулярна маса газу, якщо  $870$  см<sup>3</sup> його при температурі  $290$  К та тиску  $100$  кПа мають масу  $2,31$  г?

**Розв'язання.** В цьому випадку користуємось рівнянням Менделєєва – Клапейрона:

$$P \cdot V = \frac{m}{M} R \cdot T,$$

де  $P$  – тиск газу, Па;  $V$  – об'єм газу, м<sup>3</sup>;

$m$  – маса речовини, г;  $M$  – його мольна маса, г/моль;

$T$  – температура, К;  $R$  – універсальна газова стала,  $R = 8,314$  Дж/(моль·К).

З рівняння:  $M = \frac{m \cdot R \cdot T}{P \cdot V}.$

Виконаємо розрахунки:  $M = \frac{2,31 \cdot 10^{-3} \cdot 8,31 \cdot 290}{100 \cdot 10^3 \cdot 0,87 \cdot 10^{-3}} = 64$  г/моль.

**Відповідь:** Молекулярна маса газу дорівнює  $64$  а.о.м.

**Приклад 21.** Який об'єм займає при температурі  $20^{\circ}\text{C}$  і тиску  $250$  кПа амоніак масою  $51$  г?

**Розв'язання.** Визначаємо кількість речовини амоніаку:

$$V_{\text{NH}_3} = \frac{m_{\text{NH}_3}}{M_{\text{NH}_3}} = \frac{51}{17} = 3 \text{ моль}.$$

Об'єм амоніаку за нормальними умовами становить:

$$V_{\text{NH}_3} = V_M \cdot \nu_{\text{NH}_3} = 22,4 \cdot 3 = 67,2 \text{ л}.$$

Щоб привести об'єм газу до даних умов, скористуємось формулою об'єднаного газового закону:

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P_1 V_1}{T_1}, \text{ де}$$

$P_0 = 101,325$  кПа,  $T_0 = 273$  К і  $V_0$  - тиск, температура та об'єм за нормальними умовами;  $P_1$   $T_1$   $V_1$  - тиск, температура та об'єм за даними умовами. Амоніак матиме об'єм при температурі  $T_1 = (273 + 20) = 293$  К:

$$V_{NH_3} = \frac{P_0 \cdot T_1 \cdot V_0}{P_1 \cdot T_0} = \frac{101,325 \cdot 293 \cdot 67,2}{250 \cdot 273} = 29,2 \text{ л.}$$

### 3.7 Контрольні завдання

61. Визначте склад сполук (%): а)  $H_3PO_4$ ; б)  $Ca(HCO_3)_2$ .  
 [Відповідь: а) 3,06%Н; 31,63%Р; 65,31%О; б) 1,23%Н; 24,69%Са; 14,82%С; 59,26%О.]
62. Прожарюванням на повітрі 5 кг пірита, який містить  $FeS_2$ , було отримано 5,12 кг оксиду сульфур (IV). Визначте масову частку  $FeS_2$  у руді. (Відповідь: 96%).
63. Підрахуйте масу  $CaO$  (кг), яка буде отримана при прожарюванні 1 т вапняку, який містить 20% домішок? (Відповідь: 448 кг).
64. Аналіз сполуки, що містить сульфур, показав, що із зразка масою 14,4 г отримано 23,3 г сульфату барію. Визначте вміст сульфур у цій сполуці (%). (Відповідь: 22,22%).
65. Змішано 152 г сульфатної кислоти та 159 г карбонату натрію. Визначте масу залишку речовини після реакції. (Відповідь: 5 г  $H_2SO_4$  в залишку).
66. Який об'єм оксиду сульфур (IV) (н.у.) необхідно взяти для реакції окиснення киснем для отримання 20 г оксиду сульфур (VI), якщо вихід продукту дорівнює 80%? (Відповідь: 7 л).
67. При окисненні 6,35 г деякого металу отримано 7,95 г оксиду, а при відновленні 1 г цього оксиду утворилось 0,799 г металу. Чи погоджуються ці дані з законом сталості складу речовини?

68. 100 г карбонату кальцію розкладається на 56 г оксиду кальцію та 22,4 л (н. у.) оксиду карбону (IV). Чи суперечить це закону збереження маси?
69. Для одержання сульфїду алюмінію суміш 27 г алюмінію та 60 г сульфуру було нагріто на повітрі. Після закінчення реакції одержано 75 г продукту. Чи суперечить це закону збереження маси?
70. Суміш  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  і  $\text{K}_2\text{CO}_3$  масою 4 г оброблено сульфатною кислотою та одержано 5,12 г суміші сульфатів металів. Визначте масові частки речовин у вихідній суміші. (Відповідь: 24%  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; 76%  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ).
71. При спалюванні 3 г магнію було одержано 5 г  $\text{MgO}$ . Знайдіть кількісний склад оксиду магнію. (Відповідь:  $m_{\text{Mg}} : m_{\text{O}} = 3 : 2$ ).
72. Речовина складається з калію, сульфуру та кисену. Сульфур та кисен, які містяться у 0,871 г цієї речовини були отримані у вигляді сульфату барію масою 1,167 г. Знайдіть кількісний склад речовини. (Відповідь:  $m_{\text{K}} : m_{\text{S}} : m_{\text{O}} = 39 : 16 : 32$ ).
73. Речовина складається з сульфуру та карбону. З 0,3045 г цієї речовини отримано 1,867 г сульфату барію. Знайдіть кількісний склад речовини. (Відповідь: 84% сульфуру; 16% карбону).
74. Речовина складається з алюмінію та хлору. З деякої кількості цієї речовини було одержано 1,7196 г хлориду срібла та 0,2038 г оксиду алюмінію. Знайдіть кількісний склад речовини. (Відповідь:  $m_{\text{Al}} : m_{\text{Cl}} = 27 : 106$ ).
75. До розчину 0,404 г хлориду міді (II) додали надлишок розчину нітрату срібла та отримали 0,86 г хлориду срібла. Знайдіть кількісний склад  $\text{CuCl}_2$ . (Відповідь: 48 : 53).
76. Речовина складається з купрум, карбону, кисену та гідрогену. При розкладанні деякої її кількості отримали 1,432 г оксиду міді (II), 0,396 г оксиду карбону (IV) та 0,159 г води. Знайдіть кількісний склад речовини. (Відповідь: Cu - 57,6%; C - 5,5%; H - 0,9%; O - 36%).



77. З суміші  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{MgCO}_3$ , масою 3 г одержали 760 мл оксиду карбону (IV) при  $20^\circ\text{C}$  і 99725,131 Па. Знайдіть співвідношення мас карбонатів. (Відповідь:  $m_{\text{CaCO}_3} : m_{\text{MgCO}_3} = 4:1$ ).
78. При спалюванні речовини утворилось 0,924 г  $\text{CO}_2$  та 0,504 г  $\text{H}_2\text{O}$ . Знайдіть кількісний склад вуглеводню, (Відповідь:  $m_{\text{H}} : m_{\text{C}} = 2:9$ ).
79. Сполука містить 32,8 % Na, 12,9% Al і 54,3% F. Визначте формулу сполуки. (Відповідь:  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ).
80. Речовина містить 54,5% карбону, 36,34% кисню, решта - гідроген. Визначте молекулярну формулу цієї сполуки, якщо густина за повітрям дорівнює 3,04. (Відповідь:  $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ ).
81. Визначте найпростішу формулу речовини, яка містить карбон, гідроген та сульфур, якщо при спалюванні її утворилось 5,28 г оксиду карбону (IV), 3,24 г води та 3,84 г оксиду сульфуру (IV). (Відповідь:  $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$ ).
82. Визначте формулу кристалогідрату нітрату купруму(II), якщо з 0,966г його після втрати кристалізаційної води утворилось 0,75 г нітрату купруму (II). (Відповідь:  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ).
83. Речовина містить карбон, гідроген та кисень у масовому співвідношенні  $m_{\text{C}} : m_{\text{H}} : m_{\text{O}} = 18:3:8$ . Знайдіть формулу речовини. (Відповідь:  $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ ).
84. Сполука містить 75,76% арсену та 24,24% кисню. Густина сполуки за повітрям 13,65. Визначте молекулярну формулу речовини. Яка буде її молекулярна формула, якщо при підвищенні температури густина зменшиться у 2 рази? (Відповідь:  $\text{As}_4\text{O}_6$ ;  $\text{As}_2\text{O}_3$ ).
85. Сполука містить 62,8% сульфуру та 37,2% флуору. Маса 118 мл її у формі газу при  $7^\circ\text{C}$  та 98658,552 Па дорівнює 0,51 г. Яка молекулярна формула сполуки? (Відповідь:  $\text{S}_2\text{F}_2$ ).
86. При спалюванні 20г речовини утворилось 38,26 г  $\text{CO}_2$  та 23,48 г  $\text{H}_2\text{O}$ . Густина цієї речовини за гідрогеном дорівнює 23. Визначте емпіричну формулу сполуки. (Відповідь:  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ).

87. 10 г оксиду свинцю містять 8,66 г свинцю. Молярна маса оксиду свинцю 239 г/моль. Визначте емпіричну формулу сполуки. (Відповідь:  $\text{PbO}_2$ ).
88. Мінерал містить 78% свинцю. Яка кількість цього мінералу містить 200 г свинцю? (Відповідь: 303 г).
89. При пропусканні 1,12 л  $\text{HCl}$  (н. у.) через розчин, який містить 6,62 г нітрату свинцю (II) утворився осад масою 5,22 г. Підрахуйте вихід солі, що випала в осад. (Відповідь: 93,9%).
90. Практичний вихід реакції синтезу амоніаку дорівнює 30%. Яка маса амоніаку утвориться з 90 л водню, взятого для реакції? (Відп.: 13,66 г).
91. Обчисліть масу  $1500 \text{ м}^3$  гелію при нормальних умовах. (Відп.: 267,85 кг).
92. Яка маса хлору утворюється з 20 л хлороводню? (Відповідь: 31,7 г).
93. Сухе повітря містить: 21% кисню, 78% азоту та 1% інертних газів (за об'ємом). Обчисліть масу  $1 \text{ м}^3$  повітря при н. у. (Відповідь: 1,3 кг).
94. Визначте масу 450 мл оксиду сульфуру (IV) при  $98658,552 \text{ Па}$  і  $80^\circ\text{C}$ . (Відповідь: 0,965 г).
95. Визначте масу 50 л газової суміші, яка містить за об'ємом 60% оксиду карбону (II) і 40% водню при  $98658,552 \text{ Па}$  і  $20^\circ\text{C}$ . (35,6 г).
96. Визначте масу 2 л газової суміші, яка містить за об'ємом 30%  $\text{H}_2$ , 30%  $\text{CO}_2$ , 20%  $\text{N}_2$  і 20%  $\text{CO}$  при  $0^\circ\text{C}$  і  $50662,5 \text{ Па}$ . (Відповідь: 1,12 г).
97. Обчисліть температуру пари бензолу масою 19,5 г і об'ємом 6,1 л при нормальному тиску. (Відповідь: 297,5 К).
98. Яка кількість речовини міститься в об'ємах газів, виміряних при н. у.:
- а) 56 л амоніаку;
  - б) 2,8 л оксиду карбону (IV);
  - в) 1,12 л водню;
  - г) 700 мл азоту?
- [Відповідь: а) 2,5 моль; б) 0,125 моль; в) 0,05 моль; г) 0,03125 моль].
99. Підрахуйте молекулярну масу газу, якщо 30,3 г його займають об'єм 15 л ( $t^\circ = 18^\circ\text{C}$ ,  $P = 122 \text{ кПа}$ ). (Відповідь: 40 г/моль).

100. Скільки молекул вуглекислого газу утвориться при спалюванні  $1 \cdot 10^{-6}$  г карбону? (Відповідь:  $5 \cdot 10^{16}$ ).
101. Маса 1 л газу (н. у.) становить 1,25 г. Підрахуйте: а) молекулярну масу газу; б) масу молекули газу, [Відповідь: а) 28; б)  $4,6 \cdot 10^{-23}$  ].
102. Скільки молекул знаходиться в 0,01 моль оксигену, в  $\frac{1}{50}$  моль атомів оксигену і в  $\frac{1}{25}$  еквівалентних мас оксигену? (Відповідь:  $6,02 \cdot 10^{21}$ ).
103. Яку частку моль складають  $10^{23}$  молекул? (Відповідь: 0,166 моль).
104. Газова суміш містить 2,24 л оксигену та 3,36 л оксиду карбону(IV) (н.у.). Визначте масу суміші. (Відповідь: 9,8 г).
105. Який об'єм буде займати 51 г амоніаку при  $20^{\circ}\text{C}$  і тиску 250 кПа. (Відповідь: 29,2 л).
106. Який об'єм займатимуть при н. у. 14,6 г хлорид гідрогену? (Відп.: 8,96 л).
107. Підрахуйте густину бромоводню за повітрям та за гідрогеном. (2,8; 40,5).
108. Масові частки газів у суміші дорівнюють 35% гідрогену та 65% нітрогену. Визначте об'ємні частки газів у суміші. (Відповідь: 88,3%; 11,7%).
109. Визначте густину за воднем газової суміші, яка містить 56 л аргону та 28 л нітрогену (н. у.).
110. У посудині місткістю 10 л при  $27^{\circ}\text{C}$  знаходяться  $3,01 \cdot 10^{24}$  молекул газу. Визначте тиск у посудині. (Відповідь: 1246500 Па).
111. Як зміниться об'єм певної кількості газу при збільшенні тиску від  $1,013 \cdot 10^6$  Па до  $2,026 \cdot 10^5$  Па (температура при цьому залишається сталою)?  
Відповідь: Об'єм газу зменшиться у 2 рази.
112. Як зміниться об'єм певної кількості газу при нагріванні від  $20$  до  $40^{\circ}\text{C}$  за умов сталого тиску? Відповідь: Об'єм газу збільшиться в 1,07 разів.
113. Зразок газу при  $0^{\circ}\text{C}$  займає об'єм 22,4 л. Який об'єм він буде займати:  
а) при  $25^{\circ}\text{C}$ ;  
б)  $50^{\circ}\text{C}$ ;  
в)  $100^{\circ}\text{C}$  (тиск газу залишається сталим)?

*Відповідь: а) 24,45 л; б) 26,50 л; в) 30,06 л.*

114. Зразок газу при  $0^{\circ}\text{C}$  і тиску  $1,013 \cdot 10^5$  Па займає об'єм 22,4 л. Який об'єм він буде займати:

а) при  $25^{\circ}\text{C}$  і  $1,52 \cdot 10^5$  Па;

б)  $50^{\circ}\text{C}$  і  $2,53 \cdot 10^5$  Па;

в)  $100^{\circ}\text{C}$  і  $1,013 \cdot 10^5$  Па?

*Відповідь: а) 16,3 л; б) 10,6 л; в) 3,06 л.*

115. Водяна пара при  $100^{\circ}\text{C}$  і тиску  $1,013 \cdot 10^5$  Па займає об'єм  $200 \text{ см}^3$ .

Приведіть її об'єм до нормальних умов.

*Відповідь:  $V_0 = 146 \text{ см}^3$*

116. Об'єм гумової камери автомобільної шини дорівнює  $0,025 \text{ м}^3$ , тиск у ній  $5,0665 \cdot 10^5$  Па. Визначте масу повітря, що міститься у камері при  $20^{\circ}\text{C}$ . *Відповідь:  $m=150,8 \text{ г}$ . Під час перевірки відповідності розмірності майже на увазі, що  $[\text{Па}] = \left[ \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2} \right]$*

117. Визначте молярну масу газу, якщо його зразок масою  $0,750 \text{ г}$  при  $20^{\circ}\text{C}$  і  $0,989 \cdot 10^5$  Па займає об'єм  $4,62 \text{ л}$ . Назвіть газ. *Відповідь:  $M = 4 \text{ г/моль}$  (Гелій)*

118. Розрахуйте густину газоподібного  $\text{XeF}_6$ :

а) за нормальних умов;

б) при  $25^{\circ}\text{C}$  і  $0,962 \cdot 10^5$  Па.

*Відповідь: а)  $\rho=10,94 \text{ г/л}$ ; б)  $\rho=9,5 \text{ г/л}$ .*

119. Який тиск утворюють  $5,0 \cdot 10^{12}$  молекул ідеального газу в об'ємі  $1,000 \text{ мл}$  при  $0^{\circ}\text{C}$ ? *Відповідь:  $P = 0,188 \text{ Па}$*

120. Розрахуйте, який об'єм ( у літрах) займають:

а)  $1 \text{ кг}$  водяної пари при  $100^{\circ}\text{C}$  і  $1,013 \cdot 10^5$  Па;

б)  $1 \text{ кг}$  метану  $25^{\circ}\text{C}$  і  $1,013 \cdot 10^5$  Па.

*Відповідь: а)  $V = 1,70 \text{ м}^3 = 1700 \text{ л}$ , б)  $V = 1,53 \text{ м}^3 = 1530 \text{ л}$ .*

121. Об'єм гумової камери автомобільної шини дорівнює  $0,040 \text{ м}^3$ . Який тиск у ній утворюється, якщо при  $17^\circ\text{C}$  маса повітря, що у ній міститься, дорівнює  $160 \text{ г}$ ? *Відповідь:*  $P = 333 \text{ кПа}$ .
122. Який об'єм займає 1 моль водяної пари при температурі кипіння ( $100^\circ\text{C}$ ) і тиску  $101,3 \text{ кПа}$ ? *Відповідь:*  $V = 0,0306 \text{ м}^3$
123. Визначте склад газової суміші, що складається з нітрогену і гідрогену, якщо при температурі  $127^\circ\text{C}$  і тиску  $10 \text{ атм}$  її густина складає  $1,28 \text{ г/л}$ . *Відповідь:*  $M=4,2 \text{ г/моль}$ ;  $\omega(\text{H}_2) = 81,7\% \text{ об.}$
124. До якої температури треба нагріти 1 моль будь-якого газу, щоб при об'ємі  $24 \text{ л}$  він мав тиск  $98658,552 \text{ Па}$ ? (*Відповідь:*  $11,9^\circ\text{C}$ ).
125. Яка суміш гідрогену з повітрям (оксигену  $21\%$ ) є найбільш небезпечною? Визначте концентрацію гідрогену (%) в суміші. *Відповідь:*  $29,6\%$ ).
124. Визначте густину газу за гідрогеном, коли його густина за повітрям дорівнює  $1,93$ . (*Відповідь:*  $28$ ).
125. Густина газу за гідрогеном дорівнює  $29$ . Визначте густину газу за повітрям. (*Відповідь:*  $2$ ).
126. Маса  $327 \text{ мл}$  газу при  $13^\circ\text{C}$  та  $103858,12 \text{ Па}$  дорівнює  $0,828 \text{ г}$ . Визначте густину газу за повітрям. (*Відповідь:*  $2$ ).
127. Визначте густину за гідрогеном газової суміші, яка містить  $80\%$  нітрогену (за об'ємом),  $10\%$  оксигену та  $10\%$  оксиду сульфуру(IV). (*Відповідь:*  $16$ ).
128. Визначте, в якому об'ємі повітря (н.у.) міститься 5 моль нітрогену? (*Відповідь:*  $143,59 \text{ л}$ ).
129. Який об'єм займатимуть (н.у.)  $10^{24}$  молекул оксигену, нітрогену чи гідрогену? (*Відповідь:*  $37,21 \text{ л}$ ).
130. В  $10 \text{ л}$  повітря міститься  $6 \cdot 10^{-5}$  мл ксенону. В якому об'ємі повітря (н. у.) міститься  $10^{12}$  молекул ксенону? (*Відповідь:*  $6,21 \text{ мл}$ ).
131. Маса  $31 \text{ г}$  суміші нітрогену та оксигену становить  $22,4 \text{ л}$ . Скільки літрів кожного газу було у суміші? (*Відповідь:*  $5,6 \text{ л N}_2$ ;  $16,8 \text{ л O}_2$ ).
132. Підрахуйте мольну масу еквівалентів кислот: а)  $\text{HNO}_3$ ; б)  $\text{HCN}$  в)  $\text{H}_2\text{SiF}_6$ ;

- г)  $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ; д)  $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ ; е)  $\text{H}_3(\text{Fe}(\text{CN})_6)$ . *Відповідь:* [а) 63; б) 27; в) 72; г) 47,3; д) 44,5; е) 71,5; г/моль].
133. Підрахуйте мольну масу еквівалентів основ: а)  $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ; б)  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ; в)  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ; г)  $\text{KOH} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . *Відповідь:* [а) 85,5; б) 157,5; в) 35,67; г) 92; г/моль].
134. Підрахуйте мольну масу еквівалентів солей: а)  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; б)  $\text{BaSO}_4$ ; в)  $\text{CrPO}_4$ ; г)  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; д)  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ ; е)  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ; ж)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ; з)  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ . *Відповідь:* [а) 80,5; б) 116,7; в) 49,01; г) 139,0; д) 55,67; е) 66,07; ж) 111; з) 51,7; г/моль].
135. Яку частину мольних мас еквівалентів і яку частину кількості речовини містять: а) 24,5 г  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; б) 24,5 г  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ; в) 75 г  $\text{CaCO}_3$ ; г) 8,6 г  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; д) 79 г  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . *Відповідь:* [а) 0,5; 0,25. б) 0,75; 0,25. в) 1,5; 0,75. г) 0,1; 0,05. д) 2/3; 1/6.].
136. Оксид п'ятивалентного елемента містить 43,67% елемента. Визначте атомну масу елемента. (*Відповідь:* 31 а.о.м.).
137. Деякий метал утворює дві хлористі сполуки, які містять відповідно 73,86 і 84,96% металу. Визначте мольну масу еквіваленту металу у кожній сполуці. (*Відповідь:* 100,3 г/моль; 200,6 г/моль).
138. На нейтралізацію 1 г основи потрібно 2,14 г хлоридної кислоти. Визначте мольну масу еквіваленту основи. (*Відповідь:* 17 г/моль).
139. При відновленні 1,34 г оксиду металу до чистого металу утворилось 0,324 г води. Визначте мольну масу еквіваленту металу. (*Відповідь:* 29,2 г/моль).
140. В якій масі  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  міститься стільки ж мольних мас еквівалентів, скільки у 156 г  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ? (*Відповідь:* 946,5 г).
141. Яка кількість еквівалентів і яка кількість речовини міститься у 490 г сульфатної кислоти? (*Відповідь:* 10 моль; 5 моль).
142. При взаємодії 0,493 г хлористої сполуки з нітратом срібла утворилось 0,861 г хлориду срібла. Визначте мольну масу еквіваленту металу. (*Відповідь:* 46,67 г/моль).

143. При взаємодії 5 г карбонату металу з нітратною кислотою утворилося 8,2 г нітрату цього металу. Визначте мольну масу еквіваленту металу. (Відповідь: 20 г/моль).
144. 0,934 г металу при взаємодії з кислотою утворюють 348 мл гідрогену при 20°C і 99991,776 Па. Визначте мольну масу еквіваленту металу. (Відповідь: 32,7 г/моль).
145. Одна і та ж кількість металу з'єднується з 0,2 г кисню та 0,4 г другого елементу. Визначте мольну масу еквіваленту цього елементу. (16 г/моль).
146. При відновленні 15,9 г оксиду металу до чистого металу необхідно 478 мл гідрогену при 7°C і 973225,328 Па. Визначте мольну масу еквіваленту металу. (Відповідь: 31,75 г/моль).
147. Підрахуйте мольну масу еквіваленту кислоти, якщо на нейтралізацію 9 г її витрачено 10 г NaOH? (Відповідь: 36 г/моль).
148. Визначте мольні маси еквівалентів металів у сполуках:  $Mn_2O_7$ ;  $K_2MnO_4$ ;  $Cr_2(SO_4)_3$ ;  $AlCl_3$ . (Відповідь: 7,86; 9,17; 17,33; 9).
149. Визначте мольні маси еквівалентів хімічних сполук:  $PbO_2$ ;  $Mn_2O_7$ ;  $Ni(OH)_2$ ;  $Fe(OH)_3$ ;  $HNO_2$ ;  $H_3PO_4$ ;  $CaCl_2$ ;  $Al_2(SO_4)_3$ . (Відповідь: 59,75; 15,86; 46,5; 35,67; 32,67; 47; 32,67; 55,5; 57).
150. Визначте мольну масу еквіваленту металу, якщо його хлорид містить 65,57% хлору. Мольна маса еквіваленту хлору дорівнює 35,5 г/моль. (Відповідь: 18,64 г/моль).
151. При взаємодії 5,2 г металу з 3,5 г нітрогену утворюється нітрид. Який це метал, якщо його валентність 1, а валентність нітрогену 3? (Відповідь: Li;  $M_{(Li)} = 6,9$  г/моль).
152. При взаємодії 5 г алюмінію з киснем утворюється 9,44 г оксиду алюмінію. Визначте мольну масу еквіваленту алюмінію та його валентність. Визначте хімічну формулу оксиду алюмінію. (Відповідь: 9 г/моль; 3;  $Al_2O_3$ ).

153. 1 г деякого металу з'єднується з 1,78 г сульфуру або з 8,81 г бромю. Визначте мольну масу еквіваленту бромю, якщо мольна маса еквіваленту сульфуру 16 г/моль. (Відповідь: 79,91 г/моль).
154. 5,58 г феруму реагує з 7,3 г хлоридної кислоти. Визначте валентність феруму. (Відповідь: 2).
155. З 1,35 г оксиду металу утворюється 3,15 г його нітрату. Визначте мольну масу еквіваленту цього металу. (Відповідь: 32,5 г/моль).
156. З 1,5 г гідроксиду металу утворюється 2,85 г його сульфату. Визначте мольну масу еквіваленту металу. (Відповідь: 17,4 г/моль).
157. Оксид 3-валентного елемента містить 31,58% кисню. Визначте мольну масу еквіваленту та мольну масу цього елемента. (17,33 г/моль; 52 г/моль).
158. Визначте мольну масу еквіваленту металу, якщо при відновленні 1,017 г його оксиду потрібно 0,28 л водню (н. у.)- Визначте мольний об'єм еквіваленту водню (н. у.). (Відповідь: 32,68 г/моль; 11,2 л/моль).
159. З 3,31 г нітриту металу утворюється 2,78 г його хлориду. Визначте мольну масу еквіваленту металу. (Відповідь: 103,5 г/моль).
160. У 2,48 г оксиду одновалентного металу міститься 1,84 г металу. Визначте мольні маси еквівалентів металу і оксиду. (Відповідь: 23 г/моль; 31 г/моль).
161. Для спалювання 1,5 г 2-х валентного металу потрібно 0,69 л кисню (н.у.). Визначте мольну масу еквіваленту та мольну масу цього металу. Визначте мольний об'єм еквіваленту кисню. (Відповідь: 12,17 г/моль; 24,32 г/моль; 5,6 л).



# Тема 4 ОСНОВНІ КЛАСИ НЕОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

## 4.1 Основні поняття

№	Поняття	Визначення																								
1.	<b>Атом</b>	- це найменша хімічно неподільна електронейтральна частинка хімічного елемента, яка зберігає його хімічні властивості: $N^0, Fe^0, S^0$																								
2.	<b>Хімічний елемент</b>	- це вид атомів, що мають однаковий заряд ядра: ${}_7N, {}_{26}Fe, {}_{16}S$ - Періодична система елементів Д.І.Менделєєва є графічним зображенням відомостей про хімічні елементи. Кожний елемент має свій порядковий номер, символ, назву, атомну масу, належить до певного періоду та групи. Порядковий номер записується знизу зліва від символу елемента: ${}_7N, {}_{26}Fe, {}_{16}S$ <b>Наприклад</b> , Фосфор ${}_{15}P$ має <u>порядковий номер 15</u> , <u>атомну масу 30,974</u> ; знаходиться в 3-му <u>періоді</u> , в <u>V групі</u> . <div style="text-align: center;"> <table style="border-collapse: collapse; margin: 10px auto;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">-</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <table style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">V група</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">15</td> <td style="padding: 0 5px;">→</td> <td>порядковий номер</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">P</td> <td style="padding: 0 5px;">→</td> <td>символ</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">30,974</td> <td style="padding: 0 5px;">→</td> <td>атомна маса</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">Фосфор</td> <td style="padding: 0 5px;">→</td> <td>назва</td> </tr> </table> </td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td style="padding: 2px 10px;">період</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> </div>	-	<table style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">V група</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">15</td> <td style="padding: 0 5px;">→</td> <td>порядковий номер</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">P</td> <td style="padding: 0 5px;">→</td> <td>символ</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">30,974</td> <td style="padding: 0 5px;">→</td> <td>атомна маса</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">Фосфор</td> <td style="padding: 0 5px;">→</td> <td>назва</td> </tr> </table>	V група	15	→	порядковий номер	-	P	→	символ	-	30,974	→	атомна маса	-	Фосфор	→	назва			-	період		
-	<table style="border-collapse: collapse; width: 100px;"> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">V група</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">15</td> <td style="padding: 0 5px;">→</td> <td>порядковий номер</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">P</td> <td style="padding: 0 5px;">→</td> <td>символ</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">30,974</td> <td style="padding: 0 5px;">→</td> <td>атомна маса</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px 10px;">-</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 2px 10px;">Фосфор</td> <td style="padding: 0 5px;">→</td> <td>назва</td> </tr> </table>	V група	15	→	порядковий номер	-	P	→	символ	-	30,974	→	атомна маса	-	Фосфор	→	назва									
V група	15	→	порядковий номер																							
-	P	→	символ																							
-	30,974	→	атомна маса																							
-	Фосфор	→	назва																							
-	період																									
3.	<b>Молекула</b>	- це найменша частинка речовини, має постійний склад, електрично нейтральна, зберігає хімічні властивості цієї речовини. Молекули утворюються при сполученні атомів одного або декількох елементів хімічними зв'язками.																								
4.	<b>Хімічна формула</b>	- це зображення складу речовини (сполуки) за допомогою <u>символів елементів</u> і <u>числових індексів</u> , що вказують на кількість атомів кожного хімічного елемента в молекулі. <b>Наприклад</b> , молекула вуглекислого газу складається з одного атома карбону і 2-х атомів кисню: $CO_2$ - індекс. Молекули <u>простих</u> речовин складаються з двох і більше атомів одного виду: $O_2, O_3, N_2, F_2, Cl_2$ ; молекули <u>складних</u> речовин – з атомів різних елементів у певній кількості $H_2O, HNO_3, BaSO_4$ .																								
5.	<b>Іони</b>	- це <u>заряджені частинки</u> (катиони і аніони), що утворюються в результаті втрати або приєднання атомами																								

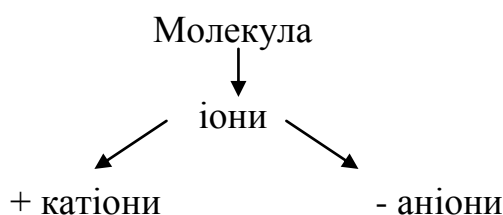
		електронів: $\text{Ca}^0 - 2e^- = \text{Ca}^{2+};$ $\text{S}^0 + 2e^- = \text{S}^{2-}$ <b>(+) катіон</b> <b>(-) аніон</b> Заряд іона вказується зправа вгорі від символу хімічного елемента: $\text{Ca}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{S}^{2-}$ . Розрізняють іони <b>прості</b> ( $\text{Fe}^{3+}, \text{S}^{2-}$ ) і <b>складні</b> ( $\text{OH}^-, \text{SO}_4^{2-}$ ), <b>однозарядні</b> ( $\text{Na}^+, \text{OH}^-$ ), та <b>багатозарядні</b> ( $\text{Fe}^{3+}, \text{S}^{2-}, \text{SO}_4^{2-}$ )
6.	<b>Ступінь окиснення</b>	– умовний заряд атома, обчислений за припущення, що молекула складається з іонів: $\text{H}_2\text{O}^0, \text{H}_2\text{S}^{+6}\text{O}_4^{-2}$

#### 4.1.1 Правила складання хімічних формул сполук

Для складання хімічних формул користуємося **таблицею розчинності речовин у воді** (додат.6), в якій наведено заряди іонів, а також наступною інформацією:

Ступінь окиснення	Елементи з постійним значенням ступеня окиснення
+1	I А-підгрупа п/системи: $\text{Li}^+, \text{Na}^+, \text{K}^+, \dots, \text{Fr}^+, \text{H}^+$ (крім $\text{K}^+\text{H}^-$ )
+2	II А-підгрупа п/системи: $\text{Be}^{2+}, \text{Ca}^{2+}, \text{Mg}^{2+}, \dots, \text{Ra}^{2+}$ і $\text{Zn}^{2+}$
+3	III А-підгрупа п/системи: $\text{B}^{3+}, \text{Al}^{3+}, \text{In}^{3+}$
-2	$\text{O}^{2-}$ (крім $\text{H}_2\text{O}^0, \text{O}^{2+}\text{F}_2$ )
-1	$\text{F}^-, \text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{I}^-$ (крім їхніх сполук з $\text{O}^{2-}$ : $\text{Cl}_2\text{O}^+, \text{HCl}^{7+}\text{O}_4$ )

Відомо, що нейтральна молекула складається з певної кількості катіонів і аніонів:



<b>Правило 1</b>	<b>Сума усіх зарядів (або ступенів окиснення) в молекулі дорівнює 0</b> , тобто кількість позитивних зарядів завжди дорівнює кількості негативних зарядів.
<b>Складання хімічних формул</b>	<b>Наприклад</b> , молекула води складається з іонів $\text{H}^+$ і $\text{O}^{2-}$ . Виходячи з правила, для того, щоб сума зарядів дорівнювала нулю, не-

	обхідно подвоїти кількість катіонів $H^+$ : $H_2O^{2-}$ . Для цього справа внизу від символу хімічного елемента вказуємо відповідний індекс 2, що визначає кількість катіонів $H^+$ . Таким чином, молекула води повинна складатися їх 2-х катіонів $H^+$ і 1-го аніону $O^{2-}$ : $H_2O$ .
<b>Правило 2</b> <b>Визначення зарядів складних іонів</b>	Складні іони утворені атомами двох і більше елементів: $(OH)^-$ , $(NH_4)^+$ . <b>Заряд складного іона дорівнює алгебраїчній сумі ступенів окиснення атомів, з яких він складається.</b> <b>Приклад 1:</b> заряд гідроксо-групи $(OH)^-$ дорівнює сумі ступенів окиснення $O^{2-}$ и $H^+$ : $-2 + 1 = -1$ . <b>Приклад 2:</b> молекула сульфатної кислоти $H_2(SO_4)^{2-}$ - складається з двох катіонів водню $H^+$ і кислотного залишку $(SO_4)^{2-}$ , заряд якого можна визначити по кількості позитивних зарядів двох катіонів $H^+$ : $+2$ , тоді, користуючись правилом 1, заряд кислотного залишку повинен складати $-2$ .

## 4.2 Оксиди

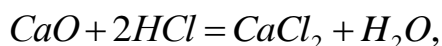
**Оксидами** називають сполуки елементів з киснем ( $E_2^{n+}O_n^{2-}$ ).

ОКСИДИ			
<b>Несолетвірні</b>	<b>Солетвірні</b> $K_2O, MgO, ZnO, Al_2O_3, SO_3, P_2O_5, PbO_2, PbO, Mn_2O_7$		
$N_2O, NO,$ $CO, SiO$	<b>Основні</b> $K_2O, MgO, CuO$	<b>Амфотерні</b> $ZnO, Al_2O_3, PbO$	<b>Кислотні</b> $SO_3, P_2O_5, Mn_2O_7$
	<b>Відповідають основи</b>	<b>Відповідають амфотерні гідроксиди</b>	<b>Відповідають кислоти</b>
	$KOH, Mg(OH)_2,$ $Cu(OH)_2$	$Zn(OH)_2$ $Al(OH)_3$ $\uparrow \downarrow$ $\downarrow \uparrow$ $\nearrow H_2O$ $H_2ZnO_2$ $H_3AlO_3$ $\searrow$ $NaAlO_2$	$H_2SO_4, H_3PO_4,$ $HMnO_4$

### 4.2.1 Хімічні властивості

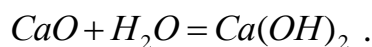
**Основними** називають оксиди, які утворюють солі при взаємодії:

- з кислотами



- з кислотними оксидами  $CaO + SO_3 = CaSO_4$ ,
  - с амфотерними оксидами  $Na_2O + ZnO = Na_2ZnO_2$
- і не реагують з основами або основними оксидами.

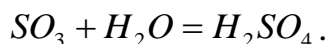
**Основні** оксиди взаємодіють з водою з утворенням гідроксидів:



**Кислотними** називають оксиди, які утворюють солі при взаємодії :

- з основами  $CO_2 + 2NaOH = Na_2CO_3 + H_2O$ ,
  - з основними оксидами  $SO_3 + MgO = MgSO_4$ ,
  - з амфотерними оксидами  $SiO_2 + ZnO = ZnSiO_3$
- і не реагують з кислотами або кислотними оксидами .

**Кислотні** оксиди взаємодіють з водою з утворенням кислот:



**Амфотерними** називають оксиди металів, які утворюють солі при взаємодії :

- з кислотами  $ZnO + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2O$ ,
- з кислотними оксидами  $ZnO + SO_3 = ZnSO_4$ ,
- з основами  $ZnO + 2NaOH + H_2O = Na_2[Zn(OH)_4]$ ,
- з основними оксидами  $ZnO + CaO = CaZnO_2$  .

#### 4.2.2 Методи отримання оксидів

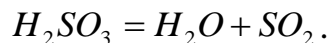
а) Взаємодія з киснем простих речовин :



б) Розкладання основ :



в) Розкладання кисневмісних кислот:

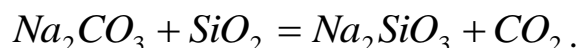


г) Розкладання солей:  $CaCO_3 = CaO + CO_2$ .

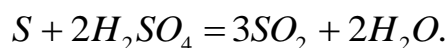
д) Перетворення оксидів :  $4CrO_3 = 2Cr_2O_3 + 3O_2$ ,



е) Витіснення одних оксидів іншими:



ж) Окиснення металів і неметалів кислотами-окисниками :



### 4.3 Основи або гідроксиди

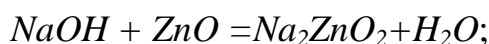
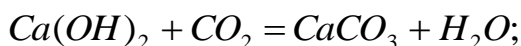
**Основи** – сполуки, до складу яких входять атоми металів і гідроксогрупи ( $\text{Me}^{\text{n}+}(\text{OH})_n^-$ , а також  $\text{NH}_4\text{OH}$ ).

ОСНОВИ		
Розчинні у воді – луги	Амфотерні	Нерозчинні у воді
LiOH, KOH, NaOH, RbOH, CsOH, Ca(OH) <sub>2</sub> , Sr(OH) <sub>2</sub> , Ba(OH) <sub>2</sub>	Be(OH) <sub>2</sub> , Zn(OH) <sub>2</sub> , Sn(OH) <sub>2</sub> , Pb(OH) <sub>2</sub> , Al(OH) <sub>3</sub> , Cr(OH) <sub>2</sub>	Cu(OH) <sub>2</sub> - гідроксид купрум(II) Fe(OH) <sub>2</sub> – гідроксид ферум(II) Fe(OH) <sub>3</sub> – гідроксид ферум(III)

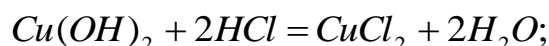
#### 4.3.1 Хімічні властивості

Основи взаємодіють:

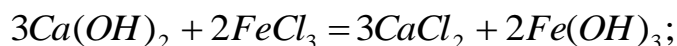
- з кислотними і амфотерними оксидами:



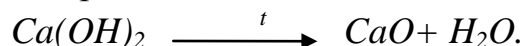
- з кислотами (реакція нейтралізації):



- з солями (тільки луги):

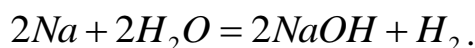


- розкладаються при нагріванні:

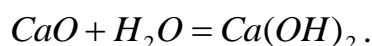


#### 4.3.2 Методи отримання основ

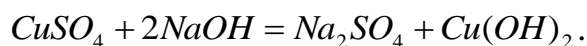
а) Взаємодія активних металів з водою:



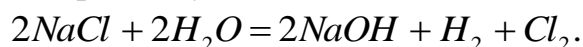
б) Взаємодія основних оксидів активних металів з водою :



в) Взаємодія солей з лугами:



г) Електроліз розчинів хлоридів лужних металів:



## 4.4 Кислоти

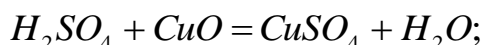
**Кислотами** називають сполуки, що містять атоми гідрогену та кислотний залишок ( $H_n^+An^n$ ). Номенклатура кислот у додатку 2.

КИСЛОТИ		
Оксигеновмісні		Безоксигенові
$HNO_3, HNO_2, HClO_4$ – одноосновні, $H_2CO_3, H_2SO_4$ – двоосновні, $H_3PO_4, H_3AsO_4$ – триосновні	<b>За основністю:</b> одно-, дво-, три-, чотирьохосновні. Основність визначається кількістю атомів гідрогену в кислоті, здатних заміщуватися на атом металу	$HCl, HBr, HF, HI$ – одноосновні $H_2S, H_2Se, H_2Te$ двоосновні

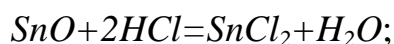
### Хімічні властивості

**Кислоти** взаємодіють:

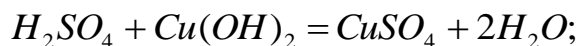
- з основними оксидами:



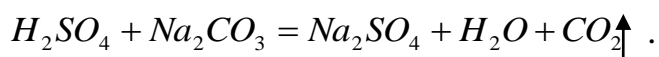
- з амфотерними оксидами:



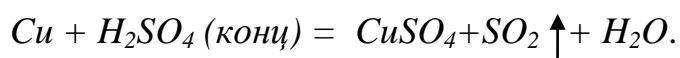
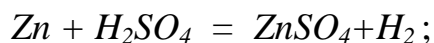
- з основами (реакція нейтралізації):



- з солями, якщо в результаті реакції випадає осад або виділяється газ:

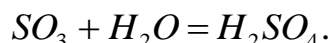


- з металами ( згідно електрохімічному ряду напруги):

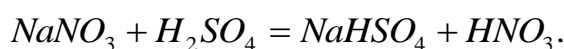
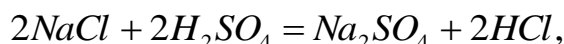


### 4.4.2 Методи отримання кислот

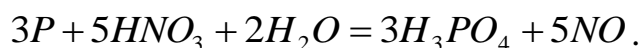
- а) Взаємодія кислотних оксидів з водою:



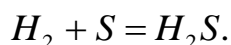
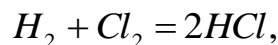
- б) Витіснення одних кислот з їх солей іншими кислотами:



- в) Окиснення деяких простих речовин:

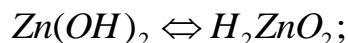


г) Взаємодія неметалів з воднем:



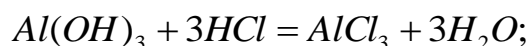
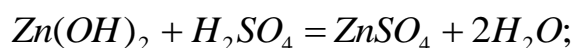
## 4.5 Амфотерні гідроксиди

**Амфотерні гідроксиди** можна розглядати як кислоти, і як основи, тобто це сполуки, в яких водень може замінюватися на атом металу, а гідроксильна група – на кислотний залишок :

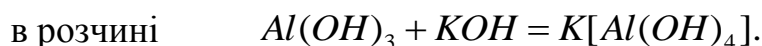
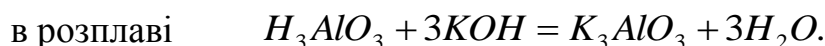
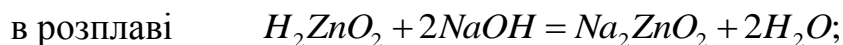


Амфотерні гідроксиди реагують

- з кислотами як основи:



- з основами – як кислоти:



## 4.6 Солі

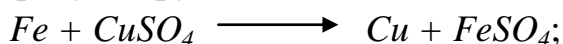
**Солі** – сполуки, що складаються з атомів металів (або  $NH_4^+$ ) і кислотних залишків.

СОЛІ			
Основні	Середні	Кислі	Подвійні
В основі не всі гідроксогрупи заміщені на кислотний залишок	Всі атоми водню в молекулах кислот заміщені атомами металу	В кислотному залишку не всі атоми водню заміщені на метал	Атоми водню в молекулах кислот заміщені двома різними металами
$(CuOH)_2SO_4$ – сульфат гідроксокупруму (II)	$CaCO_3$ – карбонат кальцію	$NaHPO_4$ – гідрофосфат барію	$KAl(SO_4)_2 \cdot 12 H_2O$ – алюмокалійовий галун

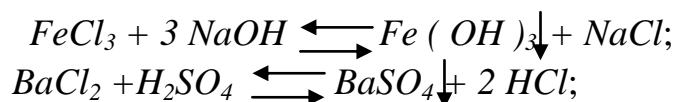
### 4.6.1 Хімічні властивості

**Солі** взаємодіють:

- з металами (згідно ряду напруг):



- з основами і кислотами, якщо в процесі реакції випадає осад або виділяється газ:



- з солями, якщо випадає осад:

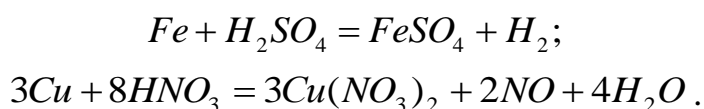


#### 4.6.2 Номенклатура солей

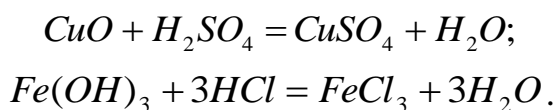
<b>середня сіль</b>	Назва <b>середньої солі</b> походить від назви кислоти і металу, з яких утворена сіль: $MgSO_4$ - сульфат магнію, $Na_3PO_4$ - фосфат натрію .
<b>кисла сіль</b>	<b>Кислі солі</b> , як правило, утворюються при надлишку кислоти і можуть бути перетворені на середні солі дією <b>основи</b> : $Ca(HCO_3)_2 + Ca(OH)_2 = 2CaCO_3 + 2H_2O.$ Назва <b>кислої солі</b> походить від назви <b>середньої солі</b> з додаванням префікса <b>гідро-</b> або <b>дигідро-</b> : $Ca(HCO_3)_2$ – гідрокарбонат кальцію, $NaH_2PO_4$ – дигідрофосфат натрію .
<b>основна сіль</b>	<b>Основні солі</b> утворюють тільки багато кислотні <b>основи</b> . Назва <b>основної солі</b> походить від назви середньої солі з додаванням приставки <b>ди-, три-</b> або <b>тетрагідроксо-</b> : $Cr(OH)Cl_2$ – хлорид гідроксохрому(III), $Al(OH)_2NO_3$ – нітрат дигідроксоалюмінію, $Ti(OH)_3Cl$ – хлорид тригідроксотитану(IV).

#### 4.6.3 Методи отримання солей

а) Взаємодія кислот з металами:



б) Взаємодія кислот з оксидами і гідроксидами:

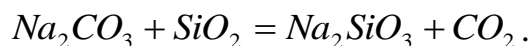
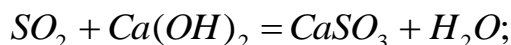
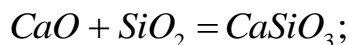


в) Взаємодія кислот з солями:

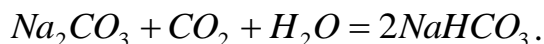
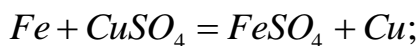
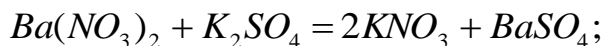
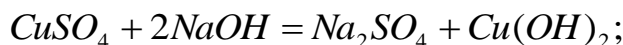




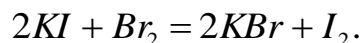
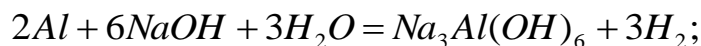
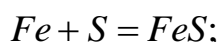
г) Взаємодія оксидів з гідроксидами і солями:



д) Взаємодія солей з гідроксидами, солями і металами:



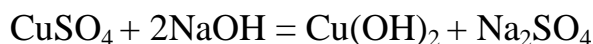
ж) Взаємодія металів і неметалів з іншими класами сполук:



## 4.7 Правила складання хімічних рівнянь по зарядах іонів.

**Хімічна реакція** – процес взаємодії речовин, при якому утворюються нові речовини. Зв'язки між атомами вихідних речовин трансформуються, утворюючи інші речовини з тих самих атомів – таким чином діє закон збереження маси в хімічній реакції.

**Хімічне рівняння** – зображення хімічних реакції за допомогою хімічних формул і чисел. Хімічне рівняння показує, які речовини і в яких кількостях вступили в реакцію і утворилися в результаті реакції:



Цифра 2 перед NaOH – **стехіометричний коефіцієнт**, вказує скільки молекул NaOH вступило в реакцію.

Для складання обмінних реакцій використовують наступні правила:

1. Записуємо початкові реагенти реакції і вказуємо заряди іонів:	$\text{Ca}^{2+}(\text{OH})_2^- + \text{H}^+\text{Cl}^- =$
2. Записуємо продукти реакції з урахуванням того, що катіони обмінюються аніонами, не змінюючи своїх зарядів:	$\text{Ca}^{2+}(\text{OH})_2^- + \text{H}^+\text{Cl}^- = \text{Ca}^{2+}\text{Cl}_2^- + \text{H}_2\text{O}^{2-}$
3. Зрівнюємо кількість атомів кожного елемента в обох частинах рівняння за допомогою коефіцієнтів:	$\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

#### 4.8 Контрольні питання

1. Яка послідовність складання хімічних формул речовин за зарядом іонів?
2. Які речовини називають оксидами? Які властивості мають основні, кислотні і амфотерні оксиди?
3. Які речовини називають гідроксидами? Які властивості мають основні і амфотерні гідроксиди?
4. Які речовини називають кислотами? Які властивості мають оксигеновмісні і безоксигенові кислоти?
5. Які речовини називають солями? Які властивості мають середні, основні, кислі, подвійні солі?
6. Складіть формули оксидів, гідроксидів і кислот для елементів III періоду. Визначте, до якого типу вони відносяться.
7. Напишіть рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити наступні перетворення:  
 $\text{Ca} \rightarrow \text{CaH}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaCl}_2 \rightarrow \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ .
8. Приведіть приклади реакцій, які доводять амфотерний характер речовин  $\text{ZnO}$ ,  $\text{Al}(\text{OH})_3$ .

## 4.9 Контрольні завдання

### 4.9.1 Оксиди

162. Складіть формули оксидів K, Ag, Mg, B, Si, As, Cr, Os за умов, що найвищий ступінь окиснення цих елементів у них дорівнює номеру групи Періодичної таблиці елементів Д.І. Менделєєва, у якій елемент знаходиться.
163. Складіть формули оксидів, виходячи із вмісту в них елементів:  
а) C – 27,3%; б) N – 63,6%; в) Fe – 70%; г) Li – 46,7%.
164. Складіть рівняння реакцій взаємодії з водою запропонованих оксидів. Кислотні оксиди виділіть підкреслюванням: MgO; Li<sub>2</sub>O; SO<sub>2</sub>; N<sub>2</sub>O<sub>4</sub>.
165. Покажіть, які із запропонованих оксидів можуть реагувати між собою: Na<sub>2</sub>O; CaO; SiO<sub>2</sub>; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; SO<sub>3</sub>; PbO; NO.
166. При відновленні воднем купрум (I) оксиду отримали 5,4 г води. Яка маса оксиду вступила до реакції? *Відповідь:  $m(Cu_2O) = 42,9 \text{ г}$*
167. Кальцій карбонат при нагріванні розкладається, утворюючи два оксиди. Яка маса кальцій оксиду та який об'єм газу (н.у.) утворюються при термічному розкладанні 1000 кг CaCO<sub>3</sub>? *Відповідь:  $m(CaO) = 560 \text{ кг}$ ;  $V(CO_2) = 224 \text{ м}^3$*
168. При прожарюванні купрум (II) оксиду втрачається половина кисню, і утворюється купрум (I) оксид. Яка маса купрум (II) оксиду була прожарена, якщо у результаті утворилося 56 л кисню (за н.у.)?  
*Відповідь:  $m(CuO) = 800 \text{ г}$*
169. При дії лугу на розчин аргентум нітрату утворюється осад аргентум оксиду Ag<sub>2</sub>O. Знайдіть масову частку аргентум нітрату в розчині, якщо при обробці 180 г його надлишком лугу утворилося 56,35 г осаду. *Відповідь:  $\omega(AgNO_3) = 37,8\%$*
170. Склад глини часто виражають формулою у вигляді оксидів: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>·2H<sub>2</sub>O. Яка маса алюмінію може бути отримана з 100 т глини?  
*Відповідь:  $m(Al) = 20,9 \text{ т}$ .*

171. Запропонуйте спосіб розділення алюміній і магній оксидів, спираючись на різницю хімічних властивостей цих сполук.
172. Вольфрам можна отримати, відновлюючи його оксид воднем; силіцій – карбоном; бор – магнієм; хром – алюмінієм. Складіть рівняння відповідних реакцій.

#### 4.9.2 Основи. Кислоти

173. Які із запропонованих нижче оксидів можуть вступати до реакції з водою? Напишіть рівняння можливих реакцій.  
 $K_2O$ ;  $Al_2O_3$ ;  $CaO$ ;  $Li_2O$ ;  $SO_3$ ;  $SiO_2$ ;  $P_2O_5$ ;  $Fe_2O_3$ ;  $N_2O_5$ ;  $CrO_3$ .
174. Складіть формули гідроксидів, якщо масові частки складають:
- а) Fe – 52,3%, O – 44,9%, H – 2,9%;
  - б) Mn – 61,8%, O – 36,0%, H – 2,2%;
  - в) Sn – 77,7%, O – 21,0%, H – 1,3%;
  - г) Be – 20,9%, O – 74,4%, H – 4,7%.
175. Яку масу вуглекислого газу може поглинути 1 кг розчину з масовою часткою натрій гідроксиду 10%? Відповідь:  $m(CO_2) = 110г$ .
176. За певних умов алюміній реагує з водою з утворенням гідроксиду й виділенням водню. Який об'єм займе водень (н.у.), що виділиться при взаємодії з водою 5,4 г алюмінію? Відповідь:  $V(H_2) = 6,72л$ .
177. Запропонуйте спосіб отримання фосфатної кислоти з фосфору. Скільки фосфатної кислоти можна отримати з 15,5 г фосфору? Відповідь:  $m(H_3PO_4) = 49г$ .
178. Оксигеновмісні кислоти мають склад:
- а) H – 2,2%; P – 34,9%; O – 62,9%;
  - б) H – 4,8%; B – 17,5%; O – 77,7%;
  - в) H – 1,0%; Cl – 35,3%; O – 63,7%.
- Визначте формули кислот.
179. Складіть формули оксигеновмісних кислот, в яких ступінь окиснення Хлору становить +1; +3; +5; +7.

180. Які із запропонованих нижче речовин можуть взаємодіяти з хлоридною кислотою?
- а) Mg; б) CuO; в) Zn(OH)<sub>2</sub>; г) SiO<sub>2</sub>; д) Ag; е) AgNO<sub>3</sub>; є) Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>. Складіть рівняння відповідних реакцій.
181. Скільки нітратної кислоти можна отримати при дії концентрованої сульфатної кислоти на 10 кг натрієвої селітри NaNO<sub>3</sub>? Відп.:  $m(\text{HNO}_3) = 7412 \text{ г}$
182. До розчину масою 200г з масовою часткою сульфатної кислоти 8% долили розчин масою 50г з масовою часткою натрій гідроксиду 12%. Яку масу натрій гідросульфату можна виділити з отриманого розчину?
- Відповідь:  $m(\text{NaHSO}_4) = 18 \text{ г}$

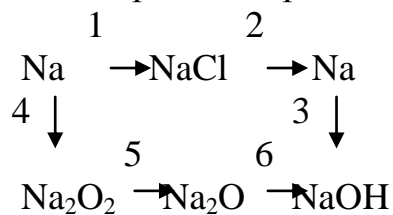
#### 4.9.3 В'язок між класами неорганічних сполук

183. У дві посудини з блакитним розчином мідного купоросу помістили: у першу – цинкову пластинку, а у другу – срібну. В якій посудині колір розчину поступово зникне? Запишіть рівняння відповідної реакції.
184. Як зміниться маса цинкової пластинки, якщо її помістити у розчин: а) купрум (II) сульфату; б) магній сульфату; в) плюмбум (II) нітрату? Запишіть рівняння відповідних реакцій.
185. Наведіть приклади реакцій між середньою сіллю, що утворена металом і оксигеновмісною кислотою, і оксидом цього ж металу. В яких випадках такі реакції можливі?
186. Для вказаних кислот запишіть хімічні формули їхніх кислотних оксидів: H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>; H<sub>3</sub>AsO<sub>4</sub>; H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>; HClO<sub>4</sub>; H<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.
187. Запишіть формули оксидів, що відповідають гідроксидам: Fe(OH)<sub>3</sub>; Cu(OH)<sub>2</sub>; LiOH; Mg(OH)<sub>2</sub>; Al(OH)<sub>3</sub>; H<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>; H<sub>4</sub>SnO<sub>4</sub>.
188. Які з указаних газів можуть поглинатися розчином лугу? Складіть рівняння реакцій. H<sub>2</sub>S; HCl; NH<sub>3</sub>; CO<sub>2</sub>; CO; N<sub>2</sub>; CH<sub>4</sub>; O<sub>2</sub>; Cl<sub>2</sub>.

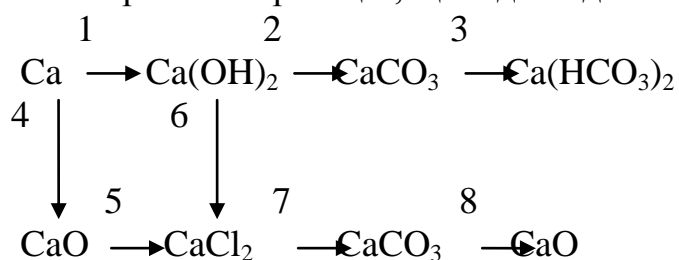
189. Які з перелічених речовин можуть реагувати з розчином сульфатної кислоти:  $\text{KCl}$ ;  $\text{NH}_3$ ;  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ;  $\text{ZnO}$ ;  $\text{HCl}$ ;  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ;  $\text{KMnO}_4$ ? Складіть рівняння реакцій.
190. Що означає термін «амфотерність»? Наведіть рівняння реакцій, що ілюструють амфотерні властивості: а) цинк оксиду  $\text{ZnO}$ ; б) берилій гідроксиду  $\text{Be}(\text{OH})_2$ .
191. Складіть рівняння реакцій, результатом яких є отримання кислих солей натрію і кальцію, що утворені:  
а) карбонатною кислотою; б) ортофосфатною кислотою. Назвіть ці солі.
192. Укажіть, які з перелічених гідроксидів можуть утворювати основні солі. Наведіть приклади основних солей і назвіть їх.  
 $\text{Al}(\text{OH})_3$ ;  $\text{NaOH}$ ;  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ;  $\text{LiOH}$ .
193. Оксиген, що застосовують в апаратах штучного дихання, часто містить вуглекислий газ. Чи можна очистити такий Оксиген, пропускаючи його через трубку, що заповнена: а) негашеним вапном; б) гашеним вапном. Відповідь обґрунтуйте рівняннями відповідних реакцій.
194. Поясніть, чому солевий склад води залишається практично незмінним, у той час як річки щороку вносять до океану близько 1,5 млн тон кальцій гідрокарбонату?
195. У двох пробірках без підписів знаходяться розчини алюміній сульфу і натрій гідроксиду. Як розпізнати речовини, не використовуючи ніяких інших реактивів?

#### 4.9.4 Взаємні перетворення неорганічних речовин

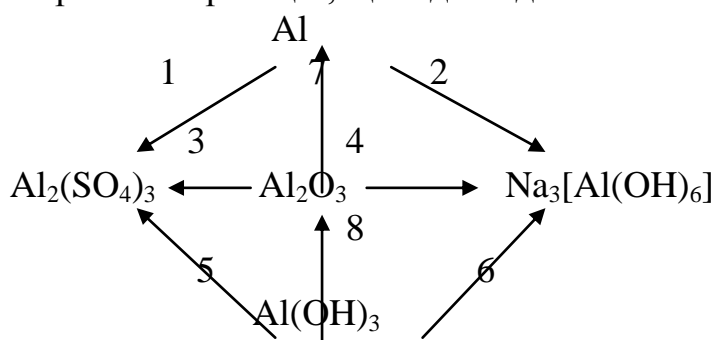
196. Запишіть рівняння реакцій, що відповідають таким перетворенням:



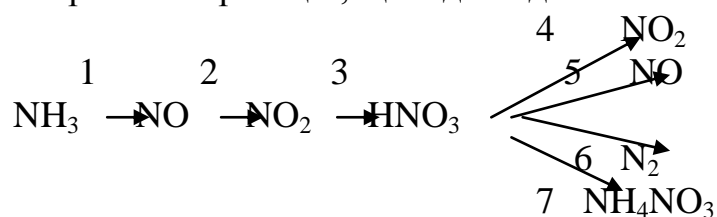
197. Запишіть рівняння реакцій, що відповідають таким перетворенням:



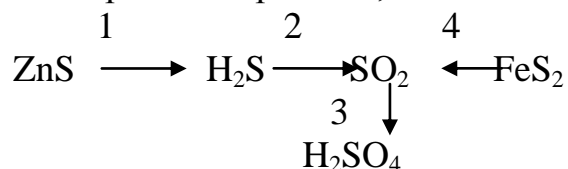
198. Запишіть рівняння реакцій, що відповідають таким перетворенням:



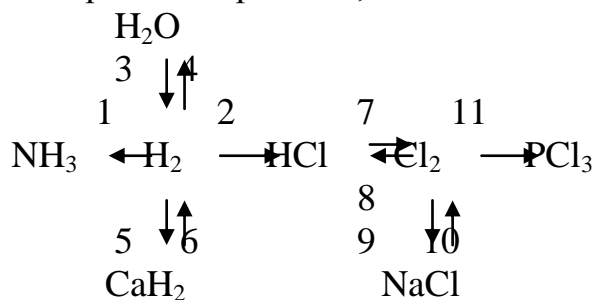
199. Запишіть рівняння реакцій, що відповідають таким перетворенням:



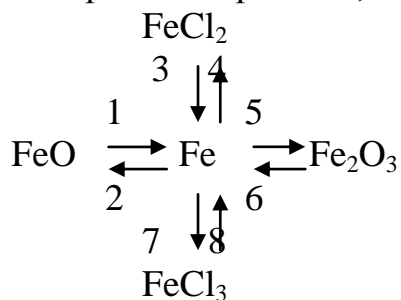
200. Запишіть рівняння реакцій, що відповідають таким перетворенням:



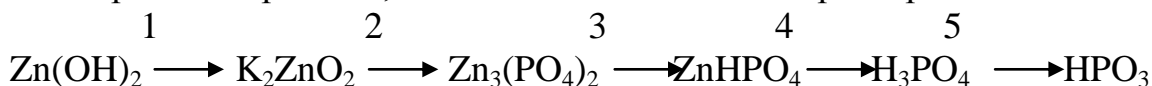
201. Запишіть рівняння реакцій, що відповідають таким перетворенням:



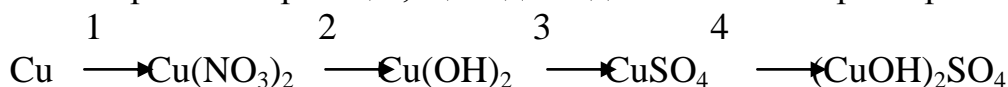
202. Запишіть рівняння реакцій, що відповідають таким перетворенням:



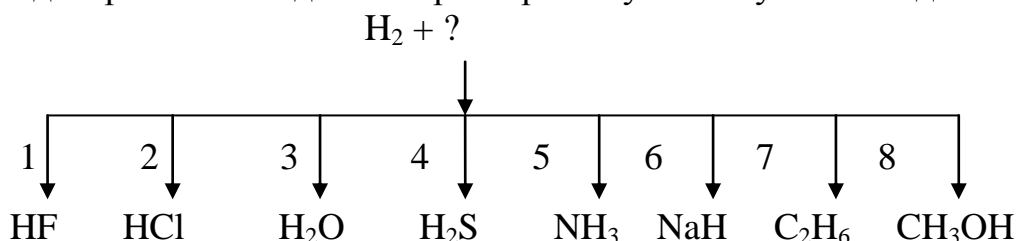
203. Запишіть рівняння реакцій, що відповідають таким перетворенням:



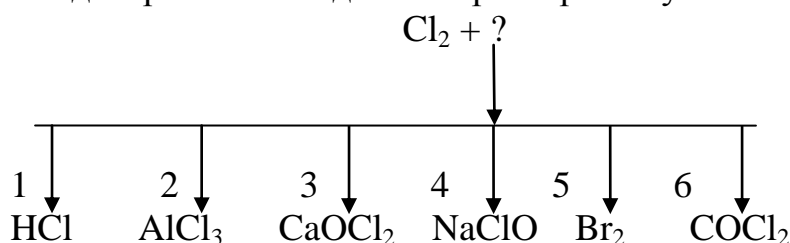
204. Запишіть рівняння реакцій, що відповідають таким перетворенням:



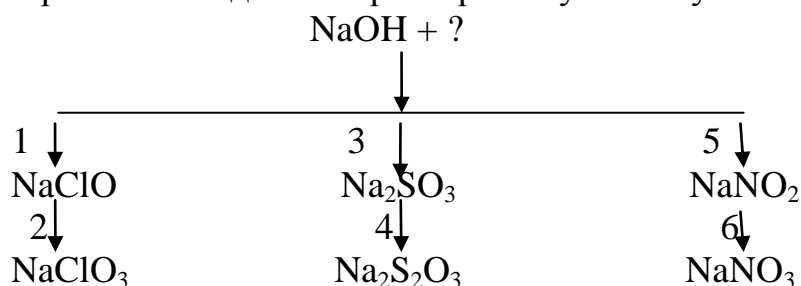
205. Складіть рівняння поданих перетворень і укажіть умови їх здійснення.



206. Складіть рівняння поданих перетворень і укажіть умови їх здійснення.



207. Складіть рівняння поданих перетворень і укажіть умови їх здійснення.





# Тема 5 ХІМІЧНИЙ ЗВ'ЯЗОК І БУДОВА МОЛЕКУЛ

## 5.1 Основні поняття

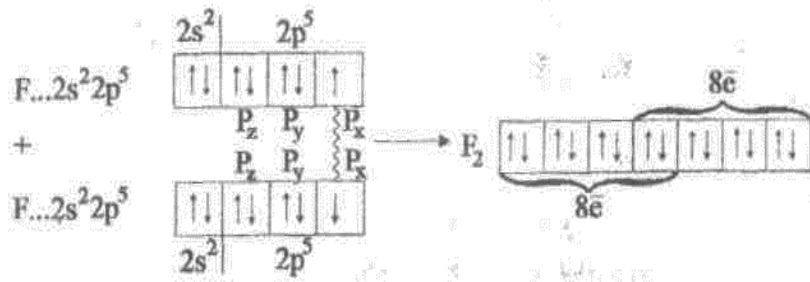
**Хімічний зв'язок** - це взаємодія, яка зв'язує окремі атоми в молекули, іони, радикали, кристали.

Причина утворення хімічних зв'язків - вигреш в енергії системи зв'язаних атомів в порівнянні з вільними атомами.

Приймаючи або віддаючи електрони, атоми елементів " прагнуть " придбати валентну конфігурацію атомів благородних газів.

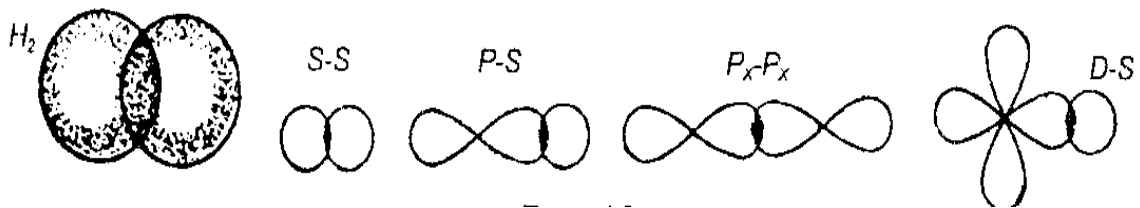
Таблиця 5.1 Типи хімічного зв'язку .

Тип зв'язку	Принцип утворення
<b>Ковалентний зв'язок :</b> <b>а) неполярний</b>	<p>Хімічний зв'язок, що здійснюється загальними електронними парами, називається <b>ковалентним</b>.</p> <p><b>а) неполярний ковалентний зв'язок</b> здійснюється <u>загальною електронною парою</u>, що утворює симетричну електронну хмару. Загальні електронні пари належать двом атомам рівномірно. Цей вид зв'язку виникає між атомами з однаковою електронегативністю: <math>H_2</math>, <math>O_2</math>, <math>N_2</math>, <math>F_2</math>, <math>Cl_2</math>, <math>Br_2</math>, <math>I_2</math>, <math>C</math>, <math>P</math>, <math>As</math>, <math>PH_3</math>, <math>CS_2</math>.</p> <p>Можлива <b>приблизна оцінка полярності</b> за розрахунком різниці електронегативностей (ЕН) атомів <math>\Delta EN_{1-2} = EN_1 - EN_2</math> . Якщо ця різниця перевищує 1,5 - зв'язок вважається іонним, а якщо вона менша ніж 1,5, - зв'язок вважається ковалентним.</p> <p>Згідно <b>методу валентних зв'язків (ВЗ)</b>, хімічний зв'язок виникає при перекритті електронних орбіталей двох неспарених електронів з антипаралельними спінами двох різних атомів. Такий механізм утворення зв'язку називають обмінним механізмом.</p> <p>З умовної схеми утворення молекули <math>F_2</math> видно, що в молекулі утворилася одна загальна електронна пара, а кожний з атомів придбав завершену оболонку з 8 електронів. <b>Графічна валентна схема</b> молекули <math>F_2</math>:</p>

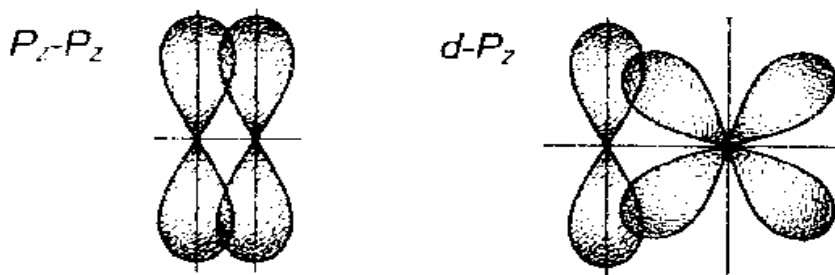


З графічної валентної схеми видно, що загальна електронна пара утворюється за рахунок з'єднання *непарних*  $p_x$  - електронів, спіни яких *антипаралельні* (стрілки, що символізують спіни електронів, направлені в різні боки).

За характером перекривання електронних хмар розрізняють  $\sigma$ - і  $\pi$ -зв'язки: при  $\sigma$ -зв'язку відбувається одноразове перекривання  $p$ -хмар по лінії зв'язку, що з'єднує центри атомів (мал.1), а при  $\pi$ -зв'язку - двократне перекривання електронних  $p$ -хмар по обидві сторони від лінії, що з'єднує центри атомів (мал. 2).



Мал. 5.1 Приклади утворення  $\sigma$ - зв'язків

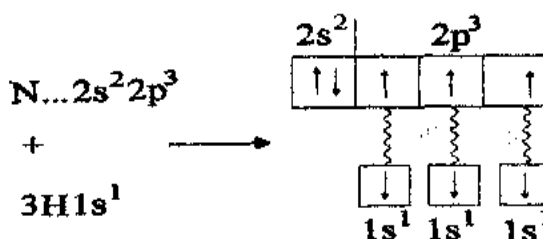


Мал. 5.2 Приклади утворення  $\pi$ -зв'язків

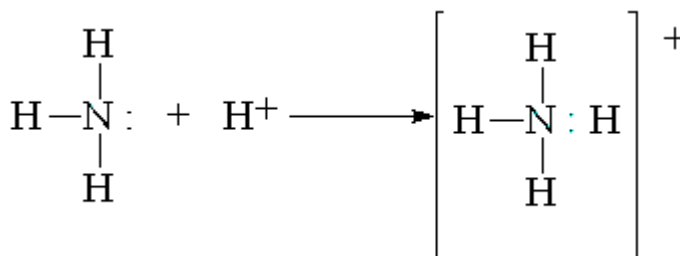
**донорно-акцепторний механізм**  
утворення ковалентного зв'язку

Іноді утворення **ковалентного зв'язку** відбувається при взаємодії атома, в якого атомна орбіталь заповнена двома електронами, і атома, в якого атомна орбіталь вільна (порожня). Такий механізм називається **донорно-акцепторним**. Атом, в якого атомна орбіталь заповнена двома електронами, називається **донором**, а атом, у якого атомна орбіталь вільна, називається **акцептором**. Так утворюється іон амонію  $\text{NH}_4^+$ .

Валентна схема молекули  $\text{NH}_3$ :



В молекулі  $\text{NH}_3$  в атомі нітрогену є неподілена електронна пара, яка при взаємодії молекули з катіоном гідрогену (протоном), що має вакантну орбіталь, надається в загальне користування за донорно - акцепторним механізмом:

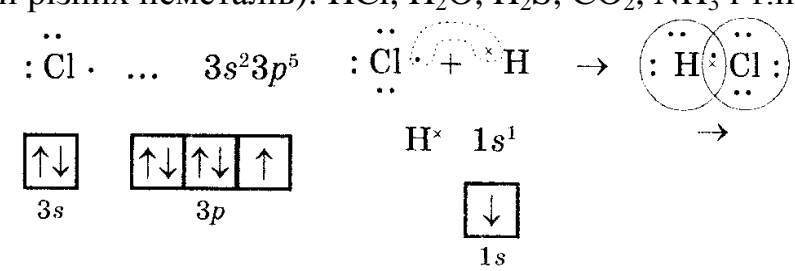
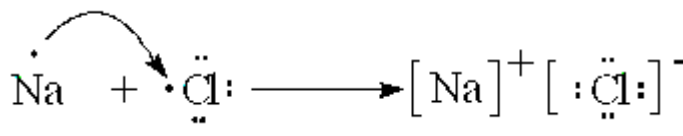
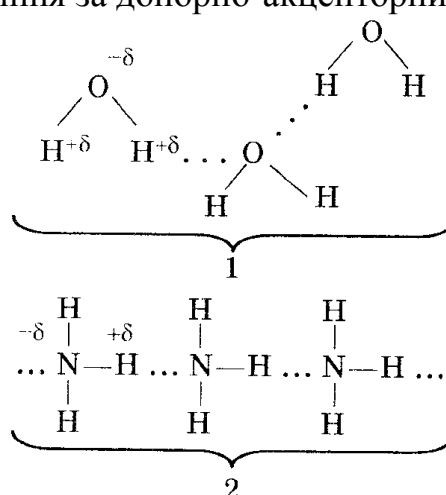


Донор – атом нітрогену в молекулі амоніаку

Акцептор- іон гідрогену (протон)

Комплексний іон з донорно-акцепторним зв'язком

Чотири зв'язки, що утворилися в іоні амонію, стають рівноцінними, просторово рівновіддаленими і якщо молекула аміаку мала пірамідальну геометрію, то катіон амонію – тетраедр.

<p><b>б) полярний</b></p>	<p><b>Ковалентний полярний зв'язок</b> утворюється між атомами з різною електронегативністю (ЕН) (як правило, між атомами різних неметалів): HCl, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> і т.п..</p>  <p>ЕН (H) = 2,1, ЕН (Cl) = 3,0. ЕН (Cl) &gt; ЕН (H), тому загальна електронна пара зміщена в бік хлора (показано стрілкою).</p>
<p><b>Іонний зв'язок</b></p>	<p><b>Іонний зв'язок</b> утворюється в результаті електростатичного тяжіння протилежно заряджених іонів.</p> <p>Атоми елементів відновників віддають електрони і перетворюються на позитивно заряджені іони (катіони). Атоми елементів окисників приймають електрони і перетворюються на негативно заряджені іони (аніони).</p> <p>Катіони і аніони можуть притягуватися один до одного, утворюючи молекули з <b>іонним зв'язком</b>.</p> <p>Такий зв'язок утворюється в кристалах хлориду натрію:</p> 
<p><b>Водневий зв'язок:</b></p> <p>1 – в молекулах води; 2 – в молекулах амоніаку (у рідкому стані).</p>	<p><b>Водневий зв'язок</b> виникає між атомом гідрогену і іншим більш електронегативним атомом за рахунок сил електростатичного тяжіння за донорно-акцепторним механізмом:</p> 
<p><b>Металевий зв'язок</b></p>	<p><b>Металевий зв'язок</b> - це взаємодія, що утримує атоми металів в єдиній кристалічній решітці. В утворенні металевого зв'язку беруть участь валентні електрони металу, які вільно пере-</p>

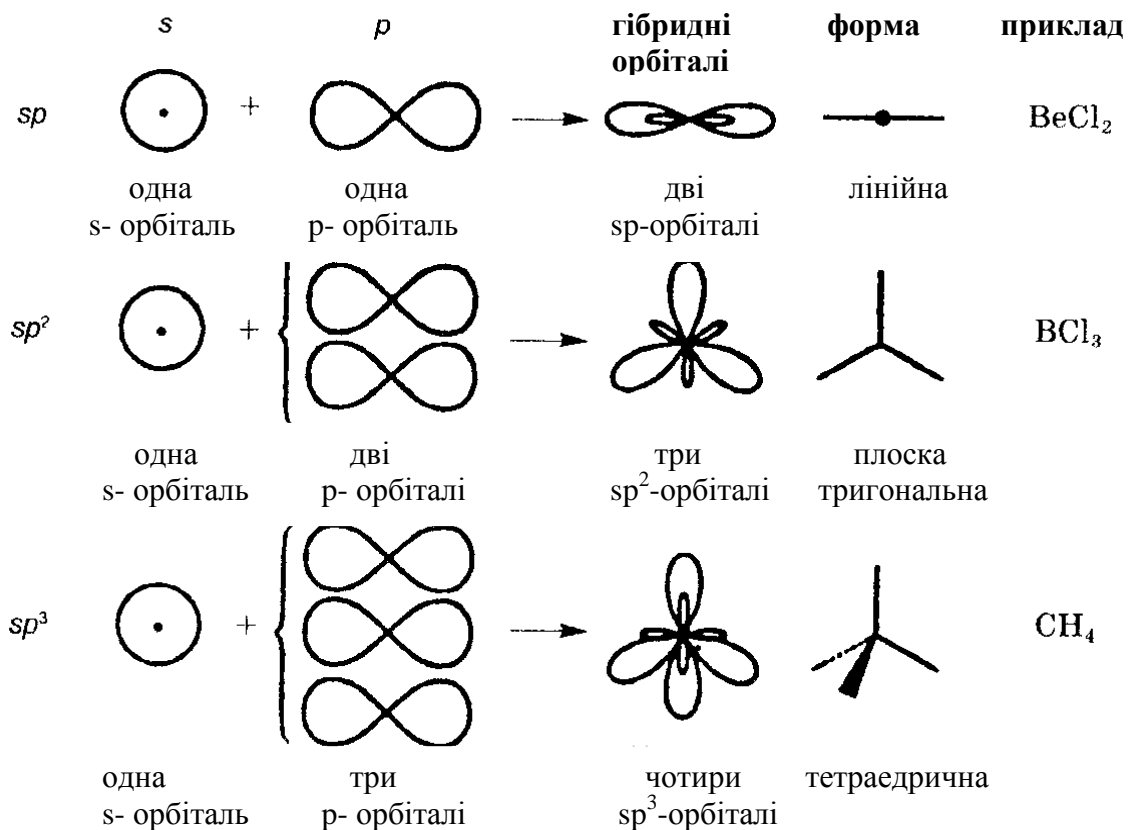
міщуються по всьому об'єму металу. Атоми металу, позбавлені електронів, перетворюються на позитивно заряджені катіони, які знову прагнуть притягти до себе рухомі електрони. Одночасно з цим, інші атоми металу віддають свої електрони, і, таким чином, в середині металу постійно циркулює «електронний газ», який міцно зв'язує між собою всі атоми металу.

## 5.2 Гібридизація атомних орбіталей

Збудження атома призводить до утворення «гібридних» орбіталей.

**Гібридизація орбіталей** – це процес, при якому відбувається вирівнювання енергій<sup>24</sup> декількох електронних підрівнів і за рахунок цього утворення рівноцінних гібридних орбіталей<sup>25</sup> однакової форми і енергії, витягнутих в бік утворення зв'язку. Тип гібридизації визначає форму молекули.

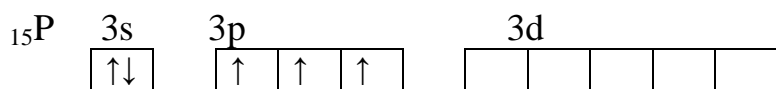
### 5.2.1 Типи гібридизації



### 5.3 Приклади розв'язування задач

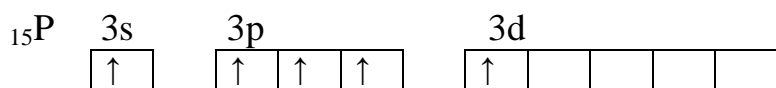
**Приклад 1.** Яку валентність може мати атом фосфору в нормальному та збудженому стані?

**Розв'язання.** Валентні електрони зовнішнього енергетичного рівня фосфору  $3s^23p^3$ . Розміщення їх в квантових комірках таке:



Валентність - це число неспарених електронів. Тому в нормальному стані валентність фосфору дорівнює трьом.

Атом фосфору має вільний d- підрівень, тому можливий перехід одного електрона з 3s- підрівня на 3d:



В такому збудженому стані валентність фосфору дорівнює п'яти.

### 5.4 Контрольні питання

1. Який принцип утворення ковалентного неполярного зв'язку?
2. Який принцип утворення ковалентного полярного зв'язку?
3. Який принцип утворення донорно-акцепторного зв'язку?
4. Який механізм утворення водневого зв'язку?
5. Які властивості металів пов'язані з утворенням металевого зв'язку?
6. При яких умовах утворюються гібридні орбіталі?

## 5.5 Контрольні завдання

208. Який хімічний зв'язок називають ковалентним? Чим пояснюють направленість ковалентного зв'язку? Як метод валентних зв'язків пояснює утворення молекули води?
209. Який ковалентний зв'язок називають полярним? В якій молекулі:  $\text{HJ}$ ,  $\text{JCl}$ ,  $\text{BrJ}$  - зв'язок більш полярний?
210. Як метод валентних зв'язків пояснює лінійну будову молекули  $\text{BeCl}_2$ ?
211. Чим пояснюють насичуваність хімічного зв'язку? Приведіть приклад.
212. Поясніть донорно-акцепторний механізм утворення іона амонію  $\text{NH}_4^+$ .
213. Який ковалентний зв'язок називають  $\sigma$ -зв'язком, а який  $\pi$  - зв'язком? Покажіть це на прикладі будови молекули азоту  $\text{N}_2$ .
214. Скільки неспарених електронів має атом хлору в нормальному збудженому стані? Розмістіть їх в квантових комірках.
215. Як метод валентних зв'язків пояснює тетраедричну будову молекули  $\text{CH}_4$ ?
216. Скільки неспарених електронів має атом сірки в нормальному та збудженому стані? Розмістіть їх в квантових комірках.
217. Як метод валентних зв'язків пояснює кутову будову молекулі  $\text{H}_2\text{S}$ ?
218. Який хімічний зв'язок називають іонним? Поясніть механізм утворення молекул з іонним зв'язком.
219. Які електрони атома бору приймають участь в утворенні зв'язку в молекулі  $\text{BF}_3$ . Чому форма молекули трикутна?
220. Який хімічний зв'язок називають водневим? Поясніть утворення цього зв'язку на прикладі молекул  $\text{HF}$  і  $\text{H}_2\text{O}$ .

**Багатоваріантне завдання.** Поясніть утворення молекул речовин, які наведені в задачах з точки зору методу валентних зв'язків. Який тип гібридизації в молекулі? Яку формулу мають ці молекули? Який тип зв'язку в цих молекулах?

221.  $\text{Cl}_2$ ;    222.  $\text{BF}_3$ ;    223.  $\text{AsH}_3$ ;    224.  $\text{CH}_4$ ;    225.  $\text{H}_2\text{S}$ ;  
226.  $\text{HBr}$ ;    227.  $\text{HCl}$ ;    228.  $\text{H}_2\text{O}$ ;    229.  $\text{BeCl}_2$ ;    230.  $\text{ZnCl}_2$ ;

231. H<sub>2</sub>Te; 232. PCl<sub>3</sub>; 233. BГ<sub>2</sub>; 234. NF<sub>3</sub>; 235. H<sub>2</sub>Se;  
 236. HF; 237. SiH<sub>4</sub>; 238. SbCl<sub>3</sub>; 239. CF<sub>4</sub>; 240. NH<sub>3</sub>;  
 241. HI; 242. F<sub>2</sub>; 243. H<sub>2</sub>S; 244. AlH<sub>3</sub>; 245. H<sub>2</sub>O;  
 246. BF<sub>3</sub>; 247. NF<sub>3</sub>; 248. HBr; 249. SiCl<sub>4</sub>; 250. NCl<sub>3</sub>.

## Тема 6 ЕНЕРГЕТИКА І НАПРАВЛЕНІСТЬ ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

### 6.1 Основні поняття

**Термодинаміка** – це наука, яка встановлює закони взаємних перетворень різних видів енергії, обміну енергією між системою, що вивчається, і зовнішнім середовищем, а також визначає можливість та напрям самовільного перебігу хімічних і фізико-хімічних процесів за певних умов.

Величини, які характеризують енергетичний стан системи і зміни, що відбуваються в ній, називають **функціями стану**: внутрішня енергія (U), ентальпія (H), ентропія (S), енергія Гіббса (G).

**Хімічна термодинаміка** - наука, яка вивчає перетворення енергії під час протікання хімічних реакцій, базується на основних законах термодинаміки.

**І закон термодинаміки:** енергія не зникає і не створюється знову, а тільки перетворюється з одного виду на інший. Закон дозволяє оцінити зміну енергії реакцій за допомогою термодинамічних функцій U и H (табл.6.1).

**Таблиця 6.1 Термодинамічні функції стану.**

Термодинамічні функції стану, одиниці вимірювання	Фізична суть
<b>U- внутрішня енергія, кДж</b>	загальна енергія системи, яка складається з кінетичної енергії (енергії поступального, коливального та обертального рухів) і потенційної енергії ( енергії притягання та відштовхування) всіх частинок системи, за винятком потенційної і кінетичної енергій системи як цілого. <u>Розраховують:</u> $\Delta U = U_2 - U_1$ за умови $V = \text{const}$



<b>H- ентальпія утворення, кДж</b>	<b>повний тепловміст системи</b> (речовини), міра впорядкованості системи, або міра енергії, яка накопичується речовиною при її утворенні (енергія хімічних зв'язків у речовині). <b>Розраховують:</b> $\Delta H = H_2 - H_1$ за умови $p = \text{const}$
<b>Для сполук:</b> $\Delta H_{298}^0$ -стандартна ентальпія утворення, кДж/моль	<b>ентальпія утворення 1 моль</b> складної речовини з простих речовин (її стійкість) в стандартних умовах $p_0 = 101325 \text{ Па}$ , $T_0 = 298 \text{ К}$ (значення $\Delta H_{298}^0$ приведені в довідковій літературі) Хімічна стійкість сполуки зростає із збільшенням $\Delta H_{298}^0$
<b>Для процесів:</b> $\Delta H_{xp}$ , - ентальпія хімічної реакції, кДж	<b>тепловий ефект хімічної реакції</b> за умови $p, T = \text{const}$ : - якщо $\Delta H_{x.p} < 0$ , реакція <b>екзотермічна</b> (+Q - теплота виділяється системою в середовище); - якщо $\Delta H_{x.p} > 0$ , реакція <b>ендотермічна</b> (-Q - теплота поглинається системою з середовища). <b>Q – кількість теплоти як еквівалент обміну енергією між системою та зовнішнім середовищем.</b>

**Термохімія** - вчення про теплові ефекти хімічних реакцій (ТЕР). Рівняння хімічних реакцій, в яких вказано теплові ефекти, називають **термохімічними рівняннями**.

Теплові ефекти розраховують за **законом Гесса: тепловий ефект реакції  $\Delta H$  не залежить від шляху проведення процесу, а залежить від початкового і кінцевого стану системи**. Із закону Гесса випливає:

$$\Delta H_{xp} = \sum \nu \Delta H_{298}^0(\text{продуктів реакції}) - \sum \nu \Delta H_{298}^0(\text{вихідних речовин}),$$

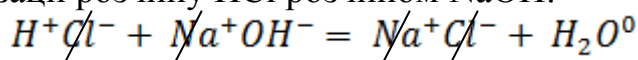
де  $\nu$  – кількість речовини, що дорівнює стехіометричним коефіцієнтам реакції.

## 6.2 Приклади розв'язування завдань

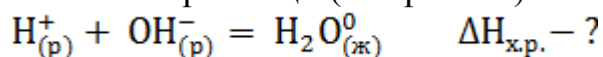
**Приклад 1.** Розрахувати стандартну ентальпію нейтралізації хлоридної кислоти гідроксидом натрію.

**Розв'язання.**

Рівняння нейтралізації розчину HCl розчином NaOH:



Термодинамічне рівняння нейтралізації (скорочене)



Розрахунок теоретичного значення  $\Delta H_{x.p.}$  по довідковим даним за законом Гесса:

$$\Delta H_{x.p.}^{\text{теор.}} = \Delta H_{298}^0(\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}) - [\Delta H_{298}^0(\text{H}_{(\text{p})}^+) + \Delta H_{298}^0(\text{OHp}^-)]$$

$$\Delta H_{x.p.}^{\text{теор.}} = -285,84 - (0 - 228,62) = -57,22 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H_{x.p.}^{\text{теор.}} = -57,22 \frac{\text{кДж}}{\text{моль}} < 0$$

-  $\Delta H_{x.p.}^{\text{теор.}} = +Q$  - реакція нейтралізації – екзотермічний процес.

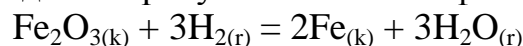
**II закон термодинаміки** – в ізольованій системі самовільно протікають тільки ті процеси, які супроводжуються збільшенням ентропії.

Закон дозволяє оцінити напрямок реакцій за допомогою термодинамічних функцій S і G.

<b>S - ентропія,</b> Дж/моль·К	<b>міра хаотичності, невпорядкованості системи:</b> нагрівання, плавлення, випаровування, утворення розчинів збільшують невпорядкованість систем (ентропія зростає).
<b>Для сполук:</b> $S_{298}^0$ - стандартна ентропія утворення, Дж/моль·К	<b>ентропія утворення одного моль речовини</b> (міра невпорядкованості у речовині в кількості 1 моль) за стандартних умов. Ентропія ідеального кристалу при $T = 0 \text{ К}$ дорівнює 0. (значення $S_{298}^0$ приведені в довідковій літературі)
<b>Для процесів:</b> $\Delta S_{x.p.}$ – зміна ентропії в хімічній реакції, Дж/К.	<u>розрахунок <math>\Delta S_{x.p.}</math> за законом Гесса:</u> $\Delta S_{x.p.} = \sum \nu S_{298}^0(\text{прод. реакції}) - \sum \nu S_{298}^0(\text{вих. речовин})$
<b>G - енергія Гіббса,</b> кДж	<b>критерій напрямленості процесів,</b> рушійна сила хімічної реакції, яка враховує ентальпійний та ентропійний фактори. <u>Розраховують:</u> $\Delta G = G_2 - G_1$ за умови $p = \text{const}$
<b>Для сполук:</b> $\Delta G_{298}^0$ - стандартна вільна енергія Гіббса, кДж/моль	<b>зміна енергії Гіббса при утворенні 1 моль складної речовини з простих речовин в стандартних умовах</b> (значення $\Delta G_{298}^0$ приведені в довідковій літературі)

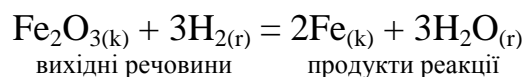
<p><b>Для процесів:</b>  <math>\Delta G_{x.p}</math> - вільна енергія Гіббса хімічної реакції, кДж</p>	<p><u>розрахунок <math>\Delta G_{x.p}</math> за законом Гесса:</u>  <math>\Delta G_{x.p} = \sum \nu \Delta G_{298}^0</math> (прод. реакції) - <math>\sum \nu \Delta G_{298}^0</math> вих. речовин)  якщо <math>\Delta G_{x.p} &lt; 0</math>, реакція відбувається самовільно в прямому напрямку;  якщо <math>\Delta G_{x.p} &gt; 0</math> реакція не відбувається самовільно, а протікає в зворотному напрямку;  якщо <math>\Delta G_{x.p} = 0</math>, система знаходиться в стані хімічної рівноваги.</p> <p><u>Основне рівняння термодинаміки враховує ентальпійний <math>\Delta H_{x.p}</math> та ентропійний <math>T\Delta S_{x.p}</math> фактори:</u>  <math display="block">\Delta G_{x.p.} = \Delta H_{x.p.} - T\Delta S_{x.p.}</math> Якщо <math>\Delta G = 0</math>, то температура рівноваги дорівнює  <math>T_{\text{равн}} = \Delta H_{x.p.} / \Delta S_{x.p.}</math></p>
--	---

**Приклад 2.** Розрахуйте тепловий ефект реакції



в стандартних умовах. Визначте температуру рівноваги та можливість самовільного перебігу реакції в прямому напрямку: а) в стандартних умовах; б) при температурі рівноваги; в) при температурі вищій від рівноваги на 100°. Зробіть висновки.

**Розв'язання.** Складаємо термодинамічне рівняння реакції:



$$\Delta H_{x.p.}^0 - ? \quad \Delta S_{x.p.}^0 - ? \quad \Delta G_{x.p.}^0 - ? \quad \Delta T_{p.} - ?$$

Ентальпію, ентропію та енергію Гіббса знаходимо, користуючись законом Гесса та висновками із цього закону.

$$\Delta H_{x.p.}^0 = \sum \Delta H_{298}^0 \text{ утв. прод. р-ції} - \sum \Delta H_{298}^0 \text{ початк. речовин} , \text{ (кДж).}$$

При  $\Delta H_{x.p.}^0 < 0$  реакція екзотермічна, при  $\Delta H_{x.p.}^0 > 0$  - ендотермічна.

$$\Delta S^{\circ}_{x.p.} = \sum S^{\circ}_{298} \text{ утв. прод. р-ції} - \sum S^{\circ}_{298} \text{ початк. речовин (Дж)}.$$

$$\Delta G^{\circ}_{x.p.} = \sum G^{\circ}_{298} \text{ утв. прод. р-ції} - \sum G^{\circ}_{298} \text{ початк. речовин (кДж)}.$$

При  $\Delta G^{\circ}_{x.p.} < 0$  реакція протікає самочинно в прямому напрямку;

при  $\Delta G^{\circ}_{x.p.} > 0$  реакція не протікає самочинно;

якщо  $\Delta G^{\circ}_{x.p.} = 0$  - встановлюється рівновага.

$\Delta G^{\circ}_T$  - зміна енергії Гіббса при різних температурах. Цю величину знаходимо по формулі:

$$\Delta G^{\circ}_T = \Delta H^{\circ}_{x.p.} - \Delta S^{\circ}_{x.p.} \cdot T.$$

При рівновазі  $\Delta G^{\circ}_{x.p.} = 0$ . Тоді:  $\Delta S_{x.p.} \cdot T_p = \Delta H^{\circ}_{x.p.}$ ,

$$T = \frac{\Delta H^{\circ}_{x.p.}}{\Delta S^{\circ}_{x.p.}}$$

а) Розрахуємо тепловий ефект реакції, тобто зміну ентальпії (значення  $\Delta H^{\circ}_{298}$  речовин,  $S^{\circ}_{298}$  і  $\Delta G^{\circ}_{298}$  беремо з додатку таблиці 1):

$$\Delta H^{\circ}_{x.p.} = [2\Delta H^{\circ}_{298}(\text{Fe}) + 3\Delta H^{\circ}_{298}(\text{H}_2\text{O})] - [\Delta H^{\circ}_{298}(\text{Fe}_2\text{O}_3) + 3\Delta H^{\circ}_{298}(\text{H}_2)];$$

$$\Delta H^{\circ}_{x.p.} = [0 - 725,52] - [-821,32 + 0] = 95,8 \text{ кДж}.$$

**Висновок:  $\Delta H^{\circ}_{x.p.} > 0$ , тепло поглинається, реакція ендотермічна.**

б) Розрахуємо зміну ентропії реакції:

$$\Delta S^{\circ}_{x.p.} = [2S^{\circ}_{298}(\text{Fe}) + 3S^{\circ}_{298}(\text{H}_2\text{O})] - [S^{\circ}_{298}(\text{Fe}_2\text{O}_3) + 3S^{\circ}_{298}(\text{H}_2)];$$

$$\Delta S^{\circ}_{x.p.} = [566,22 + 54,3] - [89,96 + 391,8] = 138,76 \text{ Дж} = 0,139 \text{ кДж}.$$

в) Розрахуємо зміну енергії Гіббса, тобто напрямок реакції в стандартних умовах:

$$\Delta G^{\circ}_{x.p.} = [2\Delta G^{\circ}_{298}(\text{Fe}) + 3\Delta G^{\circ}_{298}(\text{H}_2\text{O})] - [\Delta G^{\circ}_{298}(\text{Fe}_2\text{O}_3) + 3\Delta G^{\circ}_{298}(\text{H}_2)];$$

$$\Delta G^{\circ}_{x.p.} = [0 - 686,4] - [-741,99 + 0] = 55,59 \text{ кДж}.$$

**Висновок: в стандартних умовах  $\Delta G^{\circ}_{x.p.} > 0$ , в прямому напрямку самочинно реакція не протікає.**

г) Розрахуємо зміну енергії Гіббса в стандартних умовах за формулою:

$$\Delta G^{\circ}_{298} = \Delta H^{\circ}_{x.p.} - \Delta S^{\circ}_{x.p.} \cdot T = 95,8 - 0,139 \cdot 298 = 54,38 \text{ кДж.}$$

**Висновок: в стандартних умовах  $\Delta G^{\circ}_{x.p.} > 0$ , в прямому напрямку самочинно реакція не протікає.**

д) Визначаємо температуру рівноваги (при  $\Delta G^{\circ}_{x.p.} = 0$ ):

$$T_{\text{рівн.}} = \frac{\Delta H^{\circ}_{x.p.}}{\Delta S^{\circ}_{x.p.}} = \frac{95,8}{0,139} = 689,2 \text{ K}$$

ж) Визначаємо зміну енергії Гіббса при  $T = T_{\text{рівн.}} + 100 = 789,2 \text{ K}$ .

$$\Delta G^{\circ}_{672} = \Delta H^{\circ}_{x.p.} - \Delta S^{\circ}_{x.p.} \cdot T = 95,8 - 0,139 \cdot 789,2 = -13,9 \text{ кДж.}$$

**Висновок: при  $T=789,2\text{K}$   $\Delta G^{\circ}_{x.p.} < 0$ , реакція протікає самочинно в прямому напрямку .**

### 6.3 Контрольні питання

1. Внутрішня енергія, її фізична суть, розмірність.
2. Ентальпія; фізична суть, розмірність. Ентальпія утворення та згоряння речовин.
3. Термохімічні рівняння. Тепловий ефект хімічних реакцій.
4. Закон Гесса та висновки з нього.
5. Ентропія, її фізична суть, розмірність.
6. Енергія Гіббса, її фізична суть, розмірність. Енергія Гіббса, як міра напрямку хімічного процесу.
7. Поняття про стандартний стан речовини. Стандартні значення  $\Delta H^{\circ}_{298}$ ,  $S^{\circ}_{298}$ ,  $\Delta G^{\circ}_{298}$ . Розрахунки  $\Delta H^{\circ}$ ,  $\Delta S^{\circ}$  і  $\Delta G^{\circ}$  хімічних реакцій.

### 6.4 Контрольні завдання

**Багатоваріантне завдання.**

а) Розрахуйте  $\Delta H^{\circ}_{x.p.}$  і  $\Delta G^{\circ}_{x.p.}$ , користуючись законом Гесса і даними додатку 1. Яка це реакція: екзо-, чи ендотермічна? В якому напрямку реакція іде самочинно в стандартних умовах?

б) Розрахуйте  $\Delta H^\circ_{x.p.}$ ,  $\Delta S^\circ_{x.p.}$  і  $\Delta G^\circ_{x.p.}$ , користуючись законом Гесса.

Визначте температуру рівноваги -  $T_p$ . Розрахуйте  $\Delta G^\circ_T$  для температур:  $T_1 = 300$  К;  $T_2 = (T_p + 100)$  К по формулі. Яка це реакція: екзо-, чи ендотермічна? В якому напрямку вона протікає при  $T_1$  і  $T_2$ ?

Таблиця 6.1 Варіанти завдань.

Варіант	Рівняння реакції	
251	а	$3\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{k}) + \text{CO}(\text{r}) \leftrightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{k}) + \text{CO}_2(\text{r})$
	б	$\text{CO}(\text{r}) + \text{Cl}_2(\text{r}) \leftrightarrow \text{COCl}_2(\text{r})$
252	а	$\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{k}) + \text{CO}(\text{r}) \leftrightarrow 3\text{FeO}(\text{k}) + \text{CO}_2(\text{r})$
	б	$\text{CO}_2(\text{r}) + \text{H}_2(\text{r}) \leftrightarrow \text{CO}(\text{r}) + \text{H}_2\text{O}(\text{r})$
253	а	$\text{FeO}(\text{k}) + \text{CO}(\text{r}) \leftrightarrow \text{Fe}(\text{k}) + \text{CO}_2(\text{r})$
	б	$2\text{CO}(\text{r}) + \text{H}_2(\text{r}) \leftrightarrow \text{CH}_4(\text{r}) + \text{CO}_2(\text{r})$
254	а	$\text{Fe}_3\text{O}_4(\text{k}) + \text{C}(\text{k}) \leftrightarrow 3\text{FeO}(\text{k}) + \text{CO}(\text{r})$
	б	$\text{CO}(\text{r}) + \text{H}_2\text{O}(\text{r}) \leftrightarrow \text{CO}_2(\text{r}) + \text{H}_2(\text{r})$
255	а	$3\text{Fe}(\text{k}) + 2\text{CO}(\text{r}) \leftrightarrow 2\text{Fe}_3\text{C}(\text{k}) + \text{CO}_2(\text{r})$
	б	$4\text{HCl}(\text{r}) + \text{O}_2(\text{r}) \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{r}) + 2\text{Cl}_2(\text{r})$
256	а	$2\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{k}) + 2\text{H}_2(\text{r}) \leftrightarrow 4\text{FeO}(\text{k}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{r})$
	б	$\text{COCl}_2(\text{r}) \leftrightarrow \text{CO}(\text{r}) + \text{Cl}_2(\text{r})$
257	а	$\text{FeO}(\text{k}) + \text{H}_2(\text{r}) \leftrightarrow \text{Fe}(\text{k}) + \text{H}_2\text{O}(\text{r})$
	б	$\text{CH}_4(\text{r}) + \text{H}_2\text{O}(\text{r}) \leftrightarrow \text{CO}(\text{r}) + 3\text{H}_2(\text{r})$
258	а	$\text{ZnSO}_4(\text{k}) + \text{H}_2\text{S}(\text{p}) \leftrightarrow \text{ZnS}(\text{k}) + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{p})$
	б	$\text{N}_2\text{O}_4(\text{r}) + \text{CO}(\text{r}) \leftrightarrow 2\text{NO}_2(\text{r})$
259	а	$\text{WO}_3(\text{k}) + 3\text{H}_2(\text{r}) \leftrightarrow \text{W}(\text{k}) + 3\text{H}_2\text{O}(\text{r})$
	б	$\text{CO}_2(\text{r}) + \text{C}(\text{графит}) \leftrightarrow 2\text{CO}(\text{r})$
260	а	$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{k}) + 2\text{Al}(\text{k}) \leftrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3(\text{k}) + 2\text{Fe}(\text{k})$
	б	$2\text{CO}(\text{r}) + \text{O}_2(\text{r}) \leftrightarrow 2\text{CO}_2(\text{r})$
261	а	$\text{Cr}_2\text{O}_3(\text{k}) + 2\text{Al}(\text{k}) \leftrightarrow \text{Al}_2\text{O}_3(\text{k}) + 2\text{Cr}(\text{k})$

	б	$N_{2(r)} + 3H_{2(r)} \leftrightarrow 2NH_{3(r)}$
262	a	$BeCO_{3(k)} \leftrightarrow BeO_{(k)} + CO_{2(r)}$
	б	$CO_{2(r)} + 2H_{2(r)} \leftrightarrow CH_3OH_{(p)}$
263	a	$MgCO_{3(k)} \leftrightarrow MgO_{(k)} + CO_{2(r)}$
	б	$H_{2(r)} + J_{2(k)} \leftrightarrow 2HJ_{(r)}$
264	a	$CaCO_{3(k)} \leftrightarrow CaO_{(k)} + CO_{2(r)}$
	б	$2SO_{2(r)} + O_{2(r)} \leftrightarrow 2SO_{3(r)}$
265	a	$BaCO_{3(k)} \leftrightarrow BaO_{(k)} + CO_{2(r)}$
	б	$2O_{3(r)} \leftrightarrow 3O_{2(r)}$
266	a	$MgO_{(k)} + SiO_{2(k)} \leftrightarrow MgSiO_{3(k)}$
	б	$4NH_{3(r)} + 5O_{2(r)} \leftrightarrow 4NO_{(r)} + 6H_2O_{(r)}$
267	a	$CaO_{(k)} + SiO_{2(k)} \leftrightarrow CaSiO_{3(k)}$
	б	$4NH_{3(r)} + 3O_{2(r)} \leftrightarrow 2N_{2(r)} + 6H_2O_{(r)}$
268	a	$V_2O_{5(k)} + 5Ca_{(k)} \leftrightarrow 2V_{(k)} + 5CaO_{(k)}$
	б	$CH_{4(r)} + 2O_{2(r)} \leftrightarrow CO_{2(r)} + 2H_2O_{(r)}$
269	a	$Nb_2O_{3(k)} + 3Ca_{(k)} \leftrightarrow 2Nb_{(k)} + 3CaO_{(k)}$
	б	$NH_{3(r)} + H_2O_{(p)} \leftrightarrow NH_4OH_{(p)}$
270	a	$TaCl_{3(k)} + 3Na_{(k)} \leftrightarrow Ta_{(k)} + 3NaCl_{(k)}$
	б	$C_2H_{2(r)} + H_{2(r)} \leftrightarrow C_2H_{4(r)}$
271	a	$MoO_{3(k)} + 2Al_{(k)} \leftrightarrow Mo_{(k)} + Al_2O_{3(k)}$
	б	$C_2H_{2(r)} + 2H_{2(r)} \leftrightarrow C_2H_{6(r)}$
272	a	$ZrCl_{4(k)} + 2Mg_{(k)} \leftrightarrow Zr_{(k)} + 2MgCl_{2(k)}$
	б	$C_2H_5OH_{(p)} + 3O_{2(r)} \leftrightarrow 2CO_{2(r)} + 3H_2O_{(p)}$
273	a	$TiCl_{4(p)} + 2Mg_{(k)} \leftrightarrow Ti_{(k)} + 2MgCl_{2(k)}$
	б	$CO_{2(r)} + Ca(OH)_{2(k)} \leftrightarrow CaCO_{3(k)} + H_2O_{(p)}$
274	a	$TiCl_{4(p)} + 4Na_{(k)} \leftrightarrow Ti_{(k)} + 4NaCl_{(k)}$
	б	$Ca_3(PO_4)_{2(k)} \leftrightarrow 3CaO_{(k)} + P_2O_{5(k)}$
275	a	$SnO_{2(k)} + H_{2(r)} \leftrightarrow SnO_{(k)} + H_2O_{(r)}$

	б	$\text{CaO}_{(k)} + 3\text{C}_{(\text{графит})} \leftrightarrow \text{CaC}_{2(k)} + \text{CO}_{(r)}$
276	а	$3\text{NiO}_{(k)} + 2\text{Al}_{(k)} \leftrightarrow 3\text{Ni}_{(k)} + \text{Al}_2\text{O}_{3(k)}$
	б	$\text{NH}_4\text{OH}_{(p)} + \text{HCl}_{(r)} \leftrightarrow \text{NH}_4\text{Cl}_{(k)} + \text{H}_2\text{O}_{(p)}$
277	а	$2\text{PbS}_{(k)} + 3\text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{PbO}_{(k)} + 2\text{SO}_{2(r)}$
	б	$2\text{H}_{2(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(r)}$
278	а	$2\text{ZnS}_{(k)} + 3\text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{ZnO}_{(k)} + 2\text{SO}_{2(r)}$
	б	$2\text{H}_2\text{S}_{(r)} + 3\text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{SO}_{2(r)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(r)}$
279	а	$\text{WO}_{3(k)} + 3\text{H}_{2(r)} \leftrightarrow \text{W}_{(k)} + 3\text{H}_2\text{O}_{(r)}$
	б	$2\text{H}_2\text{O}_{2(p)} \leftrightarrow 2\text{H}_2\text{O}_{(p)} + \text{O}_{2(r)}$
280	а	$\text{CaC}_{2(k)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(p)} \leftrightarrow \text{Ca}(\text{OH})_{2(k)} + \text{C}_2\text{H}_{2(r)}$
	б	$2\text{NO}_{(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{NO}_{2(r)}$



## Тема 7 КІНЕТИКА ХІМІЧНИХ РЕАКЦІЙ ТА ХІМІЧНА РІВНОВАГА

### 7.1 Основні поняття

**Швидкість хімічної реакції ( $v$ )** вимірюють кількістю речовини, яка реагує або утворюється за одиницю часу в одиниці об'єму системи (гомогенна реакція) або на одиниці площі розділення фаз (гетерогенна реакція) [моль/л·с]

$$v = \pm \Delta C / \Delta \tau$$

Швидкість реакції залежить від природи речовин, концентрації, температури і наявності каталізатора (табл.7.1).

**Таблиця 7.1 Чинники, що впливають на швидкість реакції.**

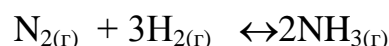
Чинник, що впливає на $v$ реакції	Фізична суть
<b>1. Природа реагуючих речовин</b>	Швидкість реакції залежить від <b>хімічної активності</b> реагуючих речовин. <u>Наприклад</u> , цинк бурхливо реагує з хлоридною кислотою, а залізо досить повільно.
<b>2. Площа поверхні реагуючих речовин</b>	Швидкість <b>гетерогенних</b> реакцій збільшується зі збільшенням поверхні реагуючих речовин. Тверді речовини для цього зазвичай подрібнюють. <u>Наприклад</u> , щоб порошки заліза і сірки при нагріванні вступили в реакцію, залізо має бути у вигляді дрібної стружки.
<b>3. Концентрація речовин</b>	<b>Закон дії мас:</b> швидкість реакції при постійній температурі пропорційна <b>добутку концентрацій</b> реагуючих речовин в степенях їх стехіометричних коефіцієнтів : <u>Наприклад</u> , для реакції $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3$ швидкість <b>прямої</b> реакції : $v_{пр} = k_{пр} \cdot C_{N_2} \cdot C^3 H_2$ ; швидкість <b>зворотної</b> реакції : $v_{обр} = k_{звор} \cdot C^2 NH_3$ При встановленні рівноваги : $v_{пр} = k_{пр} \cdot [N_2] [H_2]^3$ ; $v_{обр} = k_{звор} \cdot [NH_3]^2$ , де $C_{N_2}$ , $C_{H_2}$ , $C_{NH_3}$ - концентрації реагуючих речовин;

	<p><math>[N_2]</math>, <math>[H_2]</math>, <math>[NH_3]</math> - концентрації реагуючих речовин при рівновазі, моль/л;  <math>k_{пр}</math>, <math>k_{звор}</math> - константи швидкості прямої і зворотної реакції.  У випадку <b>гетерогенних реакцій</b> вираз для швидкості реакції <u>не містить</u> концентрації твердих речовин:  <math>C_{(тв)} + O_{2(г)} = CO_{2(г)} \quad v_{пр} = k_{пр} \cdot [O_2]</math></p>
<b>4.Температура</b>	<p><b>Правило Вант-Гоффа:</b> з підвищенням температури реакції на кожні <math>10^\circ C</math> швидкість реакції збільшується в два-чотири рази:</p> $\frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = \gamma^{\frac{t_2-t_1}{10}}$ <p>де <math>\gamma</math> - температурний коефіцієнт швидкості реакції,  <math>t_1</math>, <math>t_2</math> – початкова і кінцева температури .</p>
<b>5.Каталізатор</b>	<p><b>Каталізатор</b> - речовина, яка прискорює швидкість реакції, але не входить до складу продуктів реакції.  Каталізатор, знижуючи енергію активації реакції, однаково збільшує швидкість прямої та зворотної реакцій, а отже, пришвидшує процес досягнення рівноваги.  <b>Інгібітор</b> — речовина, що сповільнює швидкість реакції.</p>

## 7.2 Хімічна рівновага оборотних реакцій

Для оборотних процесів при **однакових швидкостях прямої і зворотної реакцій** ( $v_{пр} = v_{звор}$ .) при постійній температурі настає момент **хімічної рівноваги**.

**Константа хімічної рівноваги  $K_{рівн.}$ :** відношення добутку концентрацій продуктів реакції до добутку концентрацій початкових речовин в ступенях, рівних їх стехіометричним коефіцієнтам. Наприклад, для оборотної хімічної реакції

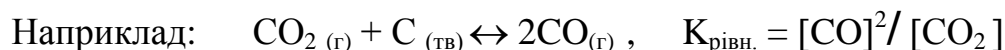


вираз для **константи рівноваги** має вигляд:

$$K_{рівн.} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \cdot [H_2]^3}$$

Константа хімічної рівноваги залежить від температури процесу і природи речовин, які реагують, але не залежить від концентрації або тиску (якщо реакція

відбувається в газоподібному стані). Для гетерогенних реакцій у вираз для константи рівноваги входять концентрації тільки тих речовин, які знаходяться в газоподібній або рідкій фазі.



Вплив зміни зовнішніх умов на стан хімічної рівноваги визначається згідно з **принципом Ле-Шательє**:

**якщо на систему, що знаходиться в стані рівноваги, подіяти ззовні, то рівновага зміщується у бік тієї реакції, яка послаблює цей вплив.**

№	Зміна зовнішніх умов	Зміщення хімічної рівноваги
1.	Зміна температури, T	нагрівання сприяє <b>ендотермічній</b> реакції, а охолодження – <b>екзотермічній</b> реакції;
2.	Зміна тиску, p	підвищення тиску зміщує рівновагу у бік утворення тих речовин, які займають менший об'єм;
3.	Зміна концентрації речовин, C	підвищення концентрації будь-якої з реагуючих речовин зміщує рівновагу в тому напрямі, в якому її концентрація зменшується.

### 7.3 Контрольні питання

1. Що називають швидкістю хімічної реакції?
2. Як впливає концентрація речовин на швидкість реакції? Наведіть формулювання Закону дії мас.
3. Як впливає температура на швидкість реакції? Що визначає правило Вант-Гоффа?
4. Що називають гомогенним і гетерогенним каталізом? Наведіть визначення каталізатора та інгібітора.

5. Який стан системи називають хімічною рівновагою? Наведіть визначення константи рівноваги. Як можна змістити рівновагу згідно з принципом Ле-Шательє?
6. Напишіть вираз для швидкості прямої і зворотної реакції:
- а)  $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3$ ;      б)  $2C + O_2 \leftrightarrow 2CO$ ;      в)  $Fe_2O_3 + CO \leftrightarrow 2FeO + CO_2$ .
7. Як зміниться швидкість прямої реакції  $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ , якщо підвищити концентрацію водню в 3 рази?
8. Як зміниться швидкість прямої реакції  $Al_2O_3 + 3SO_2 = 2Al_2(SO_4)_3$  при збільшенні об'єму системи в 3 рази?
9. Розрахуйте, як зміниться швидкість реакції, що протікає в газовій фазі, якщо температуру реакції підвищити на  $40^\circ C$ . Температурний коефіцієнт дорівнює 2.

#### 7.4 Приклади розв'язування задач

**Приклад 1.** Реакція при температурі  $50^\circ C$  відбувається за 2 хв. 15 с. За який час закінчиться ця реакція при  $70^\circ C$ , якщо в даному температурному інтервалі температурний коефіцієнт швидкості реакції дорівнює 3?

Дано:  $t_1 = 50^\circ C$ ,  $t_2 = 70^\circ C$ ,  $\Delta\tau_1 = 135\text{с}$  (2хв. 15с),  $\gamma = 3$ ;  $\Delta\tau_2 = ?$

**Розв'язання.** Обчислюємо, в скільки разів збільшиться швидкість реакції при підвищенні температури від  $50^\circ C$  до  $70^\circ C$ :

$$v_{t_2} = v_{t_1} \cdot \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}; \quad \frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = \gamma^{\frac{t_2 - t_1}{10}}; \quad \frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = 3^{\frac{70 - 50}{10}} = 9.$$

Відповідно до визначення швидкості:

$$v_{t_1} = -\frac{\Delta c}{\Delta\tau_1}; \quad v_{t_2} = -\frac{\Delta c}{\Delta\tau_2}.$$

Оскільки при обох температурах  $t_1$  і  $t_2$   $\Delta c$  однакова, маємо:

$$v_{t_1} \cdot \Delta\tau_1 = v_{t_2} \cdot \Delta\tau_2; \quad \frac{\Delta\tau_1}{\Delta\tau_2} = \frac{v_{t_2}}{v_{t_1}} = 9.$$

Визначаємо час, за який відбудеться реакція при температурі  $70^\circ C$ :

$$\Delta\tau_2 = \frac{\Delta\tau_1}{9} = \frac{135c}{9} = 15c.$$

**Приклад 2.** В гомогенній системі  $\text{CO}_{(r)} + \text{Cl}_{2(r)} \leftrightarrow \text{COCl}_{2(r)}$  при певній температурі концентрації реагуючих речовин складають:  $[\text{CO}] = 0,2$  моль/л;  $[\text{Cl}_2] = 0,3$  моль/л;  $[\text{COCl}_2] = 1,2$  моль/л. Обчисліть константу рівноваги та вихідні концентрації хлору і монооксиду вуглецю.

**Розв'язання.** Обчислюємо константу рівноваги:

$$K_p = \frac{[\text{COCl}_2]}{[\text{CO}] \cdot [\text{Cl}_2]} = \frac{1,2}{0,2 \cdot 0,3} = 20.$$

Константа рівноваги більше 1, значить рівновага реакції зміщена в бік продуктів реакції.

Визначаємо вихідні концентрації  $\text{CO}$  і  $\text{Cl}_2$ . За рівнянням реакції на утворення 1 моль  $\text{COCl}_2$  витрачається по 1 моль  $\text{CO}$  і  $\text{Cl}_2$ .

Отже:

$$[\text{CO}]_{\text{вих.}} = [\text{COCl}_2] + [\text{CO}] = 1,2 + 0,2 = 1,4 \text{ моль/л.}$$

$$[\text{Cl}_2]_{\text{вих.}} = [\text{COCl}_2] + [\text{Cl}_2] = 1,2 + 0,3 = 1,5 \text{ моль/л.}$$

**Приклад 3.** Константа рівноваги реакції  $\text{CO}_2 + \text{H}_2 \leftrightarrow \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$  дорівнює 1. Обчисліть рівноважні концентрації  $\text{CO}$  і  $\text{H}_2$ , якщо вихідні концентрації  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{O}$  складають 1 моль/л і 2 моль/л відповідно.

**Розв'язання.** Визначаємо рівноважні концентрації  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2$ . За рівнянням реакції з 1 моль  $\text{CO}_2$  та 1 моль  $\text{H}_2$  утворюється по 1 моль  $\text{CO}$  і  $\text{H}_2\text{O}$ .

Позначимо рівноважні концентрації  $\text{CO}$  та  $\text{H}_2\text{O}$  через  $X$ . Тоді рівноважні концентрації  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2$  складають:

$$[\text{CO}_2] = [\text{CO}_2]_{\text{вих.}} - X = 1 - X;$$

$$[\text{H}_2] = [\text{H}_2]_{\text{вих.}} - X = 2 - X.$$

Обчислюємо рівноважні концентрації через константу рівноваги:

$$K_p = \frac{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}_2] \cdot [\text{H}_2]} = \frac{X \cdot X}{(1-X) \cdot (2-X)} = 1.$$

$$X^2 = 2 - 2X - X + X^2; \quad 3X = 2; \quad X = 2/3 = 0,67 \text{ моль/л.}$$

Таким чином рівноважні концентрації дорівнюють:

$$[\text{CO}] = [\text{H}_2\text{O}] = 0,67 \text{ моль/л;}$$

$$[\text{CO}_2] = 1 - 0,67 = 0,33 \text{ моль/л;}$$

$$[\text{H}_2] = 2 - 0,67 = 1,33 \text{ моль/л.}$$

**Приклад 4.** В системі  $\text{A}_{(r)} + \text{B}_{(r)} \leftrightarrow \text{C}_{(r)}$ ;  $\Delta H^\circ < 0$  встановилась рівновага. Як впливатимуть на концентрацію речовини  $\text{C}_{(r)}$ : а) підвищення тиску; б) збільшення концентрації речовини  $\text{A}_{(r)}$ ; в) підвищення температури?

**Розв'язання.** Відповідно принципу Ле Шательє підвищення тиску приведе до зміщення рівноваги в бік меншого числа молів газоподібних речовин (тобто в бік утворення речовини С), отже концентрація С збільшиться.

Збільшення концентрації речовини А приведе до зміщення рівноваги в бік утворення продукту С, тобто концентрація С збільшиться.

Оскільки  $\Delta H^\circ < 0$  - теплота виділяється, значить реакція екзотермічна. Зворотна реакція буде ендотермічною. Підвищення температури завжди сприяє перебігу реакції з поглиненням теплоти, тобто рівновага зміститься в бік утворення речовин А і В, а концентрація С зменшиться.

## 7.5 Контрольні завдання

281. В скільки разів треба змінити тиск газової суміші, щоб підвищити швидкість реакції у 27 разів:

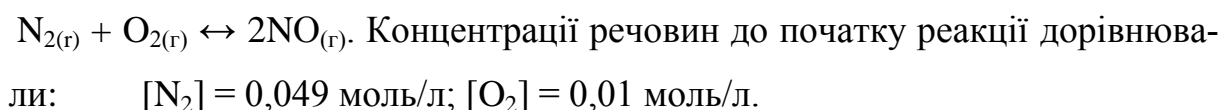


282. Для реакції  $\text{N}_{2(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{NH}_{3(\text{r})}$  початкові концентрації були:

$$[\text{N}] = 1,2 \text{ моль/л}; [\text{H}_2] = 2,2 \text{ моль/л}; [\text{NH}_3] = 0.$$

Які будуть концентрації нітрогену та гідрогену, коли концентрація амоніаку буде дорівнювати 0,1 моль/л? (Відповідь:  $[\text{N}_2] = 1,15$  моль,  $[\text{H}_2] = 2,05$  моль).

283. Реакція протікає за рівнянням:



Підрахуйте концентрації цих речовин, коли  $[\text{NO}] = 0,005$  моль/л.

(Відповідь:  $[\text{N}_2] = 0,0465$  моль/л;  $[\text{O}_2] = 0,0075$  моль/л).

284. В скільки разів зміниться швидкість реакції  $2\text{A} + \text{B} = \text{A}_2\text{B}$ , якщо концентрацію А збільшити вдвічі, а концентрацію В зменшити вдвічі? (Відповідь: в 2 рази).

285. Реакція протікає за рівнянням:



$$[\text{N}_2] = 0,8 \text{ моль/л}; [\text{H}_2] = 1,5 \text{ моль/л}; [\text{NH}_3] = 0,1 \text{ моль/л}.$$

Підрахуйте концентрації речовин в момент, коли  $[\text{N}_2] = 0,5$  моль/л. (Відповідь:  $[\text{N}_2] = 0,5$  моль/л;  $[\text{NH}_3] = 1,0$  моль/л).

286. Реакція відбувається за рівнянням:

$\text{H}_{2(\text{r})} + \text{J}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{H}^{\text{J}}_{(\text{r})}$ . Константа швидкості цієї реакції дорівнює 0,16. Початкові концентрації речовин були:

$[\text{H}_2] = 0,04$  моль/л;  $[\text{J}_2] = 0,05$  моль/л. Підрахуйте початкову швидкість реакції та її швидкість, коли  $[\text{H}_2] = 0,03$  моль/л. (Відповідь:  $\bar{v}'_1 = 0,00032$  моль/л·с.  $\bar{v}''_1 = 0,00024$  л моль/л·с)

287. Реакція відбувається за рівнянням:

$2\text{NO}_{(\text{r})} + \text{O}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 2\text{NO}_{2(\text{r})}$ . Концентрації реагуючих речовин:

$[\text{NO}] = 0,03$  моль/л;  $[\text{O}_2] = 0,06$  моль/л.

Як зміниться швидкість реакції після збільшення концентрації кисню до 0,1 моль/л та концентрації оксиду нітрогену(II) до 0,06 моль/л. (Відповідь: збільшиться у 3,7 рази).

288. Реакція проходить за рівнянням:  $\text{CO}_{(\text{r})} + \text{Cl}_{2(\text{r})} \leftrightarrow \text{COCl}_{2(\text{r})}$ .

Концентрації речовин в певний момент реакції дорівнювали:

$[\text{CO}] = 0,08$  моль/л;  $[\text{Cl}_2] = 0,06$  моль/л;  $[\text{COCl}_2] = 0,05$  моль/л.

Підрахуйте початкові концентрації речовин. (Відповідь:  $[\text{CO}] = 0,13$  моль/л;  $[\text{Cl}_2] = 0,11$  моль/л;  $[\text{COCl}_2] = 0$  моль/л).

289. Реакція проходить за рівнянням:

$\text{CO}_{(\text{r})} + 3\text{H}_{2(\text{r})} \leftrightarrow \text{CH}_{4(\text{r})} + \text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$ . Концентрації речовин в момент  $\tau$  дорівнювали:  $[\text{CO}] = 0,06$  моль/л;  $[\text{H}_2] = 0,05$  моль/л;  $[\text{CH}_4] = 0,04$  моль/л.

Визначте початкові концентрації речовин та концентрацію  $\text{H}_2\text{O}$  в момент  $\tau$ . (Відповідь:  $[\text{CO}] = 0,1$  моль/л;  $[\text{H}_2\text{O}] = 0$  моль/л;  $[\text{H}_2] = 0,17$  моль/л;  $[\text{CH}_4] = 0$  моль/л;  $[\text{H}_2\text{O}]_{\tau} = 0,04$  моль/л).

290. Реакція проходить за рівнянням:

$4\text{NH}_{3(\text{r})} + 5\text{O}_{2(\text{r})} \leftrightarrow 4\text{NO}_{(\text{r})} + 6\text{H}_2\text{O}_{(\text{r})}$ . Початкові концентрації речовин дорівнювали:  $[\text{NH}_3] = 1,4$  моль/л;  $[\text{O}_2] = 1,8$  моль/л;  $[\text{NO}] = [\text{H}_2\text{O}] = 0$  моль/л.

Підрахуйте концентрації  $\text{NH}_3$  та  $\text{O}_2$ , якщо  $[\text{NO}] = 0,6$  моль/л. (Відповідь:  $[\text{NH}_3] = 0,8$  моль/л;  $[\text{O}_2] = 0,3$  моль/л).

291. Через деякий час після початку реакції  $3A + B \leftrightarrow 2C + D$  концентрації речовин дорівнювали:  $[A] = 3$  моль/л;  $[B] = 1$  моль/л;  $[C] = 0,8$  моль/л. Визначте початкові концентрації А та В. (Відповідь:  $[A] = 4,2$  моль/л;  $[B] = 1,4$  моль/л).
292. Хімічна реакція протікає в розчині за рівнянням:  $A + B = C$ . Початкові концентрації:  $[A] = 0,8$  моль/л;  $[B] = 1,00$  моль/л. Через 20 хвилин концентрація А зменшиться до 0,78 моль/л. Якою буде концентрація В? Підрахуйте середню швидкість реакції за цей відрізок часу. (Відповідь:  $[A] = 0,78$  моль/л;  $[B] = 0,08$  моль/л;  $V_{cp} = 1,7 \cdot 10^{-4}$  моль/л·с).
293. Знайдіть константу швидкості реакції  $A + B = AB$ , якщо при  $[A] = 0,5$  моль/л та  $[B] = 0,1$  моль/л швидкість реакції дорівнювала 0,005 моль/л·хв. (Відповідь:  $K = 1 \cdot 10^{-1}$  моль/л·с).
294. У скільки разів треба збільшити концентрацію  $B_2$  в системі:  
 $2A_{2(r)} + B_{2(r)} = 2A_2B_{(r)}$ , щоб при зменшенні концентрації А вчетверо швидкість прямої реакції не змінилась? (Відповідь: В 12 разів).
295. В системі  $CO_{(r)} + Cl_{2(r)} = COCl_{2(r)}$  концентрацію CO збільшили від 0,3 до 1,2 моль/л, а концентрацію  $Cl_2$  від 0,2 до 0,6 моль/л. Як зменшиться швидкість прямої реакції? (Відповідь:  $V_{40}^0 = 0,16$ ;  $V_0^0 = 0,01$  моль/л·хв).
296. За який час завершиться реакція при  $200^\circ C$ , якщо при  $230^\circ C$  вона проходить за 20 хвилин ( $\gamma = 3$ )? (Відповідь: За 540 хв).
297. Хімічна реакція при  $80^\circ C$  завершується за 90 хвилин. За який час ця реакція завершиться при  $100^\circ C$ , якщо  $\gamma = 3$ ? (Відповідь: За 10 хв).
298. Знайдіть константу рівноваги реакції  $N_2O_{4(r)} \leftrightarrow 2NO_{2(r)}$ , якщо початкова концентрація  $[N_2O_4]$  була 0,02 моль/л, а до моменту рівноваги дисоціація її склала 60 %. (Відповідь:  $K = 0,072$ ).
299. При встановленні рівноваги в системі  $2CO_{(r)} + O_{2(r)} \leftrightarrow 2CO_{2(r)}$  концентрації були:  $[CO] = 2$  моль/л,  $[O_2] = 0,5$  моль/л,  $[CO_2] = 2$  моль/л. Визначте початкові концентрації CO і  $O_2$ , якщо початкова концентрація  $CO_2$  дорівнювала



нулю. Знайдіть константу рівноваги. (Відповідь:  $[CO] = 4$  моль/л,  $[O_2] = 1,5$  моль/л).

300. Реакція проходить за рівнянням  $A + B = 2C$ . Через деякий час після початку реакції концентрації речовин, що брали участь в ній, дорівнювали:

$[A] = 0,5$  моль/л;  $[B] = 0,75$  моль/л;  $[C] = 0,5$  моль/л.

Визначте початкові концентрації речовин А і В. (Відповідь:  $[A] = 0,75$  моль/л;  $[B] = 1$  моль/л).

301. Рівновага реакції  $H_{2(r)} + J_{2(r)} \leftrightarrow 2HJ_{(r)}$  встановилась при наступних концентраціях:  $[H_2] = 0,3$  моль/л;  $[J_2] = 0,09$  моль/л;  $[HJ] = 0,35$  моль/л. Підрахуйте початкові концентрації йоду і водню та константу рівноваги. (Відповідь:  $[H_2] = 0,475$  моль/л;  $[J_2] = 0,255$  моль/л;  $K = 4,537$ ).

302. Знайдіть константу рівноваги реакції  $N_2O_{4(r)} = 2NO_{2(r)}$ , якщо початкова концентрація  $N_2O_4$  була  $0,024$  моль/л, а до наступу рівноваги дисоціювало 50% цієї речовини. (Відповідь:  $K = 0,048$ ).

303. Знайдіть константу рівноваги системи  $N_{2(r)} + 3H_{2(r)} = 2NH_{3(r)}$  якщо в стані рівноваги концентрація амоніаку складає 80% загального об'єму.

304. Константа рівноваги оборотної реакції  $CO_{(r)} + H_2O_{(r)} \leftrightarrow H_{2(r)} + CO_{2(r)}$  при деякій температурі дорівнює 1,0. Під час рівноваги:  $[H_2O] = 0,03$  моль/л;  $[CO_2] = 0,04$  моль/л. Визначте початкову концентрацію CO. (Відповідь:  $[CO] = 0,57$  моль/л).

305. При деякій температурі концентрації речовин в рівноважній системі  $N_2O_{4(r)} \leftrightarrow 2NO_{2(r)}$  дорівнювали:  $[N_2O_4] = 0,0055$  моль/л;  $[NO_2] = 0,0189$  моль/л. Визначте константу рівноваги. (Відповідь:  $K = 0,065$ ).

306. Початкові концентрації:  $Cl_2$  і NO в системі  $2NO_{(r)} + Cl_{2(r)} \leftrightarrow 2NOCl_{(r)}$  дорівнювали:  $[NO] = 0,5$  моль/л;  $[Cl_2] = 0,2$  моль/л. Визначте константу рівноваги, якщо до наступу рівноваги прореагувало 20% NO. (Відповідь:  $K > 0,416$ ).

307. Рівновага в системі  $H_{2(r)} + J_{2(r)} \leftrightarrow 2HJ_{(r)}$  встановилась при наступних концентраціях:  $[H_2] = 0,025$  моль/л;  $[J_2] = 0,005$  моль/л;  $[HJ] = 0,09$  моль/л. Ви-

значте початкові концентрації йоду і гідрогену. (Відповідь:  $[H_2] = 0,07$  моль/л;  $[J_2] = 0,05$  моль/л).

308. Константа рівноваги гомогенної системи  $CO_{(r)} + H_2O_{(r)} \leftrightarrow CO_{2(r)} + H_{2(r)}$  при деякій температурі дорівнює одиниці. Визначте рівноважні концентрації всіх реагуючих речовин, якщо початкові концентрації були такі:  $[CO] = 0,1$  моль/л;  $[H_2O] = 0,4$  моль/л. (Відповідь:  $[CO] = 0,02$  моль/л;  $[H_2O] = 0,32$  моль/л).

309. Під час синтезу амоніаку за деякими умовами в рівновазі знаходяться  $0,1$  моль/л  $N_2$ ,  $0,2$  моль/л  $H_2$  і  $0,8$  моль/л  $NH_3$ . Знайдіть константу рівноваги і визначте початкові концентрації нітрогену та гідрогену. (Відповідь:  $K = 800$ ;  $[H_2] = 1,4$  моль/л;  $[N_2] = 0,5$  моль/л).

310. При встановленні рівноваги в системі  $N_{2(r)} + 2H_{2(r)} \leftrightarrow 2NH_{3(r)}$  концентрація становила:  $[N_2] = 0,02$  моль/л;  $[H_2] = 7,2$  моль/л і  $[NH_3] = 0,8$  моль/л. Підрахуйте початкову концентрацію нітрогену та гідрогену, якщо початкова концентрація амоніаку дорівнювала нулю. Знайдіть константу рівноваги. (Відповідь:  $[N_2] = 0,42$  моль/л;  $[H_2] = 8,4$  моль/л;  $K = 0,0857$ ).

**Багатоваріантне завдання.** Користуючись законом діючих мас (ЗДМ), напишіть вираження швидкості прямої та зворотної реакцій, приведіть константу рівноваги. Як зміщується рівновага при зміні температури, тиску та концентрації початкових речовин - при збільшенні ( $\uparrow$ ), або при зменшенні ( $\downarrow$ )?

Наприклад, для реакції  $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3$ ,  $\Delta H < 0$

швидкість **прямої** реакції :  $v_{пр} = k_{пр} \cdot C_{N_2} \cdot C^3_{H_2}$ ;

швидкість **зворотної** реакції :  $v_{зв.} = k_{зв.} \cdot C^2_{NH_3}$

де  $C_{N_2}$ ,  $C_{H_2}$ ,  $C_{NH_3}$  - концентрації реагуючих речовин, моль/л;

При встановленні рівноваги :  $v_{пр} = k_{пр} \cdot [N_2] [H_2]^3$ ;

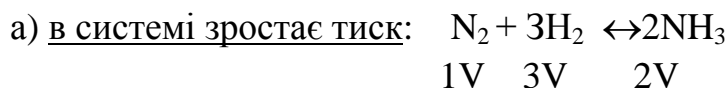
$$v_{зв.} = k_{зв.} \cdot [NH_3]^2,$$

$[N_2]$ ,  $[H_2]$ ,  $[NH_3]$  - концентрації реагуючих речовин при рівновазі, моль/л.

Вираз для **константи рівноваги**:

$$K_{\text{рівн}} = \frac{[NH_3]^2}{[N_2] \cdot [H_2]^3}$$

Як відбувається зміщення рівноваги, якщо:



В цьому випадку за **принципом Ле Шательє** рівновага зміщується в бік зменшення об'єму системи, тобто вправо;

б) знижується температура: реакція є екзотермічною ( $\Delta H < 0$ , теплота виділяється). У випадку виділення теплоти температуру в системі треба знижувати для зміщення рівноваги вправо.

в) зростає концентрація  $N_2$  і  $H_2$  : рівновага зміщується в бік зменшення їх концентрації, тобто вправо.

**Таблиця 7.2** Варіанти завдань.

Варіант	Рівняння реакції	Тепловий ефект $\Delta H^\circ_{298}$ , кДж	Зміна		
			$t^\circ$	P	C
311	$2SO_{2(r)} + O_{2(r)} \leftrightarrow 2SO_{3(p)}$	-196,6	↑	↑	↓
312	$N_{2(r)} + O_{2(r)} \leftrightarrow 2NO_{(r)}$	+180,7	↓	↑	↓
313	$3O_{2(r)} \leftrightarrow 2O_{3(r)}$	+184,6	↑	↓	↓
314	$2H_2O_{(p)} + O_{2(r)} \leftrightarrow 2H_2O_{2(p)}$	-483,7	↑	↑	↑
315	$2CO_{(r)} + O_{2(r)} \leftrightarrow 2CO_{2(r)}$	-566,0	↓	↓	↓
316	$N_2O_{4(r)} \leftrightarrow 2NO_{2(r)}$	+58,4	↑	↑	↓
317	$N_{2(r)} + 3H_{2(r)} \leftrightarrow 2NH_{3(r)}$	-92,4	↑	↓	↓
318	$CO_{(r)} + H_2O_{(r)} \leftrightarrow CO_{2(r)} + H_{2(r)}$	-41,2	↑	↑	↑
319	$COCl_{2(r)} \leftrightarrow CO_{(r)} + Cl_{2(r)}$	+112,5	↓	↓	↑
320	$2NO_{(r)} + O_{2(r)} \leftrightarrow 2NO_{2(r)}$	-113,0	↑	↑	↓
321	$2CO_{(r)} \leftrightarrow CO_{2(r)} + C_{(r)}$	-172,5	↓	↑	↓
322	$2H_2S_{(r)} \leftrightarrow 2H_{2(r)} + S_{2(k)}$	+169,4	↑	↓	↓
323	$CO_{2(r)} + 2H_{2(r)} \leftrightarrow CH_3OH_{(r)}$	+193,3	↓	↑	↑
324	$4HCl_{(r)} + O_{2(r)} \leftrightarrow 2H_2O_{(r)} + 2Cl_{2(r)}$	-114,5	↑	↓	↓
325	$NH_{3(r)} + HCl_{(r)} \leftrightarrow NH_4Cl_{(k)}$	-176,93	↑	↑	↑
326	$C_{12}H_{22}O_{11(k)} + 12O_{2(r)} \leftrightarrow 12CO_{2(r)} + 11H_2O_{(r)}$	-5694,0	↓	↓	↓
327	$2ZnS_{(k)} + 3O_{2(r)} \leftrightarrow 2ZnO_{(k)} + 2SO_{2(r)}$	-890,0	↑	↑	↓
328	$ZnO_{(k)} + SO_{3(r)} \leftrightarrow ZnSO_{4(k)}$	-834,0	↓	↑	↑
329	$PbO_{2(k)} + H_{2(r)} \leftrightarrow PbO_{(k)} + H_2O_{(r)}$	-182,8	↑	↓	↑

330	$2\text{CH}_3\text{Cl}_{(r)} + 3\text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{CO}_{2(r)} + 2\text{H}_2\text{O}_{(r)} + 2\text{HCl}_{(r)}$	-1374	↑	↓	↓
331	$4\text{C}_{(k)} + 6\text{H}_2_{(r)} + \text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}_{(p)}$	-555	↓	↓	↑
332	$\text{H}_2_{(r)} + \text{CO}_{2(r)} \leftrightarrow \text{CO}_{(r)} + \text{H}_2\text{O}_{(p)}$	-2,65	↓	↑	↓
333	$\text{CH}_4_{(r)} + \text{CO}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{CO}_{(r)} + 2\text{H}_2_{(r)}$	+247,37	↓	↓	↑
334	$\text{CaCO}_3_{(k)} + \text{H}_2_{(r)} \leftrightarrow \text{CaO}_{(k)} + \text{CO}_2_{(r)}$	+179,7	↑	↑	↓
335	$\text{SrCO}_3_{(k)} \leftrightarrow \text{SrO}_{(k)} + \text{CO}_2_{(r)}$	+234,9	↓	↓	↑
336	$\text{BaCO}_3_{(k)} \leftrightarrow \text{BaO}_{(k)} + \text{CO}_2_{(r)}$	+258	↑	↑	↑
337	$\text{MgCO}_3_{(k)} \leftrightarrow \text{MgO}_{(k)} + \text{CO}_2_{(r)}$	+101,6	↓	↑	↓
338	$2\text{MoS}_2_{(r)} + 7\text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{MoO}_3_{(k)} + 4\text{SO}_2_{(r)}$	-2225,4	↑	↓	↑
339	$2\text{Bi}_2\text{S}_3_{(k)} + 9\text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{Bi}_2\text{O}_3_{(k)} + 6\text{SO}_2_{(r)}$	-3010,4	↑	↓	↑
340	$2\text{CdS}_{(k)} + 3\text{O}_{2(r)} \leftrightarrow 2\text{CdO}_{(k)} + 2\text{SO}_2_{(r)}$	-191	↓	↑	↑

# Тема 8 РОЗЧИНИ. СПОСОБИ ВИРАЖЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНІВ

## 8.1 Основні поняття

Поняття	Фізична суть
<b>Розчини</b>	- це гомогенні фізико-хімічні системи змінного складу, що містять розчинник, розчинену речовину і продукти їх взаємодії. <b>Наприклад</b> , розчин $H_2SO_4$ містить молекули розчинника - $H_2O$ , розчиненої речовини - $H_2SO_4$ і продукти їх взаємодії: іони $H^+$ , $HSO_4^-$ , $SO_4^{2-}$ . Розрізняють <u>водні</u> і <u>неводні розчини</u> . Водні розчини найбільш поширені, в якості розчинника в них використовується вода. У воді можуть розчинятися тверді, рідкі і деякі газоподібні речовини.
<b>Розчинність</b>	– це здатність певної маси речовини розчинятися в <b>100 г розчинника</b> при певній температурі. Із зростанням температури розчинність збільшується.
<b>Концентрація розчину</b>	- це вміст розчиненої речовини в певній масі або об'ємі розчину. Розрізняють масові і об'ємні концентрації.

## 8.2 Способи вираження концентрації розчинів

№	Вид концентрації	Розрахункова формула
1.	<b>Масова частка <math>\omega</math></b> або процентна концентрація $C(\%) = \omega \times 100\%$	- це частка маси розчиненої речовини по відношенню до маси розчину, або маса розчиненої речовини, що міститься в <b>100 г розчину</b> : $\omega = \frac{m_{реч.}}{m_{р-ну}}$ (у долях від одиниці маси розчину); $\omega(\%) = \frac{m_{реч.}}{m_{р-ну}} \cdot 100\%$ (у процентах від 100 г розчину) $m_{р-ну} = m_{р-ка} + m_{реч.}$ де: $m_{реч.}$ - маса розчиненої речовини, г; $m_{р-ну}$ - маса розчину, г; $m_{р-ка}$ - маса розчинника, г.

2.	<b>Мольна частка речовини (мольність розчину)</b> <b><math>C_M</math> або <math>M</math></b> <b>(моль/л)</b>	<p>- кількість речовини (моль), що міститься в 1 л розчину:</p> $C_M = \frac{V_{реч.}}{V_{р-ну}}; \quad v_{реч.} = \frac{m_{реч.}}{M_{реч.}}; \quad C_M = \frac{m_{реч.}}{M_{реч.} \cdot V_{р-ну}};$ $C_M = \frac{\omega(\%) \cdot \rho \cdot 1000}{100\% \cdot M_{реч.}} = \frac{\varpi(\%) \cdot \rho \cdot 10}{M_{реч.}}, \quad \rho = \frac{m_{р-ну}}{V_{р-ну}}$ <p>де: <math>v_{реч.}</math> - кількість розчиненої речовини, моль;  <math>V_{р-ну}</math> - об'єм розчину, л;  <math>M_{реч.}</math> - мольна маса розчиненої речовини, г/моль;  <math>\rho</math> - густина розчину, г/мл</p>
3.	<b>Мольна частка еквівалента речовини (нормальність розчину)</b> <b><math>C_N</math> або <math>N</math></b> <b>(моль-екв/л)</b>	<p>- кількість еквівалентів розчиненої речовини (моль-екв), що містяться в 1л розчину, моль-екв/л:</p> $C_N = \frac{V_{екв}}{V_{р-ну}}; \quad v_{екв.} = \frac{m_{реч.}}{M_{екв.реч.}}; \quad C_N = \frac{m_{реч.}}{M_{екв.реч.} \cdot V_{р-ну}};$ $C_N = C_M / f_{екв.}; \quad C_N = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 1000}{100\% \cdot M_{екв.реч.}} = \frac{\varpi \cdot \rho \cdot 10}{M_{екв.реч.}}$ <p>де: <math>v_{екв}</math> - кількість еквівалентів розчиненої речовини, моль-екв;  <math>M_{екв.реч.}</math> - мольна маса еквівалента розчиненої речовини, г/моль-екв;</p>
4.	<b>Титр <math>T</math></b> <b>(г/мл)</b>	<p>це маса речовини (в грамах), що міститься в 1 мл розчину:</p> $T = \frac{m_{реч.}}{V_{р-ну}}$
5.	<b>Мольна частка <math>N_i</math></b> <b>(безрозмірна величина)</b>	<p>- це відношення кількості однієї речовини (моль) до суми кількості моль усіх компонентів розчину :</p> $N_i = v_i / (v_1 + v_2 + \dots + v_n)$

### 8.2.1 Розбавлення розчинів

При розбавленні розчинів (зменшенні їх концентрації) обчислення проводять, враховуючи, що **маса розчиненої речовини залишається постійною**,

а концентрація початкового і приготованого розчинів може бути виражена будь-яким способом.

$$m_{реч.} = \frac{\omega \cdot m_{р-ну}}{100\%}; \quad m_{реч.} = \frac{C_M M_{реч.} V'}{1000}; \quad m_{реч.} = \frac{C_n M_{екв.реч.} V''}{1000}.$$

Таким чином, маємо рівність:

$$\frac{\omega \cdot m_{р-ну}}{100\%} = \frac{C_M M_{реч.} V'}{1000} = \frac{C_n M_{екв.реч.} V''}{1000}.$$

### 8.2.2 Перехід від одного способу вираження концентрації розчину до іншого

При переході від одного способу вираження концентрації до іншого **залишаються постійними** не лише **маса** розчиненої речовини, але і **об'єм**, тобто  $V = V' = V''$ . Тоді справедлива рівність:

$$\frac{\omega\rho}{100\%} = \frac{C_M M_{реч.}}{1000} = \frac{C_n M_{екв.реч.}}{1000}$$

## 8.3 Контрольні питання

1. Що називається розчином і якими способами виражають концентрацію розчинів?
2. Що таке розчинність речовини? Від яких факторів залежить розчинність?
3. Що є продуктами розчинення кислоти  $\text{HClO}_4$  ?
4. За якими ознаками розрізняють розчини і суміші ?
5. Що є в основі фізичної теорії розчинів Арреніуса?
6. Назвіть основні положення фізико-хімічної теорії розчинів Д.І.Менделєєва.

## 8.4 Приклади розв'язування задач

**Приклад 1.** Розрахуйте маси  $\text{NaOH}$  і води, які необхідні для приготування 250 г розчину з масовою часткою  $\text{NaOH}$  2,39%. Знайдіть молярну і нормальну концентрації та титр цього розчину (густина -1,030 г/см<sup>3</sup>).

**Розв'язання.** Масову частку речовини в розчині розраховуємо по формулі:

$$w = C\% = \frac{m_{\text{реч.}}}{m_{\text{розч.}}} \cdot 100\% ,$$

де:  $m_{\text{реч.}}$  - маса розчиненої речовини, г;

$m_{\text{розч.}}$  - маса розчину, г.

З рівняння знаходимо масу NaOH:

$$m_{\text{реч.}} = \frac{m_{\text{розч.}} \cdot \omega}{100\%}; \quad m_{\text{NaOH}} = \frac{250 \cdot 2,39}{100\%} = 5,975 \text{ г.}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{розч.}} - m_{\text{NaOH}} = 250 - 5,975 = 244,025 \text{ г.}$$

Формула для розрахунку молярної концентрації:

$$C_M = C = \frac{m_{\text{реч.}} \cdot 1000}{M_{\text{реч.}} \cdot V},$$

де:  $M_{\text{реч.}}$  - молярна маса розчиненої речовини, г/моль,

$V$  - об'єм розчину, мл.

Формула для обчислення нормальності розчину (еквівалентна концентрація):

$$C_H = N = \frac{m_{\text{реч.}} \cdot 1000}{E_{\text{реч.}} \cdot V},$$

де:  $M_{\text{екв.реч.}}$  – мольна маса еквіваленту розчиненої речовини, г/моль-екв;

$V$  - об'єм розчину, мл.

Якщо від одного способу вираження концентрації переходять до іншого, то враховують, що маса речовини і об'єм розчину не змінюються. Знайдемо формулу для обчислення маси речовини з різних способів вираження концентрації:

$$m_{\text{реч.}} = \frac{\omega \cdot m_{\text{розч.}}}{100\%}, \quad \text{де } m_{\text{розч.}} = \rho \cdot V \quad (\rho - \text{густина розчину, г/см}^3)$$

$$\text{або } m_{\text{реч.}} = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{100\%};$$

$$m_{\text{реч.}} = \frac{C \cdot M_{\text{реч.}} \cdot V'}{1000}; \quad m_{\text{реч.}} = \frac{N \cdot E_{\text{реч.}} \cdot V''}{1000}.$$



Зрівняємо ці вираження, враховуючи, що  $V = V' = V''$

$$\frac{\omega \cdot \rho}{100\%} = \frac{C \cdot M_{\text{д.р.}}}{1000} = \frac{N \cdot E_{\text{д.р.}}}{1000} \quad (\text{A})$$

З цього рівняння одержимо:

$$C = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M_{\text{д.р.}}}; \quad C_{\text{NaOH}} = \frac{2,39 \cdot 1,030 \cdot 10}{40} = 0,6154 \text{ моль/л.}$$

$$N = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{E_{\text{д.р.}}};$$

$$N_{\text{NaOH}} = \frac{2,39 \cdot 1,030 \cdot 10}{40} = 0,6154 \text{ моль-екв/л,}$$

де  $M_{\text{NaOH}} = E_{\text{NaOH}} = 40 \text{ г/моль.}$

Титр розчину обчислюють, користуючись формулою:

$$T = \frac{m_{\text{д.р.}}}{V_{\text{д.р.}}}; \quad T = \frac{5,975 \text{ г}}{250 \text{ мл}} = 0,023900 \text{ г/мл.}$$

**Приклад 2.** Розрахуйте масову частку  $\text{CuSO}_4$  в розчині, 200 г якого містять 40 г кристалогідрату  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

**Розв'язання.** 1 моль  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  має 249,65 г/моль і містить 1 моль  $\text{CuSO}_4$  з молярною масою 159,6 г/моль, а 40 г  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  містить X г  $\text{CuSO}_4$ .

Одержуємо пропорцію:

$$\frac{249,65 \text{ г} / 40 \text{ г}}{159,6 \text{ г} / X \text{ г}} = \frac{40 \text{ г}}{X \text{ г}}; \quad X = m_{\text{CuSO}_4} = \frac{159,6 \cdot 40}{249,65} = 27,57 \text{ г.}$$

Обчислимо масову частку  $\text{CuSO}_4$  в розчині:

$$\omega = \frac{m_{\text{CuSO}_4}}{m_{\text{р.р.}}} \cdot 100\% = \frac{27,57 \text{ г} \cdot 100\%}{200 \text{ г}} = 12,785\%.$$

**Приклад 3.** Обчисліть об'єм розчину з масовою часткою  $\text{H}_2\text{SO}_4$  98% ( $\rho = 1,84 \text{ г/мл}$ ), який треба для приготування 300 мл 3N розчину кислоти.

**Розв'язання.** При розведенні розчинів маси речовин в них не змінюються. Обчислимо масу речовини з різних способів вираження концентрації (приклад 1) і зрівняємо їх:

$$\frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{100\%} = \frac{C \cdot M_{\text{д.а.}} \cdot V'}{1000} = \frac{N \cdot E_{\text{д.а.}} \cdot V''}{1000}. \quad (\text{В})$$

З виведеного рівняння візьмемо першу і третю частини:

$$\frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{100\%} = \frac{N \cdot E_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot V'}{1000},$$

де:  $\omega = 98\%$ ;  $N = 3$  моль-екв/л;  $V$  - необхідний об'єм кислоти;  $\rho = 1,84$  г/мл;  $V = 300$  мл;  $E_{\text{H}_2\text{SO}_4} = M/2 = 98/2 = 49$  г/моль-екв

Таким чином:

$$V = \frac{N \cdot E_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot V' \cdot 100\%}{\rho \cdot \omega \cdot 1000} = \frac{3 \cdot 49 \cdot 300 \cdot 100}{1,84 \cdot 98 \cdot 1000} = 24,46 \text{ мл.}$$

## 8.5 Контрольні завдання

341. В 100 г води розчинили 40 г солі  $\text{AgNO}_3$ . Обчисліть масову частку солі в розчині. (Відповідь: 28,57%).
342. Які маси солі і води треба взяти для приготування 320 г розчину з масовою часткою солі 12%. (Відповідь: 38,4г солі і 281,6г води).
343. До 120г розчину з масовою часткою 8% додали 20 мл води. Обчисліть масову частку одержаного розчину. (Відповідь: 6,85%).
344. До 250г води додали 250г розчину з масовою часткою  $\text{H}_2\text{SO}_4$  12%. Обчисліть масову частку кислоти в одержаному розчині. (Відповідь: 6%).
345. Змішано 40 мл води і 60г розчину з масовою часткою азотної кислоти 50%. Розрахуйте масову частку  $\text{HNO}_3$  в одержаному розчині. (Відповідь: 30%).
346. При охолодженні 400г розчину з масовою часткою  $\text{KCl}$  25% виділилося 50г солі. Визначте масову частку  $\text{KCl}$  в одержаному розчині. (Відповідь: 14,29%).
347. З 400 г розчину солі з масовою часткою 5% випарили 80г води. Визначте масову частку солі в розчині після випарювання. (Відповідь: 6,25%).
348. Визначте масову частку солі в розчині, одержаному після випарювання 40г води з 200г розчину з масовою часткою 20%. (Відповідь: 25%).

349. До 400г розчину з масовою часткою солі 5% додали 20г солі. Визначте масову частку солі в одержаному розчині. (9,52%).
350. Визначте масову частку сульфату цинка в розчині, який одержано при розчиненні 10г сульфату цинку в 200г його розчину з масовою часткою 10%. (Відповідь:14,29%).
351. При охолодженні 800г розчину з масовою часткою речовини 40% в осад випало 50г речовини. Визначте масову частку одержаного розчину. (36%).
352. Скільки води та розчину з масовою часткою аміаку 25% треба для виготовлення 500г розчину з масовою часткою 3%. (Відповідь:440г води і 60г розчину  $\text{NH}_4\text{OH}$ ).
353. Змішано 12г розчину з масовою часткою луку 20% і 40г розчину з масовою часткою луку 5%. Визначте масову частку луку в одержаному розчині. (13,75%).
354. Як приготувати 50г розчину з масовою часткою соляної кислоти 6% із розчину з масовою долею  $\text{HCl}$  37%. (Відповідь:8,11г р-ну  $\text{HCl}$  і 41,89г води).
355. Визначте масову частку розчину сірчаної кислоти, одержаного при змішуванні 500г розчину з масовою часткою її 15% і 400г розчину з масовою часткою 25%. (Відповідь:19,44%).
356. Маємо 500г розчину з масовою часткою хлориду калію 20%. Яка буде масова частка  $\text{KCl}$  в розчині, якщо до нього додати 200г води і 200г хлориду калію. (Відповідь:33,3%).
357. Яка маса  $\text{HCl}$  міститься в 1 літрі розчину з масовою часткою соляної кислоти 30%, густина якого дорівнює 1,152г/мл. Визначте молярність розчину. (Відповідь:345,6г; 9,46моль/л).
358. Визначте масову частку азотної кислоти і молярність розчину, 2л якого містять 4,48г  $\text{HNO}_3$ . Густина розчину дорівнює 1,119г/мл. (Відповідь:0,20%, 0,0355 моль/л).

359. Які маси солі і води треба взяти для приготування 120 мл розчину з масовою часткою  $\text{NaCl}$  20% та густиною 1,15г/мл? Визначте нормальну концентрацію розчину. (Відповідь: 27,6г; 3,9316 моль-екв/л).
360. Розчин соляної кислоти з масовою часткою  $\text{HCl}$  29,2% має густину 1,145г/мл. Визначте масу  $\text{HCl}$  в 3л розчину і молярну концентрацію його. (Відповідь: 1003г; 9,16 моль/л).
361. Визначте об'єм розчину з масовою часткою  $\text{KOH}$  50% (густина - 1,538г/мл), необхідний для приготування 500 мл розчину з масовою часткою  $\text{KOH}$  6% (густина - 1,048г/мл). Яка нормальність одержаного розчину? (Відповідь: 40,88мл; 1,1229 моль-екв/л).
362. До 3л розчину з масовою часткою  $\text{NaCl}$  30% і густиною 1,330г/мл додали 1л води. Визначте масову частку  $\text{NaCl}$  одержаного розчину та молярність першого розчину. (Відповідь: 24%; 6,8205 моль/л).
363. Визначте об'єм розчину з масовою часткою карбонату натрію 10% (густина - 1,056г/мл) і води, які необхідні для приготування 200мл розчину з масовою часткою  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  2% (густина - 1,02г/мл). Яка молярна концентрація цього розчину? (Відповідь: 36,92г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  та 163,08 мл води; 0,1925 моль/л).
364. Змішано 100 мл розчину з масовою часткою  $\text{HNO}_3$  10% (густина - 1,056г/мл) і 200мл розчину з масовою часткою  $\text{HNO}_3$  30% (густина - 1,184г/мл). Визначте масову частку і молярну концентрацію одержаного розчину. (Відповідь: 23,83%; 4,3159 моль/л).
365. До 100 мл 98% розчину сірчаної кислоти (густина - 1,84г/мл) додали 100 мл води. Одержали розчин з густиною - 1,420г/мл. Визначте масову частку  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в розчині і його молярну концентрацію. (Відповідь: 58,3%; 8,45 моль/л).
366. Визначте маси речовин, які необхідні для приготування 1л 0,1М розчину:  
а) сірчаної кислоти, б) сульфату міді, в) гідроксиду калію. (Відповідь: а) 9,8г; б) 16г; в) 5,6г).

### Багатоваріантне завдання.

При розв'язанні завдання треба пам'ятати, що при титруванні виконується закон еквівалентів, який виражається рівнянням:

$$N_1 \cdot V_1 = N_2 \cdot V_2,$$

де  $N_1$  і  $N_2$  - нормальна концентрація першого і другого розчинів;

$V_1$ , і  $V_2$  - об'єми першого та другого розчинів.

Дано три розчини з однаковими масами речовин «m» кожен.

1. Підрахуйте масову частку розчинених в них речовин, якщо перший розчин містить X г безводної солі А, другий – «X» г кристалогідрату  $A \cdot nH_2O$ , третій – «Z» мл конц.  $H_2SO_4$  ( $\omega = 96\%$ ,  $\rho = 1,84$  г/см<sup>3</sup>).

Варіант	Маса розчину, м,г	A	$A \cdot nH_2O$	X,г	Z, мл
367	100	$AlCl_3$	$AlCl_3 \cdot 6H_2O$	10	10
368	200	$Al(NO_3)_3$	$Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$	20	20
369	300	$Al_2(SO_4)_3$	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	25	30
370	400	$BaCl_2$	$BaCl_2 \cdot 2H_2O$	30	35
371	500	$BeCl_2$	$BeCl_2 \cdot 2H_2O$	40	45
372	600	$BeSO_4$	$BeSO_4 \cdot 4H_2O$	45	50
373	700	$Bi(NO_3)_3$	$Bi(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$	55	60
374	800	$CaCl_2$	$CaCl_2 \cdot 6H_2O$	65	70
375	900	$Cr(SO_4)_3$	$Cr(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$	75	80
376	1000	$CuCl_2$	$CuCl_2 \cdot 2H_2O$	85	90
377	1100	$Cu(NO_3)_2$	$Cu(NO_3)_2 \cdot 3H_2O$	95	100
378	1200	$Cu(NO_3)_2$	$Cu(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	105	110
379	1300	$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$	$Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$	115	120
380	1400	$Fe_2(SO_4)_3$	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$	125	130
381	1500	$K_2SO_3$	$K_2SO_3 \cdot 2H_2O$	135	150
382	1600	$Mn(NO_3)_2$	$Mn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	155	160
383	1700	$Mn SO_4$	$Mn SO_4 \cdot 4H_2O$	165	170
384	1800	$Mn SO_4$	$Mn SO_4 \cdot 5H_2O$	175	180
385	1900	$Mn SO_4$	$Mn SO_4 \cdot 7H_2O$	185	190
386	2000	$MgBr_2$	$MgBr_2 \cdot 6H_2O$	195	200
387	2100	$Na_2B_4O_7$	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$	205	210
388	2200	$(NH_4)_2CO_3$	$(NH_4)_2CO_3 \cdot 2H_2O$	210	220
389	2300	$Na_2HPO_4$	$Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$	220	230
390	2400	$NiSO_4$	$NiSO_4 \cdot 7H_2O$	230	240
391	2500	$ZnSO_4$	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	240	250

2. Підрахуйте масу речовини А, яка необхідна для приготування Х мл розчину з масовою часткою  $\omega$ , % та густиною  $\rho$ , г/см<sup>3</sup>. Скільки мл цього розчину прореагує з «У» г речовини В?

Варіант	Речовина А	$\omega$ , %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Х, мл	У, г	В
392	HNO <sub>3</sub>	17,58	1,100	200	10	Ca(OH) <sub>2</sub>
393	HNO <sub>3</sub>	20,79	1,120	300	15	NaOH
394	HNO <sub>3</sub>	25,48	1,150	400	20	KHCO <sub>3</sub>
395	HNO <sub>3</sub>	32,94	1,200	500	25	NaHCO <sub>3</sub>
396	KOH	11,03	1,100	250	5	KHCO <sub>3</sub>
397	KOH	13,14	1,120	400	10	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
398	KOH	16,26	1,150	450	15	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
399	KOH	20,37	1,190	500	20	H <sub>2</sub> S
400	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	32,75	1,200	1000	10	CaCl <sub>2</sub>
401	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	45,88	1,300	1100	15	BaCl <sub>2</sub>
402	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	57,54	1,400	1200	20	Ca(OH) <sub>2</sub>
403	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	68,10	1,500	1300	25	NH <sub>4</sub> OH
404	HClO <sub>4</sub>	29,26	1,200	1400	30	NH <sub>4</sub> OH
405	HClO <sub>4</sub>	43,89	1,340	1500	35	NaOH
406	HClO <sub>4</sub>	45,71	1,360	600	40	KOH
407	HClO <sub>4</sub>	47,49	1,380	500	45	Ca(OH) <sub>2</sub>
408	NaOH	27,41	1,300	400	50	HCl
409	NaOH	32,10	1,350	600	50	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
410	NaOH	36,99	1,400	800	60	KHCO <sub>3</sub>
411	NaOH	41,03	1,440	1000	65	NaHCO <sub>3</sub>
412	NaOH	43,12	1,460	500	70	NaHPO <sub>4</sub>
413	NH <sub>4</sub> OH	21,50	0,918	600	75	H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>
414	NH <sub>4</sub> OH	26,0	0,904	800	80	HCl
415	NH <sub>4</sub> OH	30,0	0,892	1000	85	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>

## Тема 9 ЕЛЕКТРОЛІТИЧНА ДИСОЦІАЦІЯ І РЕАКЦІЇ ІОННОГО ОБМІНУ

### 9.1 Основні поняття

Поняття	Визначення
<b>Електролітична дисоціація</b>	- це процес розкладу електролітів на іони при розчиненні або розплавленні .
<b>Електроліти</b>	- речовини, розчини або розплави яких проводять електричний струм. Провідниками струму в електролітах є іони: катіони $Kt^+$ і аніони $An^-$ .
<b>Сильні електроліти</b>	- речовини, які при розчиненні або розплавленні <u>повністю розпадаються на іони</u> . У розчинах сильних електролітів майже відсутні нейтральні молекули, в них містяться іони (ступінь дисоціації $\alpha > 30\%$ ).
<b>Слабкі електроліти</b>	- речовини, які при розчиненні або розплавленні <u>частково розпадаються на іони</u> . Розчини слабких електролітів містять більшість нейтральних молекул, в них практично відсутні іони ( $\alpha < 3\%$ ).

Таблиця 9.1 Розподіл електролітів на сильні та слабкі

Сильні електроліти	Слабкі електроліти
1. деякі неорганічні кислоти: <b>HCl, HBr, HI, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HClO<sub>4</sub></b>	1. практично <b>всі органічні кислоти</b> , більшість <b>неорганічних кислот</b>
2. <b>всі розчинні*</b> у воді <b>основи металів</b> I і ІА підгруп, а також <b>C?-a(OH)<sub>2</sub></b> (малорозч.)	2. <b>всі нерозчинні</b> у воді <b>основи</b> , а також <b>NH<sub>4</sub>OH</b> (розчинний)
3. <b>практично всі солі</b>	3. <b>вода</b>

\*Розчинність речовин наведена у додатку 6.

## 9.2 Правила складання рівнянь дисоціації кислот, основ і солей

<p><b>1. Сильні електроліти</b> дисоціюють в один етап</p>	$HCl \leftrightarrow H^+ + Cl^-;$ $NaOH \leftrightarrow Na^+ + OH^-;$ $ZnCl_2 \leftrightarrow Zn^{2+} + 2Cl^-;$ $Cr_2(SO_4)_3 \leftrightarrow 2Cr^{3+} + 3SO_4^{2-}.$
<p>за виключенням <u>кислих та основних солей</u>, які дисоціюють <b>ступінчасто</b></p>	$NaHCO_3 \leftrightarrow Na^+ + HCO_3^-$ - перший ступінь; $HCO_3^- \leftrightarrow H^+ + CO_3^{2-}$ - другий ступінь; $CuOHCl \rightarrow CuOH^+ + Cl^-$ - перший ступінь; $CuOH^+ \leftrightarrow Cu^{2+} + OH^-$ - другий ступінь;
<p><b>2. Слабкі електроліти</b> дисоціюють <b>ступінчасто</b></p>	$H_3PO_4 \leftrightarrow H^+ + H_2PO_4^-$ - перший ступінь; $H_2PO_4^- \leftrightarrow H^+ + HPO_4^{2-}$ - другий ступінь; $HPO_4^{2-} \leftrightarrow H^+ + PO_4^{3-}$ - третій ступінь; $Cu(OH)_2 \leftrightarrow OH^- + CuOH^+$ - перший ступінь; $CuOH^+ \leftrightarrow OH^- + Cu^{2+}$ - другий ступінь.

## 9.3 Правила складання йонних рівнянь

<p>1. Записати рівняння реакції в молекулярній формі і визначити силу електролітів:</p>	<p style="text-align: center;">сильн.    сильн.    слабкий    сильн.  <math>FeCl_3 + 3NaOH = Fe(OH)_3 \downarrow + 3NaCl.</math></p>
<p>2. Переписати це рівняння з урахуванням того, що <b>сильні електроліти</b> записують у вигляді йонів, а речовини, які виходять зі сфери реакції (<b>осад, газ</b>) і <b>слабкі електроліти</b> - у вигляді молекул:</p>	$Fe^{3+} + 3Cl^- + 3Na^+ + 3OH^- =$ $= Fe(OH)_3 \downarrow + 3Na^+ + 3Cl^-$
<p>3. Скоротити в обох частинах рівняння однакові йони:</p>	$Fe^{3+} + \underline{3Cl^-} + \underline{3Na^+} + 3OH^- =$ $= Fe(OH)_3 \downarrow + \underline{3Na^+} + \underline{3Cl^-}$
<p>4. Записати рівняння реакції в скороченій йонній формі:</p>	$Fe^{3+} + 3OH^- = Fe(OH)_3 \downarrow$

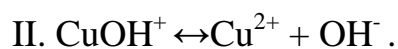
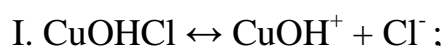
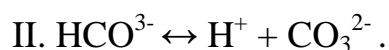
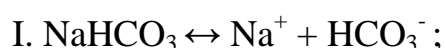
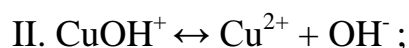
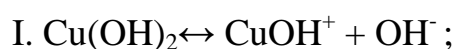
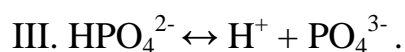
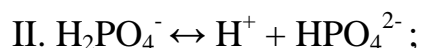
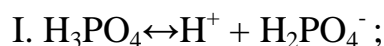


## 9.4 Приклади розв'язування задач

**Приклад 1.** Напишіть рівняння електролітичної дисоціації електrolітів: HCl, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaOH, Cu(OH)<sub>2</sub>, ZnCl<sub>2</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, CuOHCl, Zn(OH)<sub>2</sub>.

*Розв'язання.* HCl → H<sup>+</sup> + Cl<sup>-</sup>; NaOH → Na<sup>+</sup> + OH<sup>-</sup>; ZnCl<sub>2</sub> → Zn<sup>2+</sup> + 2Cl<sup>-</sup>.

Багатокислотні основи та багатоосновні кислоти, кислі та основні солі дисоціюють в декілька ступенів:

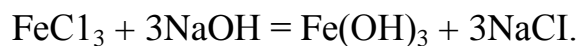


Zn(OH)<sub>2</sub> - амфотерний гідроксид, дисоціює водночас по кислотному і основному типу:

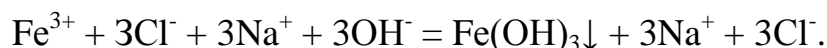


**Приклад 2.** Напишіть рівняння реакцій в молекулярній та іонній формах взаємодії між розчинами речовин FeCl<sub>3</sub> та NaOH.

*Розв'язання.* Молекулярне рівняння:



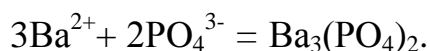
Запишемо сильні електrolіти у вигляді іонів, а слабкі електrolіти, осадки та гази у вигляді молекул:



Виключимо з обох частин рівняння однакові іони і запишемо скорочене іонне рівняння реакції:

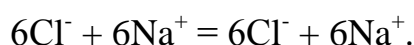
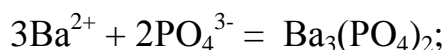


**Приклад 3.** Реакція протікає за рівнянням:

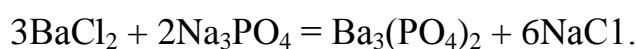


Напишіть 2 різні молекулярні рівняння, які відповідають цьому іонному рівнянню.

**Розв'язання.** До лівої та правої частин іонного рівняння допишемо іони протилежного знаку заряду з коефіцієнтами, щоб можна було скласти формули речовин. Враховуємо, що вихідні речовини розчинюються в воді:



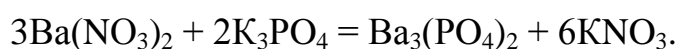
Складаємо іони обох рівнянь в молекули, одержуємо молекулярне рівняння:



Підберемо другий варіант:



Одержимо друге молекулярне рівняння:



## 9.4 Контрольні питання

1. Наведіть визначення електроліта і неелектроліта. Сформулюйте основні положення теорії електролітичної дисоціації.
2. Що називають ступенем дисоціації і константою дисоціації? Що таке сила електролітів?
3. Наведіть визначення кислоти, основи, солі згідно з теорією електролітичної дисоціації.
4. Як відбувається дисоціація води? Що таке водневий показник?
5. Як відбуваються реакції обміну в розчинах електролітів? Які правила складання іонних рівнянь?

## 9.5 Контрольні завдання

**Багатоваріантне завдання.** В наступних номерах задач:

а) складіть рівняння електролітичної дисоціації електролітів;

б) напишіть молекулярні та іонно-молекулярні рівняння реакцій взаємодії речовин, написаних в пунктах «б»;

в) складіть по два молекулярних рівняння реакцій, які відповідають іонно-молекулярним рівнянням, наведеним в пунктах «в».

416. а)  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{KOH}$ ,  $\text{TiCl}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{CuOHNO}_3$ ;

б)  $\text{CH}_3\text{COOH}$  і  $\text{NaOH}$ ;  $\text{FeCl}_3$  і  $\text{Ba(OH)}_2$ ;

в)  $\text{Cu(OH)}_2 + 2\text{H}^+ = \text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$ .

417. а)  $\text{Ca(OH)}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{CrOHCO}_3$ ;

б)  $\text{Be(OH)}_2$  і  $\text{NaOH}$ ;  $\text{AlCl}_3$  і  $\text{AgNO}_3$ ;

в)  $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ .

418. а)  $\text{HCl}$ ,  $\text{Al(OH)}_3$ ,  $\text{Mg(NO}_3)_2$ ,  $\text{ZnOHCl}$ ,  $\text{CaHPO}_4$ ;

б)  $\text{BaCO}_3$  і  $\text{HCl}$ ;  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  і  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;

в)  $\text{Pb}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{PbS}$ .

419. а)  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Ba(OH)}_2$ ,  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{NaHSO}_3$ ,  $(\text{MgOH})_2\text{S}$ ;

б)  $\text{BeSO}_4$  і  $\text{KOH}$ ;  $\text{NH}_4\text{Cl}$  і  $\text{Ba(OH)}_2$ ;

в)  $\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .

420. а)  $\text{NaOH}$ ,  $\text{HNO}_2$ ,  $\text{Ca(NO}_3)_2$ ,  $(\text{FeOH})_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Cr(H}_2\text{PO}_4)_3$ ;

б)  $\text{Sn(OH)}_2$  і  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{Hg(NO}_3)_2$  і  $\text{KJ}$ ;

в)  $\text{SiO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_3$ .

421. а)  $\text{Be(OH)}_2$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{Pb(NO}_3)_2$ ,  $\text{KHS}$ ,  $\text{CrOHCl}_2$ ;

б)  $\text{Na}_2\text{S}$  і  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{Pb(OH)}_2$  і  $\text{HNO}_3$ ;

в)  $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ .

422. а)  $\text{Fe(NO}_3)_3$ ,  $\text{Mg(OH)}_2$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{CsOH}$ ,  $\text{Hg(HSO}_4)_2$ ;

б)  $\text{Cu(OH)}_2$  і  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{K}_2\text{CO}_3$  і  $\text{BaCl}_2$ ;

в)  $\text{Al(OH)}_3 + \text{OH}^- = \text{AlO}_2^- + 2\text{H}_2\text{O}$ .

423. a)  $\text{H}_2\text{CrO}_4$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ,  $\text{NiCl}_2$ ,  $\text{KHCO}_3$ ,  $\text{MnOHNO}_3$ ;  
 б)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  i  $\text{CaCl}_2$ ;  $\text{KHCO}_3$  i  $\text{KOH}$ ;  
 в)  $\text{Cu}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{CuS}$ .
424. a)  $\text{Ma}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Cr}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Ca}(\text{HS})_2$ ,  $(\text{BeOH})_2\text{SO}_3$ ;  
 б)  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  i  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{K}_2\text{SiO}_3$  i  $\text{HCl}$ ;  
 в)  $\text{Pb}^{2+} + \text{CrO}_4^{2-} = \text{PbCrO}_4$ .
425. a)  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{LiOH}$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{PbOHl}$ ;  
 б)  $\text{Al}(\text{OH})_3$  i  $\text{KOH}$ ;  $\text{Na}_2\text{S}$  i  $\text{HCl}$ ;  
 в)  $\text{Hg}^{2+} + 2\text{I}^- = \text{HgI}_2$ .
426. a)  $\text{H}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ,  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{CaHAsO}_4$ ,  $\text{CaOHBr}$ ;  
 б)  $\text{FeSO}_4$  i  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  i  $\text{CaCl}_2$ ;  
 в)  $\text{ZnOH}^+ + \text{H}^+ = \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{O}$ .
427. a)  $\text{H}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Sn}(\text{OH})_2$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Fe}(\text{HSiO}_3)_2$ ,  $\text{SnOHNO}_3$ ,  
 б)  $\text{HNO}_3$  i  $\text{NH}_4\text{OH}$ ;  $\text{FeCl}_3$  i  $\text{KOH}$ ;  
 в)  $\text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^- = \text{PbI}_2$ .
428. a)  $\text{HClO}_2$ ,  $\text{Sn}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Al}(\text{CH}_3\text{COO})_3$ ,  $\text{NH}_4\text{HS}$ ,  $(\text{ZnOH})_3\text{PO}_4$ ;  
 б)  $\text{FeS}$  i  $\text{HCl}$ ;  $\text{Sn}(\text{OH})_2$  i  $\text{NaOH}$ ;  
 в)  $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{OH}^- = \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}_2\text{O}$ .
429. a)  $\text{HI}$ ,  $\text{Ti}(\text{OH})_4$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{AsO}_4)_2$ ,  $\text{MgOHCl}$ ;  
 б)  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  i  $\text{CaCl}_2$ ;  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  i  $\text{KI}$ ;  
 в)  $\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{H}^+ = \text{Fe}^{3+} + 3\text{H}_2\text{O}$ .
430. a)  $\text{HCN}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Fe}(\text{HSO}_4)_3$ ,  $\text{AlOHBr}_2$ ;  
 б)  $\text{FeCl}_3$  i  $\text{NH}_4\text{OH}$ ;  $\text{NiSO}_4$  i  $\text{H}_2\text{S}$ ;  
 в)  $\text{Cd}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Cd}(\text{OH})_2$ ;
431. a)  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Ga}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ,  $\text{CrOH}_2\text{SO}_4$ ;  
 б)  $\text{CuCl}_2$  i  $\text{AgNO}_3$ ;  $\text{CuSO}_4$  i  $\text{H}_2\text{S}$ ;  
 в)  $\text{H}^+ + \text{NO}_2^- = \text{HNO}_2$ .
432. a)  $\text{HClO}_3$ ,  $\text{Cd}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{S}_3$ ,  $\text{Co}(\text{H}_2\text{AsO}_4)_2$ ,  $\text{CdOHNO}_3$ ;  
 б)  $\text{AgNO}_3$  i  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ;  $\text{H}_3\text{PO}_4$  i  $\text{NaOH}$ ;

- в)  $\text{HSO}_3^- + \text{H}^+ = \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2$ .
433. а)  $\text{HVO}_3$ ,  $\text{Pb}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ti}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ ,  $(\text{CaOH})_2\text{SO}_4$ ;  
 б)  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$  і  $\text{Na}_2\text{S}$ ;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  і  $\text{KOH}$ ;  
 в)  $\text{Ag}^+ + \text{Cl}^- = \text{AgCl}$ .
434. а)  $\text{HClO}$ ,  $\text{Ti}(\text{OH})_3$ ,  $\text{NiSO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{FeOHC1}_2$ ;  
 б)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  і  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{AgNO}_3$  і  $\text{KI}$ ;  
 в)  $\text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-} = \text{BaSO}_4$ .
435. а)  $\text{H}_3\text{AsO}_4$ ,  $\text{Sn}(\text{OH})_4$ ,  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{HS})_2$ ,  $\text{Cr}(\text{OH})_2\text{NO}_3$ ;  
 б)  $\text{ZnS}$  і  $\text{HCl}$ ;  $\text{Mn}(\text{OH})_2$  і  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  
 в)  $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ = \text{CH}_3\text{COOH}$ .
436. а)  $\text{HF}$ ,  $\text{CsOH}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{CaOHNO}_2$ ;  
 б)  $\text{MnSO}_4$  і  $\text{KOH}$ ;  $\text{Pb}(\text{OH})_2$  і  $\text{NaOH}$ ;  
 в)  $\text{Be}(\text{OH})_2 + 2\text{OH}^- = \text{BeO}^{2-} + 2\text{H}_2\text{O}$ .
437. а)  $\text{HMnO}_4$ ,  $\text{RbOH}$ ,  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ ,  $\text{NaHSiO}_3$ ,  $(\text{CuOH})_2\text{SO}_3$ ;  
 б)  $\text{CrCl}_3$  і  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ ;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  і  $\text{KOH}$ ;  
 в)  $\text{HCO}_3^- + \text{H}^+ = \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ;
438. а)  $\text{H}_3\text{VO}_4$ ,  $\text{Co}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{Cr}(\text{HS})_3$ ,  $\text{CdOHNO}_3$ ;  
 б)  $\text{MnCl}_2$  і  $\text{Na}_2\text{S}$ ;  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  і  $\text{HNO}_3$ ;  
 в)  $\text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{S} = \text{ZnS} + 2\text{H}^+$ .
439. а)  $\text{H}_2\text{MnO}_4$ ,  $\text{Cu}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{Mg}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CrOHSO}_4$ ;  
 б)  $\text{TiCl}_3$  і  $\text{KOH}$ ;  $\text{MnS}$  і  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  
 в)  $2\text{Bi}^{3+} + 3\text{H}_2\text{S} = \text{Bi}_2\text{S}_3 + 6\text{H}^+$ .
440. а)  $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Cr}(\text{HSO}_3)_3$ ,  $(\text{CaOH})_2\text{S}$ ;  
 б)  $\text{MgCO}_3$  і  $\text{HNO}_3$ ;  $\text{CuSO}_4$  і  $\text{H}_2\text{S}$ ;  
 в)  $\text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-} = \text{CaCO}_3$ .

## Тема 10 ГІДРОЛІЗ СОЛЕЙ

### 10.1 Основні поняття

**Гідроліз** - це обмінна реакція взаємодії солі з водою, яка супроводжується зміною рН розчину. При гідролізі між відповідним іоном солі і молекулою води виникає взаємодія, в результаті якої в розчині солі утворюється слабкий електроліт і з'являються вільні йони  $H^+$  або  $OH^-$ , які змінюють рН середовища.

Розрізняють **оборотний і необоротний** гідроліз солей.

#### 10.1.1 Правила складання рівнянь гідролізу солей

1. Гідроліз солі, утвореної **сильною основою і слабкою кислотою** (гідроліз по аніону):

1) записуємо дисоціацію солі	$K_2SO_3 \leftrightarrow 2K^+ + SO_3^{2-}$
2) записуємо скорочене йонне рівняння гідролізу по 1-ому ступеню	оскільки $SO_3^{2-}$ - аніон слабкої кислоти, то він приєднує з води катіон $H^+$ $SO_3^{2-} + H_2O \leftrightarrow OH^- + HSO_3^-$
3) записуємо повне йонне рівняння	приписуємо в ліву і праву частини отриманого скороченого рівняння йони протилежного знаку $2K^+ + SO_3^{2-} + H_2O \leftrightarrow K^+ + OH^- + K^+ + HSO_3^-$
4) записуємо повне рівняння гідролізу в молекулярній формі	об'єднуємо йони протилежних знаків в молекули: $K_2SO_3 + H_2O \leftrightarrow KOH + KHSO_3, pH > 7$ Розчин має слаболужне середовище, реакція протікає <u>оборотно</u> , гідроліз по <u>другому ступеню протікає в незначній мірі</u> .
5) записуємо скорочене йонне рівняння гідролізу по 2-ому ступеню, використовуючи ті ж правила	$HSO_3^- + H_2O \leftrightarrow OH^- + H_2SO_3$ $K^+ + HSO_3^- + H_2O \leftrightarrow K^+ + OH^- + H_2SO_3$ $KHSO_3 + H_2O \leftrightarrow KOH + H_2SO_3, pH > 7$

2. Гідроліз солі, утвореної слабкою основою і сильною кислотою (гідроліз по катіону):

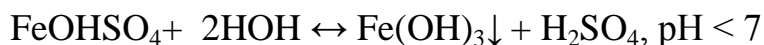
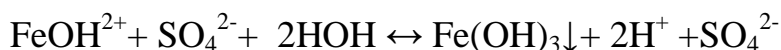
рівняння дисоціації солі :  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \leftrightarrow 2\text{Fe}^{3+} + 3\text{SO}_4^{2-}$

1-ий ступінь :  $2\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow 2\text{FeOH}^{2+} + 2\text{H}^+$

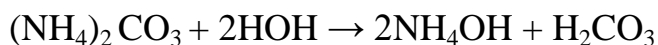
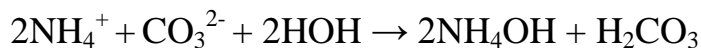


Розчин утворює слабокисле середовище, реакція протікає оборотно, гідроліз по другому ступеню протікає в незначній мірі.

2-ий ступінь :  $\text{FeOH}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 2\text{H}^+$



3. Гідроліз солі, утвореної слабкою основою і слабкою кислотою (гідроліз по катіону і аніону):



середовище приблизно нейтральне,  $\text{pH} \sim 7$ .

У цьому випадку характер середовища залежить від співвідношення констант дисоціації продуктів гідролізу - слабкої кислоти і слабкої основи.

Гідроліз деяких солей протікає практично повністю (необоротно), якщо обидва продукти реакції є слабкими електролітами та виходять із сфери реакції:



4. Сіль сильної кислоти і сильної основи не піддається гідролізу і розчин - нейтральний.

### ***10.1.2 Зміщення рівноваги в розчинах солей при їх гідролізі***

Оскільки гідроліз - оборотний процес, реакцію гідролізу можна змістити в прямому або зворотному напрямі за допомогою зміни умов процесу:

<b>Чинники, які підсилюють гідроліз</b>	а) підвищення температури розчину; б) збільшення розбавлення розчину водою, тобто зменшення концентрації солі; в) зв'язування йонів гідрогена $H^+$ або гідроксиду $OH^-$ , що утворюються при гідролізі.
<b>Чинники, які пригнічують гідроліз</b>	а) зниження температури розчину; б) збільшення концентрації солі; в) додавання до розчину солі йонів гідрогену $H^+$ (у складі сильної кислоти), або гідроксиду $OH^-$ , що утворюються при гідролізі.
<b>Ступінь гідролізу, <math>\alpha</math></b>	показує, яка частина від загальної кількості молекул солі в розчині піддається гідролізу: $\alpha = (n/N) \times 100\%$ де $n$ - кількість гідролізованих молекул, $N$ - загальна кількість молекул в цьому розчині. Ступінь гідролізу залежить від температури, концентрації розчину і природи розчиненої речовини. Ступінь гідролізу солі <b>тим більший, чим слабкіша</b> кислота або основа, що утворили цю сіль.

**Ряди аніонів і катіонів, що відповідають зменшенню сили кислот і основ, які вони утворюють (ряд А.В.Метельського)**

Аніони	Катіони
$F^- > NO_2^- > CH_3COO^- > HCO_3^- > HS^- >$	$Cd^{2+} > Mg^{2+} > Mn^{2+} > Fe^{2+} > Co^{2+} > Ni^{2+} >$
$SO_3^{2-} > HPO_4^{2-} > CO_3^{2-} > S^{2-} > SiO_3^{2-}$	$Cu^{2+} > Pb^{2+} > Zn^{2+} > Al^{3+} > Cr^{2+} > Fe^{3+}$

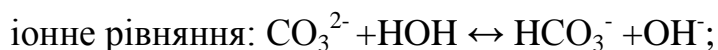
Чим правіше в цих рядах розташований йон, тим з більшою силою йде гідроліз утвореної ним солі, тобто його основа або кислота слабша, ніж у тих, що стоять зліва від нього. Особливо сильно йде гідроліз солей, утворених одночасно слабкою основою і кислотою.



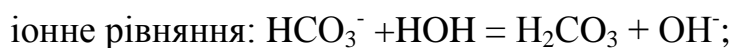
## 10.2 Приклади розв'язування задач

**Приклад 1.** Напишіть молекулярні та іонні рівняння гідролізу  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

*Розв'язання.* Ця сіль утворена сильною основою та слабкою кислотою і гідролізує по аніону слабкої кислоти  $\text{CO}_3^{2-}$  в 2 ступеня. Перший ступінь гідролізу іде в звичайних умовах:



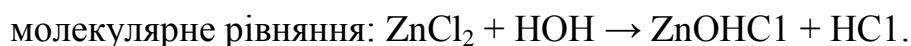
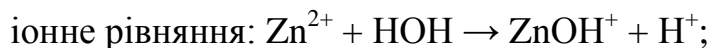
При сильному розведенні або нагріванні протікає другий ступінь гідролізу:



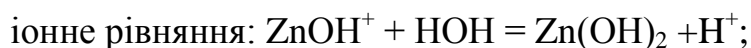
pH розчину більше 7, тобто утворюється лужне середовище.

**Приклад 2.** Напишіть молекулярні та іонні рівняння гідролізу  $\text{ZnCl}_2$ .

*Розв'язання.* Ця сіль утворена слабкою основою та сильною кислотою, тому гідролізує по катіону слабкої основи  $\text{Zn}^{2+}$  в 2 ступеня. Перший ступінь гідролізу іде в звичайних умовах:



Другий ступінь гідролізу протікає при сильному розведенні або нагріванні:



Внаслідок гідролізу утворюється кисле середовище (pH < 7).

**Приклад 3.** Напишіть молекулярні та іонні рівняння гідролізу солі  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ .

**Розв'язання.** Ця сіль утворена слабкою основою та слабкою кислотою, тому гідролізує по аніону слабкої кислоти  $\text{CH}_3\text{COO}^-$  і катіону слабкої основи  $\text{NH}_4^+$ :



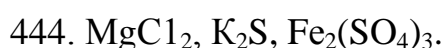
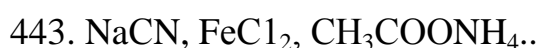
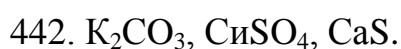
Реакція середовища (кисла, лужна, нейтральна) залежить від співвідношення ступенів та констант дисоціації кислоти та основи.

### 10.3 Контрольні питання

1. Гідроліз як результат поляризаційної взаємодії іонів солі з їх гідратними оболонками. Ступінчастий гідроліз; рН розчинів різних солей.
2. Випадки гідролізу:
  - а) гідроліз солей слабкої основи та сильної кислоти (гідроліз по катіону);
  - б) гідроліз солей слабкої кислоти та сильної основи (гідроліз по аніону);
  - в) гідроліз солей слабкої основи та слабкої кислоти (гідроліз по катіону та по аніону);
3. Ступінь гідролізу. Константа гідролізу.
4. Зміщення рівноваги в розчинах гідролізуючих солей, пригнічення та підсилення гідролізу.

### 10.4 Контрольні завдання

**Багатоваріантне завдання.** Для речовин наведених в наступних номерах задач, напишіть рівняння реакцій гідролізу в молекулярній та іонній формах, укажіть реакцію середовища та рН розчину:



445.  $\text{ZnSO}_4$ ,  $\text{NaClO}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ .
446.  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{KCl}$ .
447.  $\text{TiCl}_3$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Fe}$ .
448.  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Al}$ .
449.  $\text{CrCl}_3$ ,  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ .
450.  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{KClO}_2$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Co}$ .
451.  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{NaVO}_3$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Mn}$ .
452.  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{Cs}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{S}_3$ .
453.  $\text{K}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{CN}$ .
454.  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{NaCN}$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .
455.  $\text{Pb}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Cr}$ .
456.  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{K}_3\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ .
457.  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ni}$ .
458.  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ .
459.  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{BaS}$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Pb}$ .
460.  $\text{KNO}_2$ ,  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Al}_2\text{S}_3$ .
461.  $\text{NaHSO}_3$ ,  $\text{Ti}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$ .
462.  $\text{K}_2\text{GeO}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Mg}$ .
463.  $\text{Na}_3\text{AsO}_3$ ,  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SiO}_3$ .
464.  $\text{KCN}$ ,  $\text{CrCl}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_2$ .
465.  $\text{AlBr}_3$ ,  $\text{Cs}_2\text{SO}_3$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Fe}$ .
466.  $\text{CdSO}_4$ ,  $\text{NaNO}_2$ ,  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ .
467.  $\text{Co}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ,  $\text{Al}_2(\text{CO}_3)_3$ .
468.  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{K}_3\text{AsO}_3$ ,  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn}$ .
469.  $\text{RbNO}_2$ ,  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ ,  $\text{NH}_4\text{SCN}$ .
470.  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ,  $\text{FeCl}_2$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{SiO}_3$ .

# Тема 11 ОКИСНО - ВІДНОВНІ РЕАКЦІЇ

## 11.1 Основні поняття

Окисно-відновні реакції (ОВР) широко поширені в природі і використовуються в техніці. В основі життя лежать окисно-відновні реакції, що відбуваються при фотосинтезі, диханні, транспортуванні електронів. Вони забезпечують основну частину добування енергії людством за рахунок спалювання органічного палива. Добування металів також засноване на окисно-відновних реакціях.

Поняття	Фізична суть
<b>Окисно-відновні реакції</b>	- це реакції, що супроводжуються переміщенням електронів від одних атомів, молекул або іонів до інших, при цьому змінюються <b>ступені окиснення</b> атомів, що входять до складу реагуючих речовин.
<b>Відновлення</b>	- процес <b>приєднання електронів</b> атомом, молекулою або іоном. В процесі відновлення <b>окисник відновлюється</b> . Атоми, молекули або іони, що приєднують електрони є <b>окисниками</b> : $S^0 + 2e^- = S^{2-}; \quad Cl_2^0 + 2e^- = 2Cl^-; \quad N^{5+} + 3e^- = N^{2+}$
<b>Окиснення</b>	- процес <b>віддачі електронів</b> атомом, молекулою або іоном. В процесі окиснення <b>відновник окиснюється</b> . Атоми, молекули або іони, що віддають електрони, є <b>відновниками</b> : $Al^0 - 3e^- = Al^{3+}; \quad H_2^0 - 2e^- = 2H^+; \quad S^{4+} - 2e^- = S^{6+}$

### 11.1.1 Правила визначення ступеня окиснення елемента

**Ступінь окиснення (с.о.)** - кількість електронів, зміщених від одного атома до іншого; с.о. - умовна величина, яка показує заряд атома в сполучі за умови, що всі зв'язки - іонні.

Для обчислення с.о. елемента в сполучі виходять з таких положень:

<b>1. Ступінь окиснення атомів у простих речовинах дорівнює нулю:</b>			
метали: $\text{Na}^0, \text{Mg}^0, \text{Zn}^0$ ;		неметали: $\text{H}_2^0, \text{O}_2^0, \text{Cl}_2^0, \text{S}^0, \text{As}^0$	
<b>2. Постійний с.о. виявляють:</b>			
метали: <b>+1</b>	I А підгр.: $\text{Li}^+ - \text{Fr}^+$ і $\text{Ag}^+$	неметали: <b>+1</b>	$\text{H}^+$ (окрім $\text{K}^+\text{H}^-$ )
<b>+2</b>	II А підгр.: $\text{Be}^{2+} - \text{Ra}^{2+}$ також $\text{Zn}^{2+}; \text{Cd}^{2+}$	<b>-1</b>	$\text{F}^-$ $\text{Cl}^-, \text{Br}^-, \text{I}^-$ (окрім їхніх сполук з $\text{O}^{2-}$ : $\text{Cl}_2\text{O}^{-2}$ )
<b>+3</b>	$\text{B}^{3+}, \text{Al}^{3+}, \text{In}^{3+}$	<b>-2</b>	$\text{O}^{2-}$ (окрім $\text{O}^{+2}\text{F}_2$ і $\text{H}_2\text{O}^{-2}$ )
<b>3. Сума с.о. (або зарядів) всіх атомів у молекулі дорівнює нулю</b>			
$\text{N}^{+5}_2\text{O}^{-2}_5, \text{Mn}^{+2}\text{Cl}^-, \text{H}^+\text{Cl}^+\text{O}^{-2}, \text{K}^+_2\text{S}^{+4}\text{O}^{-2}_3$			
<b>4. Сума ступенів окиснення атомів в складному іоні дорівнює заряду іона</b>			
$(\text{N}^{-3}\text{H}^+_4)^+, (\text{S}^{+6}\text{O}^{-2}_4)^{-2}$			

## 11.2 Правила складання рівнянь ОВР методом електронного балансу

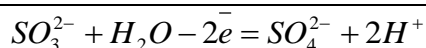
1. Записати схему хімічної реакції	$\text{Al} + \text{HCl} \rightarrow \text{AlCl}_3 + \text{H}_2$
2. Визначити елементи, атоми яких змінюють с.о. в ході реакції	$\text{Al}^0 + \text{H}^+\text{Cl} \rightarrow \text{Al}^{+3}\text{Cl}_3 + \text{H}^0_2$
3. Скласти <b>рівняння електронного балансу:</b>	
а) зрівняти <b>кількість елементів і зарядів</b> зліва і справа в рівняннях електронного балансу	$\text{Al}^0 - 3e^- \rightarrow \text{Al}^{+3}$ $2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}^0_2$
б) зрівняти <b>кількість електронів</b> , відданих відновником, і кількість електронів, приєднаних окисником, за допомогою коефіцієнтів	$\text{Al}^0 - 3e^- \rightarrow \text{Al}^{+3} \quad   \quad 2 \text{ (відновник)}$ $2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}^0_2 \quad   \quad 3 \text{ (окисник)}$
в) вказати <b>окисник і відновник</b>	
4. Перенести коефіцієнти в рівняння реакції. Записати остаточне рівняння	$2\text{Al} + 6\text{HCl} \rightarrow 2\text{AlCl}_3 + 3\text{H}_2$

### 11.3 Окисно-відновні властивості речовин

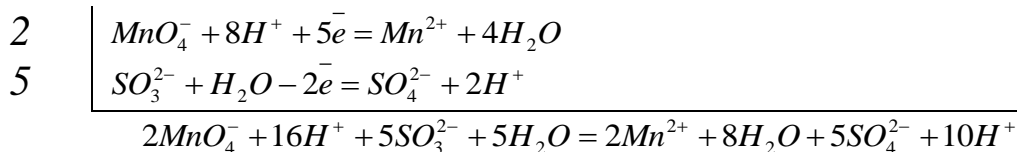
Відновники	Окисники
віддають електрони, с.о. підвищується↑	приймають електрони, с.о. знижується↓
<b>Метали</b> (активність зменшується згідно з електрохімічним рядом напруг металів →)	<b>Неметали</b> (активність збільшується зі збільшенням електронегативності: ...→Br <sub>2</sub> →Cl <sub>2</sub> →O <sub>2</sub> →F <sub>2</sub> )
Речовини, що містять елементи в <b>нижчому с.о.</b> : сульфур -2 (H <sub>2</sub> S і сульфіді), нітроген -3 (NH <sub>3</sub> і його похідні), галогеніди -1 (HJ, NaBr).	Речовини, що містять елементи у <b>вищому с.о.</b> : сульфур +6 (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ), нітроген +5 (HNO <sub>3</sub> ), манган +7 (перманганати), хром +6 (хромати і дихромати), плюмбум +4 (PbO <sub>2</sub> )
Речовини, що містять елементи у проміжних с.о., виявляють <b>окисно-відновну подвійність</b>	

### 11.4 Правила складання рівнянь ОВР йонно-електронним методом

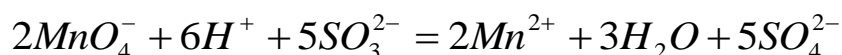
1. Записати схему хімічної реакції в молекулярній формі: $KMnO_4 + H_2SO_4 + Na_2SO_3 \rightarrow MnSO_4 + H_2O + Na_2SO_4$
2. Записати реакцію в йонно-молекулярній формі з урахуванням сили електролітів: $K^+ + MnO_4^- + 2H^+ + SO_4^{2-} + 2Na^+ + SO_3^{2-} \rightarrow Mn^{2+} + SO_4^{2-} + H_2O + 2Na^+ + SO_4^{2-}$
3. Визначити йони, які змінили свій склад або ступінь окиснення: $MnO_4^- \rightarrow Mn^{2+}$ $SO_3^{2-} \rightarrow SO_4^{2-}$
4. Записати півреакції окиснення і відновлення з урахуванням середовища: <b>а) в кислому середовищі:</b> на кожний <b>надлишковий кисень</b> приписуємо подвійну кількість катіонів H <sup>+</sup> , а в протилежний бік реакції – відповідну кількість молекул води H <sub>2</sub> O: $MnO_4^- + 8H^+ \rightarrow Mn^{2+} + 4H_2O$ $SO_3^{2-} + H_2O \rightarrow SO_4^{2-} + 2H^+$ <b>б) в лужному (або нейтральному) середовищі:</b> на кожний <b>кисень, що є в недоліку</b> приписуємо подвійну кількість аніонів OH <sup>-</sup> , а в протилежний бік реакції – відповідну кількість молекул води H <sub>2</sub> O
5. Зрівняти кількість зарядів зліва і справа в півреакціях за допомогою певної кількості електронів: $MnO_4^- + 8H^+ + 5e^- = Mn^{2+} + 4H_2O$



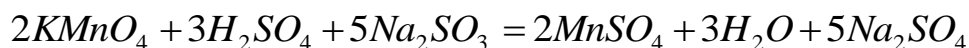
6. Зрівняти кількість відданих та прийнятих електронів за допомогою **коефіцієнтів** та записати сумарну **реакцію в йонній формі**:



7. Скоротити однакові іони в рівних кількостях зліва та справа в реакції :



8. Записати рівняння в молекулярній формі:



## 11.5 Приклади розв'язування задач

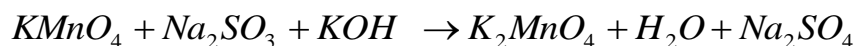
**Приклад 1.** Чи можуть здійснюватися окисно - відновні реакції між речовинами:  $HNO_2$  та  $KMnO_4$ ?

**Розв'язання.** Ступінь окислення азоту в  $HNO_2$  (+3), марганцю в  $KMnO_4$  - (+7). Оскільки азот знаходиться в проміжному ступені окислення, то він може бути і окислювачем, і відновником. Марганець в  $KMnO_4$  має вищу ступінь окислення, що означає наявність в нього тільки окислювальних властивостей. Це означає, що реакція між цими речовинами відбудеться.

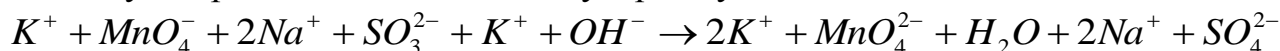
### Приклад 2. Лужне середовище.

Написати реакцію взаємодії розчину перманганату калію з сульфідом натрію в лужному середовищі.

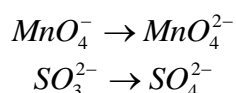
**Розв'язання.** 1. Складаємо схему реакції



2. Записуємо реакцію в йонно-молекулярному вигляді:

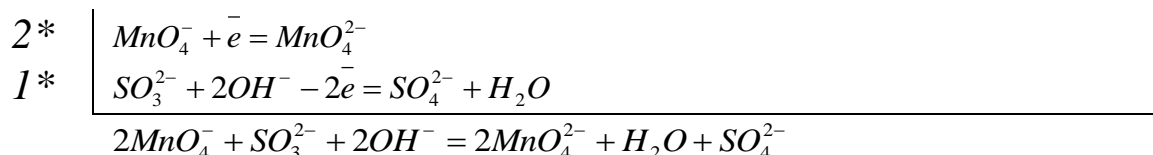


3. Знаходимо йони, що змінюють свій склад:

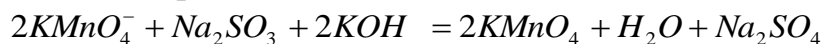


4. Записуємо дві півреакції з урахуванням середовища, визначаємо кількість прийнятих і відданих електронів та коефіцієнти:

- в лужному (або нейтральному) середовищі: на кожний **оксиген, що є в недоліку** приписуємо подвійну кількість аніонів  $\text{OH}^-$ , а в протилежний бік реакції – відповідну кількість молекул води  $\text{H}_2\text{O}$



5. Записуємо остаточне рівняння

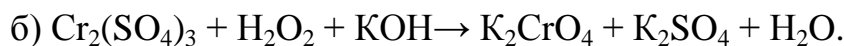
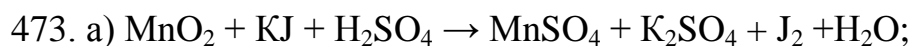
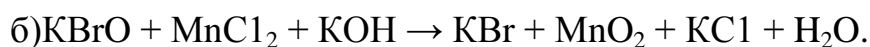
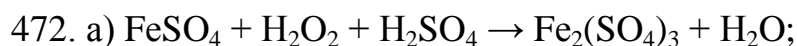
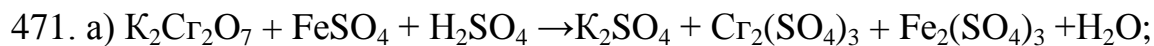


## 11.6 Контрольні питання

1. Які реакції називаються окисно-відновними?
2. Основні положення теорії окисно-відновних реакцій .
3. Як визначається ступінь окиснення елемента?
4. Як змінюються окисно-відновні властивості елементів по періодах і групах Періодичної системи елементів в залежності від їх ступеня окиснення?
5. Способи складання рівнянь ОВР:
  - а) метод електронного балансу;
  - б) іонно-електронний метод.

## 11.7 Контрольні завдання

**Багатоваріантне завдання.** Розставте коефіцієнти в схемах окисно - відновних реакцій, користуючись методом електронного балансу і йонно - електронним методом, укажіть окисник і відновник:





474. а)  $\text{Na}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{FeSO}_4 + \text{NaClO} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{NaCl} + \text{Na}_2\text{SO}_4$ .
475. а)  $\text{Sn} + \text{HNO}_{3(\text{p})} \rightarrow \text{Sn}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{Br}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_3 + \text{NaBr}$ .
476. а)  $\text{KJ} + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{J}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{CrCl}_3 + \text{Br}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KCl} + \text{KBr} + \text{H}_2\text{O}$ .
477. а)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{NaNO}_2 + \text{Cl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaNO}_3 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ .
478. а)  $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KBiO}_3 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ .
479. а)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{S} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{Cl}_2 + \text{NaOH} \xrightarrow{\text{на холоді}} \text{NaClO} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ .
480. а)  $\text{MnO}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{K}_2\text{SnO}_2 + \text{Br}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{SnO}_3 + \text{KBr} + \text{H}_2\text{O}$ .
481. а)  $\text{KClO}_3 + \text{KJ} + \text{H}_2\text{SO}_{4(\text{k})} \rightarrow \text{J}_2 + \text{KCl} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{Zn} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_4[\text{Zn}(\text{OH})_6] + \text{H}_2$ .
482. а)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{SnSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Sn}(\text{SO}_4)_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{NaOH} + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{нагрів}} \text{NaClO}_3 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ .
483. а)  $\text{Fe} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{MnSO}_4 + \text{KClO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{KCl} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
484. а)  $\text{Mg} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MgSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{MnCl}_2 + \text{KBrO} + \text{KOH} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{KCl} + \text{KBr} + \text{H}_2\text{O}$ .
485. а)  $\text{NaBr} + \text{NaBrO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Br}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{KClO}_3 + \text{MnO}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ .
486. а)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{FeO} + \text{KClO}_3 + \text{KOH} \xrightarrow{\text{сплав}} \text{KFeO}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ .
487. а)  $\text{KMnO}_4 + \text{KJ} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{J}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{CrCl}_3 + \text{NaClO} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ .
488. а)  $\text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;

- б)  $\text{KMnO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
489. а)  $\text{FeS} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_2 + \text{S} + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{NaNO}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .
490. а)  $\text{K}_2\text{S} + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{S} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{Na}_3\text{CrO}_3 + \text{PbO}_2 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{Na}_2\text{Pb}(\text{OH})_4$ ].
491. а)  $\text{Mg} + \text{HNO}_{3(\text{p})} \rightarrow \text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{PbO}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{K}_2[\text{Pb}(\text{OH})_4] + \text{KNO}_3$ .
492. а)  $\text{Au} + \text{HNO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{H}[\text{AuCl}_4] + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{MnO}_2 + \text{O}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
493. а)  $\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{NaCrO}_2 + \text{PbO}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{Na}_2\text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .
494. а)  $\text{PbS} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{S} + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{KCrO}_2 + \text{Br}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KBr} + \text{H}_2\text{O}$ .
495. а)  $\text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{K}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{J}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{KJ}$ .
496. а)  $\text{FeSO}_4 + \text{KClO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{K}_2\text{SO}_3 + \text{K}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{KOH} + \text{S}$ .
497. а)  $\text{Cu}_2\text{S} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{KNO}_2 + \text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KNO}_3 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ .
498. а)  $\text{FeSO}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{NaCrO}_2 + \text{NaOCl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ .
499. а)  $\text{PH}_3 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{KClO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{KCl}$ .
500. а)  $\text{Al} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{KMnO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
501. а)  $\text{NaOCl} + \text{KJ} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaCl} + \text{J}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{CrBr}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaBr} + \text{H}_2\text{O}$ .

## Тема 12 ГАЛЬВАНІЧНИЙ ЕЛЕМЕНТ

### 12.1 Основні поняття

№	Поняття	Фізична суть
1.	<b>Електродний потенціал, <math>E</math>, В</b>	- це різниця потенціалів між металом і розчином його солі, в який він занурений. Металеву пластину в водному розчині солі, кислоти або лугу називають <u>електродом</u> . <b>Величина електродного потенціалу характеризує активність металу у водних розчинах.</b>
2.	<b>Стандартний електродний потенціал, <math>E^0</math>, В</b>	- це різниця потенціалів між металом, зануреним у розчин його солі з концентрацією 1 моль/л, і стандартним водневим електродом (тиск $H_2$ 101,3 кПа, температура 298 К). Значення $E^0$ наведені в додатку 5.
3.	<b>Ряд стандартних електродних потенціалів (ряд напруг)</b>	всі метали в ряду розташовані в порядку збільшення стандартних електродних потенціалів; ряд служить для порівняльної характеристики властивостей атомів і іонів металів у розчині.
4.	<b>Рівняння Нернста</b>	виражає залежність електродного потенціалу від концентрації катіонів металу в розчині: $E_{Me^{n+}/Me} = E^0_{Me^{n+}/Me} + (0,059/n) \times \lg C_{Me^{n+}}$ де $C_{Me^{n+}}$ - концентрація (активність) катіонів металу в розчині, моль/л; $n$ - заряд катіона;
5.	<b>Гальванічний елемент (Г.Е.)</b>	це пристрій, який перетворює хімічну енергію ОВР в електричну. Гальванічні елементи складаються з <i>двох електродів</i> , електродні потенціали яких відрізняються за величиною або за знаком.
6.	<b>Електрорушійна сила (ЕРС)</b>	- максимально можлива напруга в ланцюзі Г.Е. $ЕРС = E_K - E_A, \quad \text{де } E_K > E_A$

### 12.2 Мідно-цинковий гальванічний елемент

Гальванічний елемент складається з двох металевих електродів, з'єднаних металевим провідником (зовнішній ланцюг) і занурених в розчини власних со-

лей (рис. 1). Розчини з'єднані електролітичним містком (або розділені напівпроникною перегородкою). Розчини і електролітичний місток є внутрішнім ланцюгом елемента.

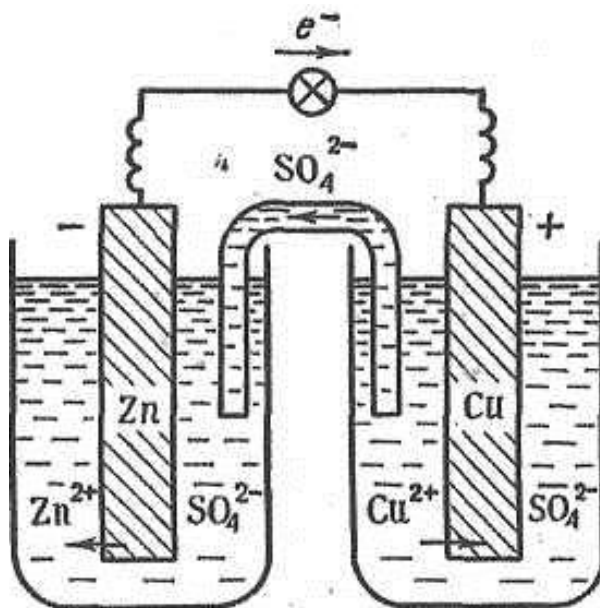
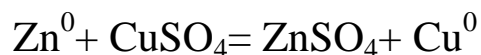
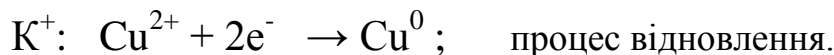
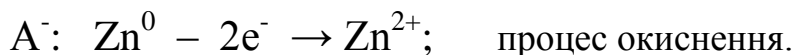


Рис.12. 1 Схема мідно-цинкового гальванічного елемента.

Схема мідно-цинкового гальванічного елемента може бути представлена наступним чином:



Потенціал цинкового електрода має більш негативне значення ( $E^0 = -0,76 \text{ В}$ ), ніж потенціал мідного електрода ( $E^0 = 0,34 \text{ В}$ ), тому по зовнішньому провіднику електрони будуть переходити від цинку до міді. Таким чином, процеси на електродах гальванічного елемента будуть мати вигляд:

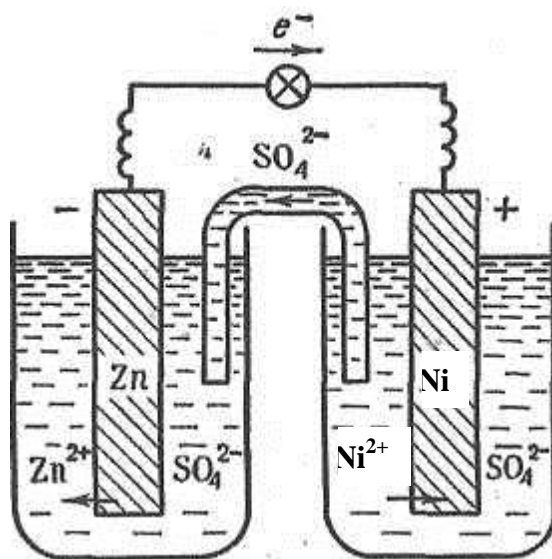


Концентрація катіонів цинку в розчині буде збільшуватися, а катіонів міді — зменшуватися, що викличе рух аніонів  $\text{SO}_4^{2-}$  з розчину  $\text{CuSO}_4$  в розчин  $\text{ZnSO}_4$ . Отже, по зовнішньому ланцюгу гальванічного елемента переміщують-

ся електрони , а по внутрішньому — йони. Цинковий електрод **поступово розчиняється** , а на мідному виділяється металічна мідь

### 12.3 Приклади розв'язування задач

**Приклад 1.** Складіть схему гальванічного елемента, який утворено з цинкової та нікелевої пластин, занурених в розчини своїх солей з концентрацією  $C_1 = 0,01$  моль/л;  $C_2 = 0,1$  моль/л, напишіть реакції та обчисліть електрорушійну силу (ЕРС) цього гальванічного елемента.



$C_1 = 0,01$  моль/л

$C_2 = 0,1$  моль/л

**Розв'язання.** За формулою Нернста

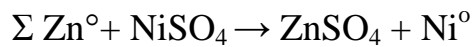
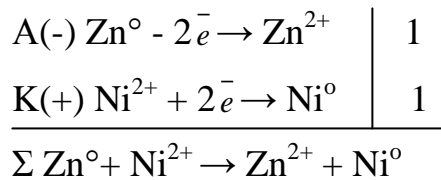
$$E_{Me/Me^{n+}} = E^0_{Me/Me^{n+}} + \frac{0,059}{n} \cdot \lg C_{Me^{n+}}$$

визначаємо електродні потенціали цинку та нікелю:

$$E_{Zn/Zn^{2+}} = E^0_{Zn/Zn^{2+}} + \frac{0,059}{2} \cdot \lg 10^{-2} = -0,76 + \frac{0,059}{2} (-2) = -0,819 \text{ В};$$

$$E_{Ni/Ni^{2+}} = E^0_{Ni/Ni^{2+}} + \frac{0,059}{2} \cdot \lg 10^{-1} = -0,25 + \frac{0,059}{2} (-1) = -0,279 \text{ В}.$$

На цинковому електроді протікають процес окиснення (анод), - він має менше значення електродного потенціалу. На нікелевому - процес відновлення (катод), - він має більше значення електродного потенціалу.



Скорочений запис схеми гальванічного елемента:

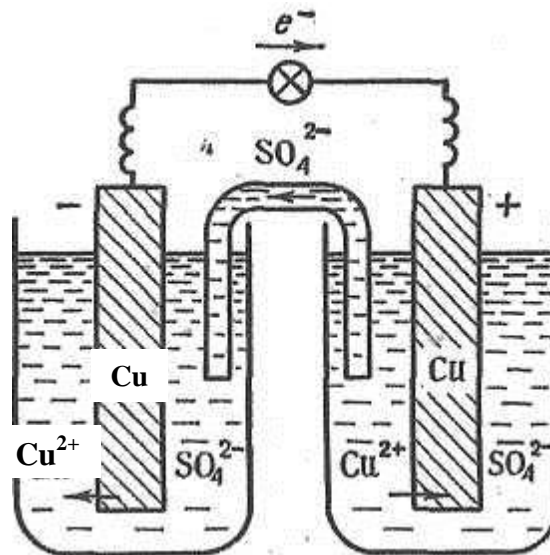


$$C_1 = 0,01; \quad C_2 = 0,1 \text{ моль/л}$$

$$E_{PC} = E_k - E_a;$$

$$E_{PC} = -0,279 + 0,819 = 0,54 \text{ В.}$$

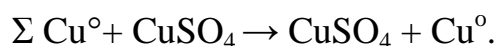
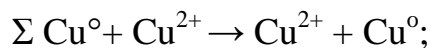
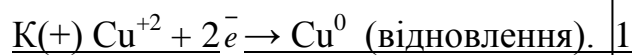
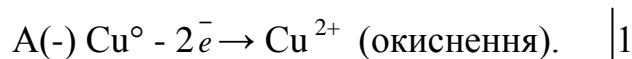
**Приклад 2.** Складіть схему гальванічного елемента, утвореного з двох мідних електродів, занурених в розчини  $\text{CuSO}_4$  з  $C_1 = 0,0001$  моль/л і  $C_2 = 1$  моль/л. Напишіть електродні реакції та обчисліть електрорушійну силу.



$$C_1 = 0,0001 \text{ моль/л} \quad C_2 = 1 \text{ моль/л.}$$

**Розв'язання.**  $E_{1\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}} = E^0_{\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}} + \frac{0,059}{n} \cdot \lg 10^{-4} = 0,34 + \frac{0,059}{2} = +0,291 \text{ В.}$

$$E_{2\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}} = E^0_{\text{Cu}/\text{Cu}^{2+}} = 0,34 \text{ В.}$$



$A(-) \text{ Cu} | \text{CuSO}_4 || \text{CuSO}_4 | \text{ Cu K}(+)$ .

$C_1 = 0,0001$ ;  $C_2 = 1$  моль/л

$EPC = E_k - E_a = 0,34 - 0,222 = 0,118$  В.

## 12.4 Контрольні питання

1. Як виникає електродний потенціал металу?
2. Які фактори впливають на величину електродного потенціалу металів?  
Формула Нернста.
3. Що таке гідрогенний електрод?
4. Що характеризує ряд стандартних електродних потенціалів?
5. Принцип роботи гальванічного елемента. Електрорушійна сила (ЕРС). Типи гальванічних елементів.

## 12.5 Контрольні завдання

**Багатоваріантне завдання №1.** Два різні метали занурені в водні розчини солей з концентрацією одного іону металу 0,001 моль/л, другого - 1 моль/л. Складіть схему гальванічного елемента, напишіть рівняння електродних процесів та сумарне рівняння, розрахуйте ЕРС гальванічного елемента, створеного із наступних металів:

502. Fe та Cu;      503. Zn та Mn;      504. Ni та Au.

505. Co та Cu;      506. Al та Fe;      507. Pb та Ag.

508. Cu та Au;      509. Al та Zn;      510. Cr та Pb.

**Багатоваріантне завдання №2.** Складіть схему гальванічного елемента, напишіть рівняння електродних процесів та сумарне рівняння, розрахуйте ЕРС гальванічного елемента, в якому один електрод занурений в розчин своєї солі з концентрацією 0,0001 моль/л, а другий такий же електрод - в розчин тієї ж солі з концентрацією 1 моль/л:

511. Електрод Mn;      512. Електрод Fe;      513. Електрод Zn

514. Електрод Mn;      515. Електрод Mg;      516. Електрод Cu.

517. Електрод Ni;      518. Електрод Co;      519. Електрод Cr.

520. Електрод Au.

**Багатоваріантне завдання №3.** Складіть схему гальванічного елементу, напишіть рівняння електродних процесів та сумарне рівняння, розрахуйте ЕРС, в якому анодом був би електрод, занурений в розчин своєї солі з означеною концентрацією. Катод підберіть самостійно (концентрація іонів металу біля катоду 0,01 моль/л):

521. Анод - стандартний водневий електрод.

522. Анод - Cu, концентрація іонів металу в розчині 0,01 моль/л.

523. Анод - Cr, концентрація іонів металу в розчині 1 моль/л.

524. Анод - Cr, концентрація іонів металу в розчині 0,001 моль/л.

525. Анод - Fe, концентрація іонів металу в розчині 0,01 моль/л.

526. Анод - Pb, концентрація іонів металу в розчині 1 моль/л.

527. Анод - Ni, концентрація іонів металу в розчині 0,00001 моль/л.

528. Анод - Co, концентрація іонів металу в розчині 1 моль/л.

529. Анод - Mn, концентрація іонів металу в розчині 0,0001 моль/л.

530. З яких солей:  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{CuSO}_4$ ,  $\text{AgNO}_3$ ,  $\text{ZnSO}_4$  - метал може бути витіснений нікелем? Відповідь мотивуйте. Напишіть молекулярні та електронні рівняння.

531. Збільшиться чи зменшиться маса цинкової пластини при взаємодії: а) з розчином  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ; б) з розчином  $\text{CuSO}_4$ ; в) з розчином  $\text{NiSO}_4$ ? Чому? Напишіть молекулярні та електронні рівняння.

532. Збільшиться, зменшиться, чи не зміниться маса кадмієвої пластини при взаємодії з розчинами а)  $\text{AgNO}_3$ ? б)  $\text{ZnSO}_4$ ? в)  $\text{NiSO}_4$ ? Чому? Напишіть молекулярні та електронні рівняння.

533. Три однакові пластини із нікелю порізно занурені в розчини солей нікелю. В першому випадку концентрація  $\text{Ni}^{2+}$  0,01 моль/л, в другому — 0,1 моль/л, в третьому - 1 моль/л. В якому випадку потенціал електроду буде менший? Відповідь підтвердіть розрахунками.



534. Розрахуйте потенціал водневого електроду, зануреного а) в чисту воду (рН = 7); в розчин з рН= 3; в) в розчин з рН = 10.
535. Розрахуйте рівноважний потенціал залізного електроду, коли концентрація іонів  $\text{Fe}^{2+}$  0,01 моль/л.
536. На скільки зміниться потенціал цинкового електроду, коли розчин солі цинку, в який він занурений, розбавити в 10 разів?
537. Потенціал водневого електроду в деякому розчині має значення -0,118 В. Розрахуйте концентрацію іонів  $\text{H}^+$  в цьому розчині.
538. При якій концентрації іонів  $\text{Zn}^{2+}$  (моль/л) потенціал цинкового електроду буде на 0,015 В менше його стандартного потенціалу?
539. Марганцевий електрод в розчині його солі має потенціал -1,23 В. Розрахуйте концентрацію іонів  $\text{Mn}^{2+}$  (моль/л).
540. Потенціал срібного електроду в розчині  $\text{AgNO}_3$  складає 95% від його стандартного електродного потенціалу. Яка концентрація іонів  $\text{Ag}^+$  в цьому розчині?
541. В розчин  $\text{AgNO}_3$  занурена мідна пластина вагою 9,547 г. Через деякий час пластина була витягнута з розчину, промита, висушена і зважена. Маса її стала 9,983 г. Скільки срібла виділилось на пластині? (Відповідь: 0,62г).
542. Залізна пластина була занурена в розчин  $\text{CuSO}_4$ . Коли пластина покрилась міддю, її витягли з розчину, обмили, висушили і зважили. Маса її збільшилась на 2 г. Скільки грамів міді виділилось на пластині?
543. В розчин  $\text{HgCl}_2$  занурена мідна пластина масою 50 г. По закінченню реакції пластину витягли, промили, висушили і зважили. Маса її стала 52,44 г. Скільки грамів  $\text{HgCl}_2$  було в розчині?
544. В 200 мл спільного розчину  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  та  $\text{AgNO}_3$  (порівну) з концентрацією кожного 0,1 моль/л, занурено залізо масою 12 г. Скільки кожного металу витіснено залізом? (Відповідь: Ag - 1,08; Pb - 2,07 г).

545. В 250 мл спільного розчину  $ZnSO_4$ ,  $MgSO_4$  та  $NiSO_4$ , з концентрацією іонів кожної солі 0,2 моль/л, занурено 0,8 г алюмінію. Які метали і в якій кількості витіснені алюмінієм?

546. В 200 мл 0,1М розчину  $CuSO_4$  занурена залізна пластина масою 10,112 г. Яка буде маса пластини після витіснення всієї міді з розчину? (Відповідь: 10,27 г).

## Тема 13 ЕЛЕКТРОЛІЗ

### 13.1 Основні поняття

№	Поняття	Фізична суть
1.	<b>Електроліз</b>	це окисно-відновний процес, який протікає під дією електричного струму на електродах, занурених в розчин або розплав електроліту.
2.	<b>Катодний процес</b>	– <u>відновлення катіонів металів або молекул <math>H_2O</math></u> . Відновлюватися на катоді будуть ті метали, потенціали яких є значно більшими, ніж потенціали розрядки води як окисника (-0,41 В) : а) <b>метали</b> , розташовані у ряду напруг <b>до алюмінію</b> [ $Li^+$ - $Al^{3+}$ ] не відновлюються, замість цього відбувається відновлення води : $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2\uparrow + 2OH^-$ <u>катіони цих металів залишаються в розчині;</u> б) <b>метали</b> , розташовані у ряду напруг <b>після алюмінію</b> [ $Mn^{2+}$ - $Au^{3+}$ ] відновлюються на катоді (ті, що знаходяться до водню, відновлюються одночасно з $H_2O$ ): $Me^{n+} + ne^- \rightarrow Me^0$

3.	<b>Анодний процес з інертним анодом</b>	<p>– <b>окиснення аніонів кислотних залишків або молекул <math>H_2O</math></b></p> <p>Якщо електрохімічна система, в якій здійснюється електроліз, містить різні <b>аніони</b>, то <b>на аноді</b> окислюватиметься в першу чергу той з них, потенціал якого є меншим, ніж потенціал розрядки води (1,23 В, рН=7), за винятком хлорид-іонів (1,26 В) :</p> <p>а) <b>безкисневі аніони</b> <math>S^{2-}</math>, <math>I^-</math>, <math>Br^-</math>, <math>Cl^-</math> (окрім <math>F^-</math>) <b>окиснюються на аноді</b> : <math>S^{2-} - 2e^- \rightarrow S^0</math></p> $2Br^- - 2e^- \rightarrow Br_2^0$ <p>б) <b>кисневмісні</b>: <math>SO_4^{2-}</math>, <math>SO_3^{2-}</math>, <math>NO_3^-</math>, <math>NO_2^-</math>, ..., <math>OH^-</math> и <math>F^-</math> <b>не окиснюються на аноді</b>, а замість цього відбувається окиснення води :</p> $2H_2O - 4e^- \rightarrow 4H^+ + O_2$ <p><u>У розчині залишаються аніони кислотних залишків.</u></p>
4.	<b>Анодний процес з активним анодом</b>	<p>- це <b>окиснення металу анода</b>.</p> <p>Аноди, виготовлені з якого-небудь металу (окрім Au і Pt), називають <b>активними</b>. У разі активного аноду при електролізі відбувається процес розчинення (окиснення) матеріалу анода : <math>(A)^+ : Me^0 - ne^- \rightarrow Me^{n+}</math>.</p>
5.	<b>Первинні процеси</b>	<p>- це окисно-відновні реакції, які <b>протікають на електродах</b> і приводять, як правило, до утворення електронейтральних молекул або атомів : <math>H_2^0</math>, <math>Cl_2</math>, <math>Me^0</math>.</p> <p>(К)- : <math>H_2^0</math> или <math>Me^0</math></p> <p>(А)<sup>+</sup>: <math>O_2</math> або <math>Г_2</math> (галогени)</p>
6.	<b>Вторинні процеси</b>	<p>- це обмінні процеси, які <b>протікають в розчині</b> в приелектродному просторі між частинками, що утворились в первинних процесах. При цьому <b>біля катоду</b> утворюються <b>католіти</b> (луги) <math>Me(OH)_n</math>, <b>біля аноду</b> – <b>аноліти</b> (кислоти) <math>H^+An^-</math>.</p>

### 13.2 Приклади розв'язування задач

**Приклад 1.** Скласти рівняння реакцій електролізу водного розчину NaCl.

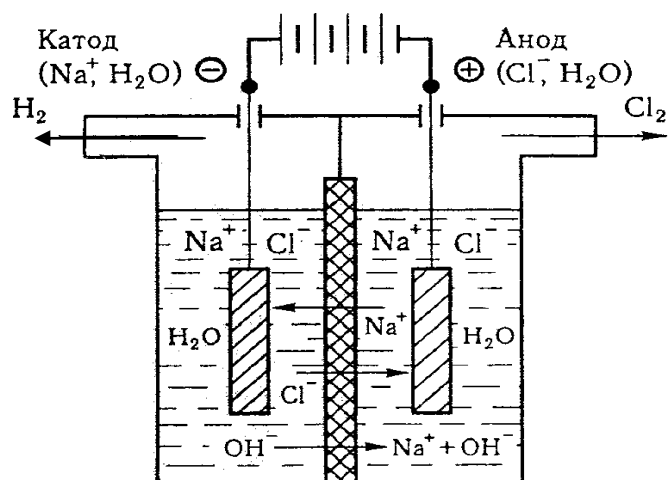
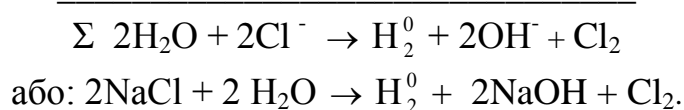
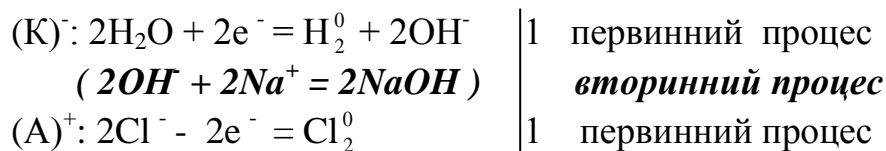


Рис.13. 1 Схема електролізера для електролізу водного розчину NaCl.

**Розв'язання.** У водному розчині сіль дисоціює:  $\text{NaCl} \leftrightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$

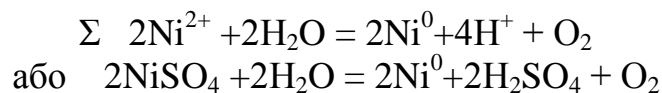
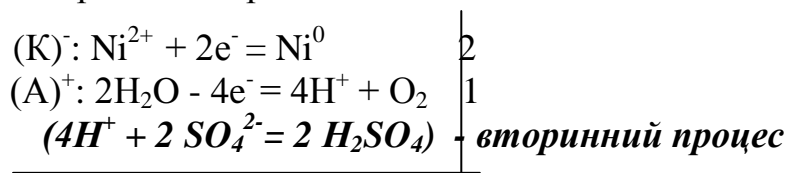
На електродах протікають реакції:



**Приклад 2.** Скласти рівняння реакцій електролізу водного розчину  $\text{NiSO}_4$ .

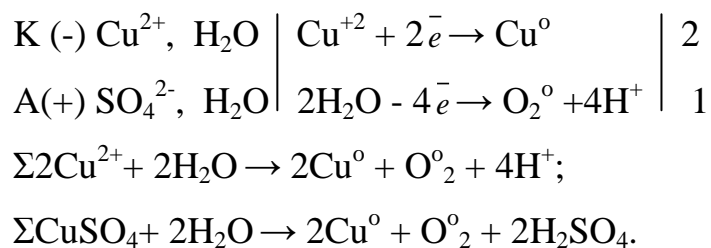
У водному розчині сіль дисоціює:  $\text{NiSO}_4 \leftrightarrow \text{Ni}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$

**Розв'язання.** На електродах протікають реакції:



**Приклад 3.** Яка маса міді виділиться на катоді при електролізі розчину  $\text{CuSO}_4$  на протязі 1 години при силі струму 5 А?

**Розв'язання.**  $\text{CuSO}_4 \leftrightarrow \text{Cu}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$



За законом Фарадея  $m = \frac{E \cdot J \cdot \tau}{F}$ .

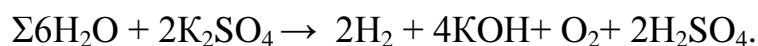
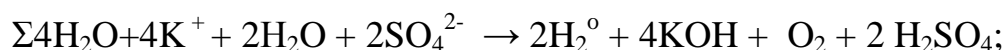
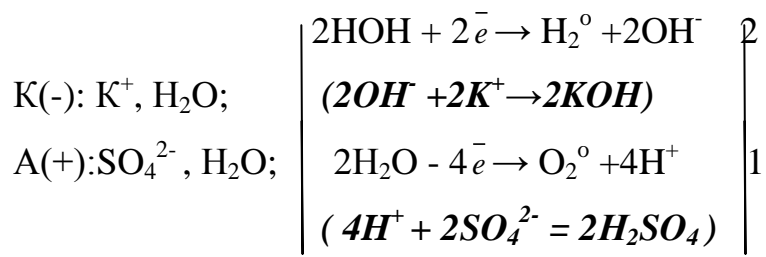
Еквівалентна маса міді дорівнює  $63,54 : 2 = 31,77$  г/моль.

Підставляємо у формулу це значення і розраховуємо масу міді:

$$m = \frac{31,77 \cdot 5 \cdot 3600}{96500} = 4,74 \text{ г.}$$

**Приклад 4.** Яка маса КОН утворюється біля катоду при електролізі розчину  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , коли на аноді виділяється 11,2 л кисню (н. у.)?

**Розв'язання.**  $\text{K}_2\text{SO}_4 \leftrightarrow 2\text{K}^+ + \text{SO}_4^{2-}$



Еквівалентний об'єм кисню (н. у.) дорівнює  $22,4/4 = 5,6$  л. Тоді 11,2 л вміщують дві еквівалентні маси кисню. Стільки ж еквівалентних мас КОН утворюються біля катоду (за законом Фарадея), або  $56,11 \cdot 2 = 112,22$  г; 56,11 г/моль - це мольна та еквівалентна маса КОН.

## 5.5 Контрольні питання

1. Яке явище називають електролізом? Які процеси відбуваються при електролізі?
2. У якій послідовності розряджаються іони на електродах при електролізі (катодні та анодні процеси).
3. Первинні і вторинні процеси при електролізі.

4. Як впливає активний анод на процес електролізу?
5. Як визначити кількість речовини, що перетворюється на електродах, за законами електролізу?

### 13.4 Контрольні завдання

**Багатоваріантне завдання №1.** В наступних номерах задач напишіть електронні рівняння процесів, які відбуваються на електродах при електролізі розчину солі; вкажіть, де первинні та вторинні процеси:

547. а)  $\text{AgNO}_3$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{AgNO}_3$  - з срібним анодом.
548. а)  $\text{ZnCl}_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{ZnCl}_2$  - з нікелевим анодом.
549. а)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  - з цинковим анодом.
550. а)  $\text{SnCl}_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{SnCl}_2$  - з олов'яним анодом.
551. а)  $\text{NiSO}_4$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{NiSO}_4$  - з нікелевим анодом.
552. а)  $\text{ZnSO}_4$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{ZnSO}_4$  - з кадмієвим анодом.
553. а)  $\text{NiCl}_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{NiCl}_2$  - з цинковим анодом.
554. а)  $\text{MnCl}_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{MnCl}_2$  - з марганцевим анодом.
555. а)  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  - з кобальтовим анодом.
556. а)  $\text{CuCl}_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{CuCl}_2$  - з нікелевим анодом.
557. а)  $\text{MnSO}_4$  - з вугільними електродами;

- б)  $\text{MnSO}_4$  - з марганцевим анодом.
558. а)  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$  - з мідним анодом.
559. а)  $\text{CuCl}_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{CuCl}_2$  - з хромовим анодом.
560. а)  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$  - з цинковим анодом.
561. а)  $\text{CrCl}_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{CrCl}_2$  - з свинцевим анодом.
562. а)  $\text{FeSO}_4$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{FeSO}_4$  - з мідним анодом.
563. а)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$  - з свинцевим анодом.
564. а)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  - з олов'яним анодом.
565. а)  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  - з хромовим анодом.
566. а)  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$  - з мідним анодом.
567. а)  $\text{KCl}$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{KCl}$  - з нікелевим анодом.
568. а)  $\text{CaCl}_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{CaCl}_2$  - з цинковим анодом.
569. а)  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$  - з мідним анодом.
570. а)  $\text{Sn}(\text{NO}_3)_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{Sn}(\text{NO}_3)_2$  - з мідним анодом.
571. а)  $\text{BaCl}_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{BaCl}_2$  - з кобальтовим анодом.

572. а)  $\text{NaNO}_3$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{NaNO}_3$  - з кобальтовим анодом.
573. а)  $\text{AlCl}_3$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{AlCl}_3$  - з кадмієвим анодом.
574. а)  $\text{KJ}$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{KJ}$  - з мідним анодом.
575. а)  $\text{NiSO}_4$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{NiSO}_4$  - з свинцевим анодом.
576. а)  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$  - з кадмієвим анодом.
577. а)  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$  - з кобальтовим анодом.
578. а)  $\text{NaCl}$  - з вугільними електродами;  
б)  $\text{NaCl}$  - з кадмієвим анодом.
579. Які маси речовин виділяться на катоді і аноді при пропусканні через розчин  $\text{ZnSO}_4$  струму силою 5 А на протязі 30 хвилин?
580. Розрахуйте, скільки виділиться хлору в літрах (н. у.) при пропусканні через розчин  $\text{NiCl}_2$  струму силою 20 А протягом 5 секунд?
581. Розрахуйте маси речовин, які виділяться на катоді і аноді при пропусканні через розчин  $\text{CuCl}_2$  струму силою 8 А на протязі 5 годин.
582. Які речовини і в якій кількості виділяться на катоді і аноді при пропусканні через розчин  $\text{KJ}$  струму силою 4 А на протязі 10 годин?
583. Електроліз розчину  $\text{CdSO}_4$  проводили протягом 8 годин при силі струму 4 А. Розрахуйте маси речовин, які виділяться на катоді і аноді?
584. Розрахуйте, яку кількість струму потрібно пропустити через розчин  $\text{SnSO}_4$ , щоб отримати 1 кг олова.
585. На скільки зменшиться маса мідного аноду при пропусканні через електроліт струму 10 А протягом 3 годин?



586. Які об'єми газів виділятимуться на електродах (н. у.), коли електроліз розчину  $KCl$  проводити протягом 1 години при силі струму 10 А?
587. Розрахуйте, які об'єми газів (н. у.) виділятимуться на електродах при пропусканні через розчин  $MgCl_2$  струму силою 5 А протягом 3 годин?
588. На скільки зменшаться маса цинкового аноду, коли електроліз розчину  $ZnSO_4$  проводити протягом 20 годин при силі струму 5А?
589. Електроліз розчину  $K_2SO_4$  проводили при силі струму 5 А протягом 3 годин. Яка маса води при цьому розклалася і які об'єми газів (н. у.) виділяються на аноді і катоді?
590. 1 Ірп електролізі солі деякого металу протягом 1,5 годин при силі струму 1,8 А на катоді виділяється 1,75 г цього металу. Розрахуйте еквівалентну масу цього металу?
591. При електролізі розчину  $CuSO_4$  на аноді виділяється  $168\text{ см}^3$  газу (н. у.). Розрахуйте, яка маса міді виділиться на катоді?
592. Електроліз розчину  $Na_2SO_4$ , проводили протягом 5 годин при силі струму 7А. Яка маса води при цьому розклалась і чому рівнятимуться об'єми газів (н. у.), які виділяються на катоді і аноді?
593. Електроліз розчину  $AgNO_3$  проводили при силі струму 2А на протязі 4 годин. Яка маса срібла виділиться на катоді і який об'єм газу (н. у.) на аноді?
594. Електроліз розчину сульфату деякого металу проводили протягом 45 хвилин при силі струму 6А. На катоді виділяється 5,49 г металу. Розрахуйте еквівалентну масу металу?
595. На скільки зменшиться маса срібного аноду, коли електроліз розчину  $AgNO_3$  проводили при силі струму 2А протягом 28 хвилин 20 секунд?
596. Електроліз розчину  $ZnSO_4$  проводили на протязі 5 годин. На аноді виділяється 6 л кисню (н. у.). Розрахуйте силу струму.
597. Електроліз розчину  $CuSO_4$  проводили з мідним анодом протягом 4 годин при силі струму 50А. При цьому виділилось 224 г міді. Розрахуйте вихід по струму (відношення маси виділеної речовини до теоретичної).

598. Електроліз розчину NaI проводили при силі струму 6А протягом 2,5 годин. Розрахуйте маси речовин, які виділились на катоді і аноді?
599. Електроліз розчину AgNO<sub>3</sub> проводили з срібним анодом. Маса його зменшилась на 5,4 г. Визначте витрату кількості струму при цьому?
600. Електроліз розчину CuSO<sub>4</sub> проводили протягом 15 хвилин при силі струму 2,5 А. Виділилось 0,72 г міді. Розрахуйте вихід по струму (відношення маси виділеної речовини до теоретичної).
601. Скільки літрів (н.у.) газу виділиться на аноді і катоді при електролізі розчину КОН, коли електроліз проводити на протязі 30 хвилин при силі струму 0,5 А.
602. Які маси речовин виділяться на катоді і аноді, коли електроліз розчину KBr проводити протягом 1 години 35 хвилин при силі струму 1,5 А.
603. Визначте масу міді, яка виділиться на катоді при електролізі розчину CuCl<sub>2</sub> коли на аноді виділяється 560 мл газу (н. у.).
604. При електролізі солі трьохвалентного металу при силі струму 1,5А протягом 30 хвилин на катоді виділяється 1,071 г металу. Визначте атомну масу металу.
605. Розрахуйте масу речовини, яка виділяється на катоді при електролізі розчину Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, коли на аноді виділяється 1,12 л газу (н. у.). Яка маса H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> утворюється біля аноду?
606. При електролізі розчину солі кадмію витрачається 3434 Кл електрики, при цьому виділяється 2 г кадмію. Чому рівняється еквівалентна маса кадмію?
607. Чому рівняється сила струму, коли протягом 1 години 15 хвилин 20 секунд при електролізі розчину КОН на аноді виділяється 6,4 г газу? Скільки л газу (н. у.) виділиться при цьому на катоді?
608. При електролізі розчинів MgSO<sub>4</sub> та ZnCl<sub>2</sub>, з'єднаних послідовно з джерелом струму, на одному з катодів виділяється 0,25 г водню. Які маси речовин виділяться на другому катоді і анодах?

## Тема 14 КОРОЗІЯ МЕТАЛІВ

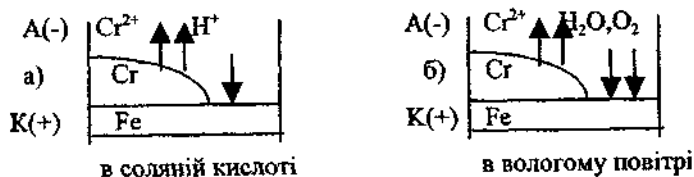
### 14.1 Основні поняття

1.	<b>Електрохімічна корозія (ЕХК)</b>	- це <b>самовільне руйнування металів</b> в середовищі електrolітів, при якому протікають два незалежних, але сполучених процеси: <b>анодний</b> - окиснення металу, <b>катодний</b> – відновлення окисників. Електрохімічна корозія на неоднорідній (гетерогенній) поверхні металу аналогічна роботі <b>гальванічного елемента</b> .
2.	<b>Причина ЕХК</b>	- термодинамічна нестійкість металу в середовищі електrolіту.
3.	<b>Анодний процес</b>	<b>Анод є донором електронів</b> і на його поверхні протікає реакція окиснення металу: $\text{Me}^0 - n\text{e}^- = \text{Me}^{n+}$ Йони металу, що утворюються на анодних ділянках металу, переходять в розчин у вигляді гідратованих (або сольватованих) катіонів $[\text{Me} \cdot n\text{H}_2\text{O}]^{n+}$ , а електрони переміщуються по металу до катодної ділянки його поверхні і поляризують (заряджають) її.
4.	<b>Поляризація</b>	- це зміна потенціалів електродних реакцій в результаті протікання корозійного струму. Значення $E_A$ під час корозії зростає, а значення $E_K$ – зменшується.
5.	<b>Катодний процес</b>	<b>Катод є провідником для електронів</b> . На його поверхні відбувається відновлення окисників ( <b>деполяризаторів</b> ), які є акцепторами електронів. Основними окисниками є: а) <u>катіони гідрогену</u> : $2\text{H}^+ + 2\text{e}^- = \text{H}_2(\text{г})$ (гідрогенна деполяризація $E(2\text{H}^+/\text{H}_2) = - 0,059 \text{ рН}$ ); б) <u>молекули кисню</u> : $\text{O}_2(\text{г}) + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$ (кисленна деполяризація $E(\text{O}_2/\text{OH}^-) = 1,23 - 0,059 \text{ рН}$ ).

### 14.2 Приклади розв'язування задач

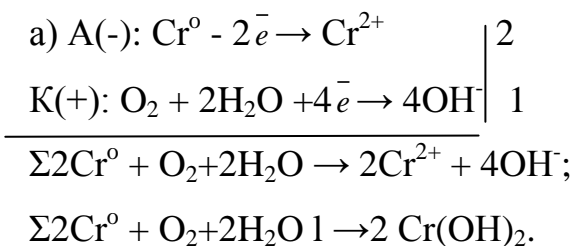
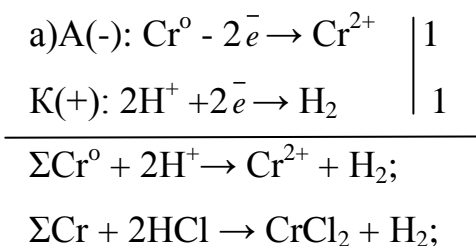
**Приклад 1.** Залізний предмет покритий хромом. Яке це покриття - анодне чи катодне? Складіть рівняння анодного і катодного процесів корозії при порушенні цього покриття в вологому повітрі та в хлоридній кислоті.

### Розв'язання.



$$E^{\circ}_{\text{Cr}/\text{Cr}^{2+}} = -0,74\text{В}; \quad E^{\circ}_{\text{Fe}/\text{Fe}^{2+}} = -0,44\text{В}$$

При контакті виникає гальванічний елемент. Більш активний метал - хром. Це - анод:



Хромове покриття - анодне покриття.

### 14.3 Контрольні питання

1. В якому середовищі протікає електрохімічна корозія металів?
2. Що є причиною корозії металів?
3. Чому процес корозії є самочинним?
4. Які процеси протікають при електрохімічній корозії металів?
5. Що є причиною процесу поляризації при корозії? Які чинники впливають на цей процес?
6. Якими способами можна захистити метали від електрохімічної корозії?

### 14.4 Контрольні завдання

**Багатоваріантне завдання №1.** З'єднано два метали. Який з них буде корозувати? Напишіть рівняння хімічних процесів при корозії:

609. Метали Al–Fe в середовищі HCl.
610. Метали Fe – Cd в середовищі H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
611. Метали Zn –Cu в середовищі HCl.
612. Метали Al – Zn в середовищі H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
613. Метали Cu – Al в середовищі HCl.
614. Метали Fe – Pb в середовищі H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
615. Метали Ni – Cu в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.
616. Метали Fe – Sn в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.
617. Метали Sn - Pb в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.
618. Метали Al – Fe в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.
619. Метали Fe – Cd в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.
620. Метали Zn – Cu в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.
621. Метали Al – Zn в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.
622. Метали Cu – Al в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.
623. Метали Fe– Pb в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.
624. Метали Ni – Co в середовищі HCl.
625. Метали Fe – Sn в середовищі H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
626. Метали Zn – Pb в середовищі HCl.
627. Метали Cr – Ag в середовищі HCl.
628. Метали Fe – Ni в середовищі H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
629. Метали Zn – Ni в середовищі HCl.
630. Метали Al – Mn в середовищі HCl.
631. Метали Cd – Ag в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.
632. Метали Fe – Ni в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.
633. Метали Zn – Ni в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.
634. Метали Al – Mn в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.
635. Метали Zn – Mn в середовищі HCl.
636. Метали Cr - Mn в середовищі H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>.

637. Метали Cr – Cu в середовищі  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ .
638. Метали Co – Cu в середовищі HCl.
639. Як протікає атмосферна корозія заліза покритого оловом та міді теж покритої оловом? Напишіть електронні рівняння анодного і катодного процесів.
640. Залізний прилад покрили нікелем. Яке це покриття: анодне чи катодне? Чому? Напишіть електронні рівняння анодного та катодного процесів корозії цього приладу при порушенні покриття в вологому повітрі та в розчині HCl.
641. В розчині HCl знаходиться цинкова пластина та цинкова пластина покрита міддю. В якому разі процеси корозії цинку відбуваються інтенсивніше? Чому? Напишіть електронні рівняння цих процесів.
642. Чому хімічно чисте залізо стійкіше проти корозії, ніж технічне залізо? Напишіть електронні рівняння анодного та катодного процесів, які виникають при корозії в вологому повітрі та в кислому середовищі.
643. Залізний предмет покрили кадмієм. Яке це покриття: анодне чи катодне? Чому? Напишіть електронні рівняння анодного і катодного процесів корозії цього предмету при порушенні покриття у вологому повітрі та в кислому середовищі.
644. Залізний предмет покрили свинцем. Яке це покриття: анодне чи катодне? Чому? Напишіть електронні рівняння анодного та катодного процесів корозії цього предмету при порушенні покриття у вологому повітрі та в кислому середовищі.
645. Дві залізні пластинки частково покриті одна оловом, друга - міддю знаходяться у вологому повітрі. На якій з них швидше виникає іржа? Чому? Напишіть електронні рівняння анодного та катодного процесів корозії цих пластинок.

646. Який метал краще вибрати для протекторного захисту від корозії свинцевої оболонки кабелю: цинк, магній чи хром? Чому? Напишіть електронні рівняння анодного та катодного процесів корозії в вологому повітрі.
647. Коли в розведену сірчану кислоту занурити пластинку із чистого заліза, то виділення водню йде повільно. Але коли торкнутися цинковою паличкою до заліза, то на останній починається бурхливе виділення водню. Чому? Який метал розчиняється? Напишіть електронні рівняння анодного та катодного процесів.
648. Цинкову та залізну пластинки занурили в розчин  $\text{CuSO}_4$ . Напишіть електронні і іонно - молекулярні рівняння процесів, які відбуваються на пластинках. Які процеси будуть відбуватися на пластинках, коли зовнішні кінці їх з'єднати провідником?
649. В розчин електроліту, в якому присутній розчинений кисень, занурили цинкову пластину та цинкову пластину, частково покрити міддю. В якому разі процес корозії цинку протікає швидше? Напишіть електронні рівняння анодного та катодного процесів.
650. Як протікає корозія заліза, покритого цинком, та заліза, покритого оловом, при порушенні покриття в вологому повітрі? Напишіть електронні рівняння анодного та катодного процесів.
651. Коли пластину з чистого цинку змочити розведеною сірчаною кислотою, то починається виділення водню, яке з часом припиняється. Але, якщо торкнутись до цинку пластинкою з міді, на останній починається бурхливе виділення водню. Дайте цьому пояснення? Напишіть електронні рівняння анодного та катодного процесів.
652. Напишіть електронні рівняння анодного та катодного процесів з кисневою та водневою деполяризацією при корозії пари «магній-нікель». Які продукти корозії утворюються в першому та другому разі?

653. Напишіть електронні рівняння анодного та катодного процесів, які відбуваються при корозії заліза, покритого міддю в вологому повітрі та в кислому середовищі.



## Тема 15 НЕМЕТАЛИ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ.

### 15.1 Основні поняття

#### 15.1.1 Розташування неметалів у періодичній системі

Неметали знаходяться в кінці малих і великих періодів в головних підгрупах періодичної системи елементів Д. І. Менделєєва.

До них належать два **s- елементи** - гідроген  $H1s^1$  і гелій  $He1s^2$ . Гідроген розташований в  $IA$  і  $VII A$  підгрупах одночасно внаслідок того, що здатен як віддавати валентний  $e^-$  (відновні властивості), як лужний метал  $IA$  групи, так і приєднувати один  $e^-$  (окисні властивості), як галогени  $VII A$  групи. Решта неметалів (20 елементів) - **p-елементи**, вони знаходяться в  $IIIA - VIIIA$  підгрупах.

Період	Групи елементів					
	$IIIA$	$IV A$	$V A$	$VI A$	$VII A$	$VIII A$
<b>Валентні електрони</b>	$ns^2 np^1$	$ns^2 np^2$	$ns^2 np^3$	$ns^2 np^4$	$ns^2 np^5$	$ns^2 np^6$
<i>I</i>	-	-	-	-	${}_1H$	${}_2He$
<i>II</i>	${}_5B$	${}_6C$	${}_7N$	${}_8O$	${}_9F$	${}_{10}Ne$
<i>III</i>	-	${}_{14}Si$	${}_{15}P$	${}_{16}S$	${}_{17}Cl$	${}_{18}Ar$
<i>IV</i>	-	-	${}_{33}As$	${}_{34}Se$	${}_{35}Br$	${}_{36}Kr$
<i>V</i>	-	-	-	${}_{52}Te$	${}_{53}I$	${}_{54}Xe$
<i>VI</i>	-	-	-	-	${}_{85}At$	${}_{86}Rn$
<i>VII</i>	-	-	-	-	-	-
Форми вищих оксидів	$R_2O_3$	$RO_2$	$R_2O_5$	$RO_3$	$R_2O_7$	$RO_4$
Вищий позитивний ступінь окиснення	+3	+4	+5	+6	+7	+8
Форми летючих водневих сполук	-	$RH_4$	$RH_3$	$H_2R$	$HR$	-
Негативний ступінь окиснення	-	-4	-3	-2	-1	-

Характерною особливістю вільних атомів неметалів є їх **здатність приєднувати електрони** і проявляти при цьому негативний ступінь окиснення та утворювати, наприклад з гідрогеном, леткі водневі сполуки. Неметали здатні також **віддавати електрони** і проявляти позитивний ступінь окиснення та утворювати, наприклад з киснем, оксиди (див. таблицю 1).

Неметали мають такі загальні назви:

*VIII A* підгрупа - **інертні** (благородні) гази, їх молекули одноатомні;

*VII A* підгрупа - **галогени** (солетвірні), молекули двоатомні;

*VI A* підгрупа - **халькогени** (рудотвірні), молекули одно- і багатоатомні;

*VA* підгрупа - **пніктогени** (задушливі, названі за запахом водневих сполук) молекули одно- і багатоатомні;

*IVA* підгрупа – елементи не мають загальної назви, їх молекули одноатомні.

### **15.1.2 Загальні властивості неметалів**

#### **► Атомні радіуси**

*В періоді зліва направо* радіуси атомів незначно зменшуються внаслідок того, що кількість енергетичних рівнів однакова, але номер елемента і кількість зовнішніх електронів збільшується і електростатичне кулонівське тяжіння позитивно зарядженого ядра до валентних електронів посилюється.

*У групі зверху вниз* радіус атомів збільшується внаслідок того, що з ростом номера періоду збільшується кількість енергетичних рівнів, тому тяжіння валентних електронів до ядра слабшає. Кількість валентних електронів на зовнішньому рівні елементів у групі залишається постійною.

Найменший радіус з неметалів (за виключенням гідрогену) має атом фтору.

#### **► Окисні властивості**

Неметали мають значне число електронів на зовнішньому рівні, тому вони легко *приймають електрони (окисні властивості)*, прагнучи побудувати електронну структуру до октету електронів (до  $8 e^-$ ), тобто до структури благородного газу.

Неметали *виступають в ролі окисників* та проявляють *негативну ступінь окиснення*, що дорівнює різниці:  $8 - N_{\text{г}} \text{ групи}$ .

**Найсильнішим окисником** з вільних неметалів є **атом фтору**, який має найменший радіус атому і найбільше число валентних електронів на зовнішньому рівні. Фтор ніколи не віддає електрони, а тільки приймає їх.

В якості окисників, неметали насамперед **взаємодіють із гідрогеном** та утворюють **леткі водневі сполуки**. При **взаємодії з металами** неметали утворюють похідні водневих сполук - сполуки сольового складу з іонним характером зв'язку.

***В періоді зліва направо** окисні властивості вільних атомів неметалів посилюються, а **в групі зверху вниз** убувають.*

### ► **Відновні властивості**

Неметали здатні віддавати електрони і виступати в *ролі відновників* та проявляти *позитивний ступінь окиснення*.

Вищий позитивний ступінь окиснення неметалів відповідає *№ групи* (крім *He, O, F і N*). Він, як правило, характерний для неметалів, які знаходяться у збудженому стані. Оксиди або гідроксиди, тобто оксигеновмісні кислоти, утворюють виключно збуджені атоми.

Неметали 3- 6 періодів переходять в збуджений стан з використанням *d*-орбіталей предзовнішнього рівня, вони проявляють змінні ступені окиснення. Взагалі, крім нітрогену *N*, неметали парних груп проявляють парні ступені окиснення, неметали непарних груп - непарні.

***В періоді зліва направо** відновні властивості вільних атомів убувають, внаслідок зменшення їх радіусів, а **в групі зверху вниз** відновні властивості посилюються, так як атомні радіуси збільшуються.*

### ► **Окисно-відновна двоїстість**

*Характерною особливістю вільних атомів неметалів є їх здатність як **віддавати** (крім атомів фтору, гелію і неону), так і **приймати** електрони (крім атомів благородних газів), тобто виявляти *двоїсту природу*, що характерно також і для сполук неметалів з деяким проміжним ступенем окиснення. Неметали з негативним ступенем окиснення **тільки віддають** електрони та виступають **в якості відновників**, це леткі водневі сполуки, та їх похідні. Неметали з вищим позитивним ступенем окиснення **тільки приймають** електрони та виступають **в якості окисників**.*

## 15.2 Хімічні властивості неметалів

### 15.2.1 Взаємодія неметалів з простими речовинами

Взаємодія з гідрогеном $H_2$	<p><b>З гідрогеном</b> неметали утворюють <i>леткі водневі сполуки</i>, приєднують електрони та проявляють максимальний негативний ступінь окиснення, що дорівнює: 8-№ групи (крім бору) :</p> $неМе + \frac{n}{2} H_2 = неМеH_n$ <p><b>ІІА група:</b> <math>(BH_3)_n</math>- борани, где (<math>n = 2 - 4</math>); похідні - бориди. <b>ІVА група:</b> <math>CH_4</math>- метан и <math>SiH_4</math>- силан, їх сполуки не розчинні у воді і не проявляють кислотно-основних властивостей; похідні - карбіди і силіциди відповідно. <b>VА група:</b> <math>NH_3</math>- амоніак, <math>PH_3</math> - фосфін, <math>AsH_3</math> - арсін: <math>NH_3</math> дуже добре розчиняється у воді та утворює слабку основу <math display="block">NH_3 + H_2O = NH_4OH \Leftrightarrow NH_4^+ + OH^-</math><math>PH_3</math> слабо розчиняється у воді, його основа нестійка, а <math>AsH_3</math> зовсім не розчиняється у воді ; похідні <i>VА</i> групи: <u>нітриди, фосфіди і арсеніди</u> відповідно. <b>VIА група:</b> <math>H_2S</math> - сульфід гідрогену, <math>H_2Se</math> - селенід гідрогену, <math>H_2Te</math> - телурид гідрогену (або халькогеноводні) дуже добре розчиняються у воді та утворюють слабкі двоосновні кислоти, які дисоціюють ступінчасто; назви похідних - <u>сульфіди, селеніди, телуриди</u>. <b>VІІА група:</b> <math>HF</math>- фторид гідрогену, <math>HCl</math> - хлорид гідрогену, <math>HBr</math> - бромід гідрогену, <math>HI</math> - йодид гідрогену (або галогеноводні) дуже добре розчиняються у воді та утворюють кислоти: <u>слабку фторидну <math>HF</math> (плавикову) и сильні хлоридну (соляну), бромідну и йодидну</u>. <u>Кислотні властивості водневих сполук та їх розчинів</u> в періоді зліва направо и в групі зверху вниз посилюються, а основні властивості слабшають. <b>В окисно - відновних реакціях</b> неметали водневих сполук тільки віддають електрони та проявляють <u>відновні властивості</u>: <math display="block">N^{3-}H_3 + KMnO_4 + H_2O \rightarrow N_2^0 + MnO_2 + KOH</math><math display="block">HCl^- + KMnO_4 \rightarrow Cl_2^0 + MnCl_2 + KCl + H_2O</math></p>
------------------------------------	--

<p>Взаємодія з металами</p>	<p><b>З металами</b> неметали утворюють сполуки сольового складу з іонним характером зв'язку, тобто похідні летких водневих сполук:</p> $4Me + nC(Si) = Me_4C_n (Me_4Si_n)$ $3Me + \frac{n}{2} N_2(P, As) = Me_3N_n (Me_3P_n, Me_3As_n)$ $2Me + nS(Se, Te) = Me_2S_n (Me_2Se_n, Me_2Te_n)$ $Me + \frac{n}{2} Cl_2(Br_2, I_2) = MeCl_n (MeBr_n, MeI_n)$ <p><b>В окисно - відновних реакціях</b> неметали похідних водневих сполук проявляють тільки <b>відновні властивості</b>:</p> $K_3N^{3-} + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow N_2^0 + MnSO_4 + K_2SO_4 + H_2O$ $KI^- + KMnO_4 + HCl \rightarrow KCl + I_2^0 + MnCl_2 + H_2O$
<p>Взаємодія з оксигеном O<sub>2</sub></p>	<p><b>З оксигеном неметали (крім галогенів)</b> утворюють несолетвірні або солетвірні оксиди</p> $2R + \frac{n}{2} O_2 = R_2O_n.$ <p>Несолетвірні оксиди, наприклад: CO, SiO, N<sub>2</sub>O, NO</p> <p>не взаємодіють з водою і <b>не утворюють кислот і солей</b>.</p> <p>Солетвірні оксиди отримують при окисненні простих речовин, з можливим утворенням сполук змінного складу, наприклад: SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.</p> <p>Їх оксиди розчиняються у воді і утворюють <b>оксигеновмісні кислоти</b>, наприклад: H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>3</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, HNO<sub>2</sub>, HNO<sub>3</sub>.</p> <p>Оксиди галогенів отримують побічно - шляхом розкладання солей.</p> <p><b>Кислотні властивості оксидів і гідроксидів</b> посилюються в <u>періоді зліва направо</u> і слабшають в <u>групі зверху вниз</u>.</p> <p>Кислотні властивості оксидів і гідроксидів <b>залежать від ступеня окиснення</b> неметалу і посилюються з його підвищенням. Так, H<sub>2</sub>S<sup>6+</sup>O<sub>4</sub> сильніша, ніж H<sub>2</sub>S<sup>4+</sup>O<sub>3</sub>, а HN<sup>5+</sup>O<sub>3</sub> сильніше, ніж HN<sup>3+</sup>O<sub>2</sub>.</p>

### **15.3 Контрольні питання**

1. Розміщення неметалів в періодичній системі елементів Д.І. Менделєєва.  
Особливості електронної будови атомів.
2. Хімічні властивості неметалів:
  - взаємодія з простими речовинами;
  - взаємодія з розчинами лугів та кислот.
3. Хімічні властивості оксидів і гідроксидів. Методи їх одержання.
4. Водневі сполуки неметалів, їх властивості.
5. Окисно-відновні властивості неметалів та їх сполук в залежності від ступеню окиснення неметалу.

### **15.4 Контрольні завдання (див на стр.149)**

# Тема 16 МЕТАЛИ ТА ЇХ ВЛАСТИВОСТІ

## 16.1 Основні поняття

### 16.1.1 Загальні властивості металів

За схожістю хімічних властивостей метали мають такі традиційні

назви:

<b>лужні</b>	метали <i>IA</i> підгрупи- ( <i>s</i> - елементи)
<b>лужноземельні</b>	метали <i>II A</i> підгрупи ( окрім Be і Mg) - ( <i>s</i> - елементи)
<b>металоїди</b>	метали <i>IIIA - VIA</i> підгруп - ( <i>p</i> - елементи)
<b>перехідні</b>	метали <i>IB - VIII B</i> підгруп - ( <i>d</i> - елементи) - 10 підгруп
<b>рідкоземельні</b>	метали <i>IIIB</i> підгрупи -( <i>d</i> - елементи)
<b>лантаноїди</b>	метали <i>IIIB</i> підгрупи -( <i>f</i> - елементи)- окремий ряд
<b>актиноїди</b>	метали <i>IIIB</i> підгрупи -( <i>f</i> - елементи) -окремий ряд
<b>платинові</b>	метали <i>VIII B</i> підгрупи ( <i>Ru , Rh , Pd , Os , Ir, Pt</i> )
<b>благородні</b> (хімічно стійкі метали)	метали <i>IB підгрупи (Ag, Au)</i> та платинові метали <i>VIII B</i> підгрупи ( <i>Ru , Rh , Pd , Os , Ir, Pt</i> ).
<b>кольорові</b>	всі метали, крім ( <i>Mn і Fe</i> )
<b>чорні</b>	метали <i>Mn і Fe</i>

За валентністю метали можуть проявляти основні ( $B=I- IV$ ), амфотерні ( $B= II - IV$ ) або кислотні властивості ( $B= II - VIII$ ).

Наприклад, хром Cr метал зі змінним ступенем окиснення, в залежності від валентності утворює основний, амфотерний і кислотний оксиди, яким відповідають наступні гідроксиди:

	Ступінь окиснення	Оксиди	Гідроксиди		
			основний	амфотерний	кислотний
Cr	+2	CrO;	Cr(OH) <sub>2</sub>		
	+3	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		Cr(OH) <sub>3</sub> ↔ H <sub>3</sub> CrO <sub>3</sub>	H <sub>3</sub> CrO <sub>3</sub>
	+6	CrO <sub>3</sub>			H <sub>2</sub> CrO <sub>4</sub> або H <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>

За електронною будовою метали поділяють на чотири типи - тобто чотири сімейства електронних аналогів: *s-, p-, d-, f-* метали.

Типи металів	Загальна характеристика типів металів
<p><b>s-метали,</b> елементи <i>IA і IIA</i> підгруп</p>	<p>У металів <i>IA</i> і <i>II A</i>-підгруп останнім заповнюється зовнішній <i>ns</i>-підрівень, на ньому знаходяться 1 або 2 валентних електрона. Оскільки <i>s-метали</i> мають найбільші атомні радіуси і найменші значення енергії іонізації, вони легко віддають зовнішні електрони, тому <i>s-метали є найбільш сильними відновниками серед металів.</i></p> <p>Метали <i>IA</i> групи проявляють постійну валентність (I) і ступінь окиснення (+1); для підгрупи <i>II A</i> характерні валентність (II), а ступінь окиснення (+2), <u>оксиди і гідроксиди s-металів</u> мають <b>тільки основні</b> властивості.</p> <p>В підгрупах зверху вниз радіуси атомів зростають, <u>металеві властивості і відновна здатність елементів посилюються, основні властивості оксидів і гідроксидів</u> також <b>посилюються</b>. Характерною рисою металів <i>IA</i> і <i>II A</i> - груп (крім Be і Mg) є їх здатність утворювати розчинні у воді гідроксиди - <i>луги</i>.</p>
<p><b>p-метали</b> металеві елементи <i>IIIA—VIA</i> підгруп</p>	<p>У атомів <i>p</i> -металів (<i>IIIA-VIA A</i> - підгрупи) останнім заповнюється електронами зовнішній <i>np</i>-підрівень.</p> <p><u>Металеві властивості</u> цих елементів виражені набагато слабкіше, ніж у <i>s</i>-металів. Вони - типові <b>напівпровідники</b>.</p> <p><i>p</i>-Метали проявляють змінну валентність ( від <i>III</i> до <i>VI</i>) і змінні ступені окиснення ( від +3 до +6), крім елементів <i>IIIA</i> групи <math>{}_{49}\text{In}</math> (+1, +2, +3) і <math>{}_{81}\text{Tl}</math> (+ 1, + 3). Характерна риса для металевих <i>p</i>- елементів - <b>утворення амфотерних гідроксидів</b>.</p>
<p><b>d-метали</b> <i>перехідні метали</i> <i>побічних IB—VIIIB</i> підгруп</p>	<p>У <i>d</i>-металів останнім заповнюється електронами предзовнішній <math>(n-1)d</math>-підрівень атома. На зовнішньому шарі у атомів <i>d</i> - елементів перебувають від 1 до 2 <i>ns</i> електронів, інші електрони розташовані на <math>(n-1)</math> <i>d</i>-підрівні. Це визначає ряд загальних властивостей <i>d</i>-металів: так, <b>в підгрупах зверху вниз</b> значення радіусів атомів і енергії іонізації взагалі збільшуються.</p> <p><b>Ступені окиснення d-металів змінні</b>, окрім <math>\text{Sc}^{3+}</math> і <math>\text{Zn}^{2+}</math>. Всі перехідні метали можуть мати кілька ступенів окиснення від +1 до +8. Максимально можливий ступінь окиснення <i>d</i>-металів + 8 у осмію (<math>\text{OsO}_4</math>). З ростом порядкового номера максимальний ступінь окиснення зростає від III групи до першого елемента VIII групи, а потім убуває.</p>



	<p>Загальним закономірностям в хімії <i>d</i>-елементів не підкоряються підгрупи <u>скандію і цинку</u>. Перші за своїми властивостями нагадують лужно-земельні метали і проявляють закономірності, характерні для <i>s</i>-металів. Підгрупа цинку розташована поруч з підгрупою галію і є ніби перехідною. У ній помітно проявляються закономірності, характерні для <i>p</i>-елементів.</p> <p><b>Характерною особливістю <i>d</i>-елементів</b> являються їх <b>окисно-відновна здатність</b> та надзвичай висока <b>здатність до комплексоутворення</b>. Цим переходні метали різко відрізняються від неперехідних елементів.</p>
<p><b><i>f</i>-метали</b> лантаноїди і актиноїди <b>III B</b> підгрупа</p>	<p><b><i>f</i>-Метали</b> в періодичній системі займають два горизонтальних ряда окремо, по 14 елементів в кожному. Ці елементи входять в підгрупу скандію, тобто в <b>побічну III B групу</b>.</p> <p>У <i>f</i>-металів останнім заповнюється електронами третій зовнішній підрівень: <i>4f</i>-у сімейства лантаноїдів і <i>5f</i>- в сімействі актиноїдів.</p> <p><b>Лантаноїдами</b> називають рідкоземельні метали через малу їх поширеність і розсіяність в природі і високу тугоплавкість оксидів, які раніше називали землями. <i>4f</i>-електрони не роблять істотного впливу на хімічні властивості лантаноїдів. Їх властивості в основному визначають <i>5d<sup>1</sup>6s<sup>2</sup></i>- електрони, тому простежується схожість лантаноїдів з <i>d</i>-металами III B групи.</p> <p><b>За хімічними властивостями</b> та активністю металевих елементів лантаноїди також дуже <b>близькі до лужно-земельних металів II A групи</b>. В основному лантаноїди проявляють змінні ступені окиснення (+3, +4).</p> <p>У хімічному відношенні <i>4f</i>-метали надзвичайно схожі між собою і можуть бути розділені з дуже великими труднощами.</p> <p><b><i>5f</i>-елементи</b> утворюють <b>сімейство актиноїдів</b>, всі вони радіоактивні елементи. Нептуній <sup>93</sup>Np починає групу <b>трансуранів</b>; наступні за ним елементи не мають стабільних ізотопів, їх отримують штучним шляхом.</p> <p><b>Актиноїди</b> здатні проявляти декілька ступенів окиснення і іноді розглядаються, як аналоги <i>5d</i>-елементів, це обумовлено енергетичною близькістю <i>5f</i>-, <i>6d</i>- і <i>7s</i>- орбіталей. Ступені окиснення актиноїдів змінні і можуть приймати значення від +3 до +7.</p>

### 16.1.2 Ряд напруг металів

Відновна здатність різних металів неоднакова, вона визначається положенням металу в ряді напруг, активністю його іонів в розчині і характеризується значенням стандартного електродного потенціалу  $E^0, В$ .

Ряд напруг має вигляд:

← **Посилення відновної здатності атомів металів**

$Li^0$	$K^0$	$Ca^0$	$Na^0$	$Mg^0$	$Al^0$	$Mn^0$	$Zn^0$	$Fe^0$
-3,02	-2,92	-2,84	-2,71	-2,38	-1,66	-1,05	-0,76	-0,44
$Li^+$	$K^+$	$Ca^{2+}$	$Na^+$	$Mg^{2+}$	$Al^{3+}$	$Mn^{2+}$	$Zn^{2+}$	$Fe^{2+}$

**Посилення окисної здатності іонів металів** →

продовження

← **Посилення відновної здатності атомів металів**

$Ni^0$	$Sn^0$	$Pb^0$	$H_2^0$	$Cu^0$	$Ag^0$	$Hg^0$	$Au^0$
-0,23	-0,14	-0,13	0,00	+0,34	+0,80	+0,80	+1,50
$Ni^{2+}$	$Sn^{2+}$	$Pb^{2+}$	$2H^+$	$Cu^{2+}$	$Ag^+$	$Hg^{2+}$	$Au^{3+}$

**Посилення окисної здатності іонів металів** →

### Висновки з ряду напруг

1. **Чим менше значення потенціалу металу, тим він активніше**, тим легше вільний атом металу окиснюється та перетворюється у водному розчині в стан іону, тим важче його іони відновлюються із розчину.

2. **Метали, що розташовані до гідрогена - активні**, вони здатні витіснити гідроген із кислот:  $HCl_{розв, конц}$  і  $H_2SO_{4 розв}$ .

**Метали, що стоять після гідрогена - неактивні**, вони не здатні витіснити гідроген із кислот.

3. Кожен **більш активний метал витісняє (відновлює) менш активний метал** із розчину його солі.

4. При складанні біметалічного гальванічного елемента **більш активний метал виконує роль анода, менш активний метал стає катодом**.

**Анод окиснюється і заряджається негативно**, на **позитивно** зарядженому **катоді** відбувається **відновлення іонів середовища**.

## 16.2 Хімічні властивості металів

Реагенти	Схеми реакцій	Примітки
<b>З простими речовинами</b>		
<b>Неметали</b>	$4 Me + O_2 \longrightarrow 2 Me_2O$ (Li, Na, K, Ca, Ba) (Li <sub>2</sub> O, Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, CaO, BaO) $2Cu + O_2 \xrightarrow{t^0} 2CuO,$ $2Na + H_2 \longrightarrow 2NaH$ $Ca + H_2 \longrightarrow CaH_2$ $4Al + 3C \xrightarrow{t^0} Al_4C_3$ $3Mg + N_2 \xrightarrow{t^0} Mg_3N_2,$ $Ca + 2P \longrightarrow Ca_3P_2,$ $Zn + S \xrightarrow{t^0} ZnS,$ $2Fe + 3Cl_2 \xrightarrow{t^0} 2FeCl_3$	<b>Li, Na, K, Ca, Ba</b> окиснюються за звичайних умов;  <b>Cu, Hg</b> окиснюються при нагріванні;  <b>Ag, Pt, Au</b> не окиснюються зовсім
<b>Зі складними речовинами</b>		
<b>1. З водою</b>		
<b>H<sub>2</sub>O</b>	Найбільш активні метали I А і ІІА групи (Ca, Sr, Ba) витісняють водень навіть з води (де дуже мала концентрація іонів водню), утворюючи сильні основи - луги і водень: $2K + 2H_2O \longrightarrow 2KOH + H_2$ $Ca + 2H_2O \xrightarrow{t^0} Ca(OH)_2 + H_2$ Na, Sr реагують з H <sub>2</sub> O <u>за звичайних умов</u> ; Mg, Ni реагують <u>з парою H<sub>2</sub>O</u> ; Sn, Pb, Cu, Hg, Ag, Pt, Au <u>не реагують</u> з H <sub>2</sub> O навіть при нагріванні	При наявності на поверхні металу нерозчинних у воді плівок оксидних і гідроксидних, взаємодія металу з водою <b>не відбувається</b> .
<b>2. З неокисними кислотами HCl<sub>(розв)</sub>, HCl<sub>(конц)</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(розв)</b>		
<b>HCl<sub>(розв, конц.)</sub></b>	В кислотах HCl <sub>(розв)</sub> , HCl <sub>(конц)</sub> і H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (розв) окисником є атом H <sup>+</sup> . Тому всі метали, що стоять у ряді напруг до водню (крім Pb), можуть витіснити водень з цих кислот: $Zn + 2 HCl_{(розв)} \longrightarrow ZnCl_2 + H_2,$ $Pb + 2 HCl_{(розв)} \longrightarrow PbCl_2 \downarrow + H_2$ (реакція не йде, тому що утворюється сольова плівка).	Метали, які в ряді напруг стоять після водню <b>Cu, Hg</b> та інші <b>не взаємодіють</b> з даними кислотами.

$\text{H}_2\text{SO}_4$ (розв)	$\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4$ (розв) $\not\rightarrow$ $\text{ZnSO}_4 + \text{H}_2$ . $\text{Pb} + \text{H}_2\text{SO}_4$ (розв) $\not\rightarrow$ $\text{PbSO}_4 \downarrow + \text{H}_2$ (реакція не йде, тому що утворюється сольова плівка). $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4$ (розв) $\rightarrow$ не взаємодіє	
<b>3. З окисними кислотами <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math>(конц), <math>\text{HNO}_3</math>(конц), <math>\text{HNO}_3</math>(розв)</b>		
$\text{H}_2\text{SO}_4$ (конц)	В <i>сульфатній <math>\text{H}_2\text{SO}_4</math> (конц) окисником</i> є атом $\text{S}^{6+}$ , Ця кислота являється дуже сильним окисником (см. лаб. роб. «Неметали») $\text{S}^{6+}$ може відновлятися до різних ступенів окиснення за схемою: $\text{H}_2\text{S}^{6+}\text{O}_4 \rightarrow \text{S}^{4+}\text{O}_2 \rightarrow \text{S}^0 \rightarrow \text{H}_2\text{S}^{2-}$ - з <u>активними</u> металами: $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$ - с <u>неактивними</u> металами: $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	<b>Fe, Al, Cr пасивуються</b> в концентрованій сульфатній кислоті
$\text{HNO}_3$ (конц)	В <i>нітратній <math>\text{HNO}_3</math> окисником</i> завжди є атом $\text{N}^{5+}$ ; в залежності від концентрації кислоти і характеру відновника $\text{N}^{5+}$ може відновлятися за схемою: $\text{HN}^{5+}\text{O}_3 \rightarrow \text{N}^{4+}\text{O}_2 \rightarrow \text{HN}^{3+}\text{O}_2 \rightarrow \text{N}^{2+}\text{O} \rightarrow \text{N}^+\text{O} \rightarrow \text{N}^0 \rightarrow \text{N}^3\text{H}_3$ $\text{Cu} + \text{HNO}_3$ (конц) $\rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	<b>Fe, Al, Cr пасивуються</b> в концентрованій азотній кислоті <b><math>\text{HNO}_3</math>(конц)</b> майже завжди відновлюється до <b><math>\text{NO}_2</math></b> .
$\text{HNO}_3$ (розв)	Взаємодія металів з $\text{HNO}_3$ (розв) залежить від їх активності. $\text{Fe} + 4\text{HNO}_3(\text{p}) \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO}\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ $5\text{Mg} + 12\text{HNO}_3(\text{p}) \rightarrow 5\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$ $4\text{Ca} + 10\text{HNO}_3(\text{o.p}) \rightarrow 4\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$ $\text{Cu} + \text{HNO}_3$ (розв) $\rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	<b><math>\text{HNO}_3</math>(розв.)</b> відновлюється до <b><math>\text{NO}</math></b> , а при дії більш активних металів до <b><math>\text{N}_2\text{O}</math>, <math>\text{N}_2</math></b> , або навіть до <b><math>\text{NH}_3</math></b> або <b><math>\text{NH}_4\text{NO}_3</math></b> .
<b>4. З лугами</b>		
<b>Розчини і розплави луг</b>	Метали, що утворюють амфотерні гідроксиди (Zn, Al, Sn, Pb і ін.), розчинюються в лугах з виділенням $\text{H}_2$ : $\text{Zn} + 2\text{NaOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4] + \text{H}_2$ . $\text{Zn} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{ZnO}_2 + \text{H}_2$ .	В лугах спочатку розчинюється оксидна плівка, і тільки потім із води витісняється водень.

<b>5. Із солями</b>		
<b>Розчини солей</b>	<p>Більш активні метали витісняють менш активні з розчинів їх солей.</p> $\text{Zn} + \text{CuCl}_2 \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{Cu} \downarrow$ <p><math>\text{Ba} + \text{CuCl}_2</math> (розчин) → реакція протікає за схемою:</p> <p>а) <math>\text{Ba} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{H}_2 \uparrow</math></p> <p>б) <math>\text{Ba}(\text{OH})_2 + \text{CuCl}_2 \rightarrow \text{BaCl}_2 + \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow</math></p> $\text{Ba} + \text{CuCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow + \text{H}_2 \uparrow + \text{BaCl}_2$	

### 16.3 Контрольні питання

1. Розташування металів в Періодичній системі елементів Д.І. Менделєєва.  
Особливості електронної будови s-, p-, d- і f- металів.
2. Ряд напруг металів. Взаємодія металів з водою, розчинами кислот, лугів та солей.
3. Оксиди і гідроксиди металів, способи їх одержання. Властивості оксидів та гідроксидів металів.
4. Солі: розчинність у воді, гідроліз солей.
5. Окисно-відновні властивості металів та їх сполук в залежності від ступеню окиснення металу.

### 16.4 Контрольні завдання

**для тем «Неметали та їх властивості», «Метали та їх властивості»**

Напишіть реферат на тему: «Властивості елементу та його сполук» за планом:

1. Знаходження елементу в періодичній системі елементів Д. І. Менделєєва, повна електронна формула атома, валентні електрони, валентність атома в збудженому та не збудженому стані, можливі ступені окиснення.

2. Фізико-хімічні характеристики атома: радіуси атомів та іонів, енергії іонізації, спорідненість до електрону, електронегативність, закономірність їх змін у підгрупі.

3. Фізичні властивості: агрегатний стан, колір, блиск, кристалічна структура, алотропні модифікації, густина, температура плавлення, механічні властивості, електропровідність, теплопровідність.

4. Хімічні властивості елемента:

- взаємодія з простими речовинами;

- взаємодія з водою, розчинами кислот, лугів, солей, міцними кислотами (для металів у зв'язку з розміщенням їх в ряду активності металів). Назвіть продукти взаємодії, складіть рівняння, підберіть коефіцієнти.

5. Хімічні властивості сполук елемента: оксиди, гідроксиди, їх кислотно-основні властивості, та методи одержування; залежність властивостей оксидів та гідроксидів від ступеню окислення елемента; солі, розчинність їх у воді та здатність до гідролізу; здатність елемента до комплексоутворення; окисно-відновні властивості сполук елемента в залежності від ступеню його окислення. Наведіть рівняння реакцій.

6. Поширеність елемента в земній корі, основні руди. Методи одержання елемента. Використання елемента та його сполук.

7. Напишіть рівняння реакцій між речовинами, підберіть коефіцієнти, дайте назву продуктам взаємодії. Включіть ці реакції в текст свого реферату:

654. Гідроген;  $\text{H}_2 + \text{SiO}$ ;  $\text{Zn} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{KH} + \text{H}_2\text{O}$ .

655. Бор;  $\text{B}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{B} + \text{H}_2\text{SO}_4$  (міцна);  $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{NaOH}$ .

656. Карбон;  $\text{C} + \text{H}_2\text{SO}_4$  (міцна);  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ .

657. Нітроген;  $\text{HNO}_3 + \text{S}$ ;  $\text{KNO}_2 + \text{KJ} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{K}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O}$ .

658. Оксиген;  $\text{O}_3 + \text{KI} + \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{S}$ .

659. Флуор;  $\text{F}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{SiF}_4 + \text{HF}$ ;  $\text{F}_2 + \text{NH}_3$ .

660. Силіцій;  $\text{SiO}_2 + \text{Mg}$ ;  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{HCl}$ ;  $\text{Si} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O}$ .

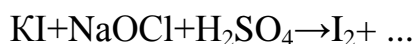
661. Фосфор;  $\text{P} + \text{HNO}_3$  (міцна);  $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{PH}_3 + \text{O}_2$ .

662. Сульфур;  $\text{Na}_2\text{S}+\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}_2\text{SO}_3+\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7+\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{SO}_2+\text{HClO}_3+\text{H}_2\text{O}$ .
663. Хлор;  $\text{KClO}_3+\text{KI}+\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{Cl}_2\text{O}_7+\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Cl}_2+\text{H}_2\text{O}$ .
664. Бром;  $\text{KBr}+\text{H}_2\text{SO}_4+\text{MnO}_2$ ;  $\text{Br}_2+\text{NaOH}$ ;  $\text{Cl}_2+\text{NaBr}$ .
665. Йод;  $\text{KI}+\text{KClO}$ ;  $\text{FeCl}_3+\text{HI}$ ;  $\text{KI}+\text{H}_2\text{SO}_4+\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .
666. Селен;  $\text{Au}+\text{H}_2\text{SeO}_4$ ;  $\text{H}_2\text{Se}+\text{O}_2$ ;  $\text{Se}+\text{HNO}_3$ (міцна).
667. Телур;  $\text{TeO}_2+\text{NaOH}$ ;  $\text{Na}_2\text{Te}+\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Na}_2\text{TeO}_3+\text{Cl}_2+\text{H}_2\text{O}$ .
668. Арсен;  $\text{AsH}_3+\text{KMnO}_4+\text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{As}_2\text{S}_3+\text{NaOH}$ ;  $\text{Na}_3\text{AsO}_4+\text{H}_2\text{O}$ .
669. Стибій;  $\text{Mg}_3\text{Sb}_2+\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7+\text{HCl}$ ;  $\text{SbCl}_3+\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Sb}_2\text{O}_5+\text{H}_2\text{O}$ .
670. Літій;  $\text{LiH}+\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Li}+\text{HNO}_3$ (міцна);  $\text{LiOH}+\text{Al}(\text{OH})_3$ .
671. Натрій;  $\text{NaOH}+\text{Zn}(\text{OH})_2$ ;  $\text{Ca}+\text{H}_2\text{SO}_4$ (міцна);  $\text{Na}_2\text{O}_2+\text{NaI}+\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2+\dots$
672. Калій;  $\text{KOH}+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{K}+\text{H}_2\text{SO}_4$ (міцна);  $\text{K}_2\text{O}_2+\text{KMnO}_4+\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2+\dots$
673. Рубідій;  $\text{RbO}_3+\text{HOH}$ ;  $\text{Rb}+\text{HNO}_3$ (розв.);  $\text{Rb}+\text{H}_2\text{SO}_4$ (розв.).
674. Цезій;  $\text{Cs}+\text{H}_2\text{SO}_4$ (міцна);  $\text{Cs}+\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Cs}+\text{HNO}_3$ (розв.).
675. Берилій;  $\text{Be}+\text{NaOH}+\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{BeSO}_4+\text{HOH}$ ;  $\text{Be}+\text{HNO}_3$ (міцна).
676. Магній;  $\text{MgSO}_4+\text{NH}_4\text{OH}$ ;  $\text{Mg}+\text{H}_2\text{SO}_4$ (міцна);  $\text{MgCl}_2+\text{H}_2\text{O}$ .
677. Кальцій;  $\text{CaCO}_3+\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ ;  $\text{Ca}+\text{HNO}_3$ (розв.);  $\text{CaCl}_2+\text{Na}_2\text{CO}_3$ .
678. Стронцій;  $\text{SrCl}_2+(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ;  $\text{Sr}+\text{HNO}_3$ (міцна);  $\text{Sr}+\text{H}_2\text{O}$ .
679. Барій;  $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2+\text{CaSO}_4$ ;  $\text{Ba}+\text{H}_2\text{SO}_4$ (розв.);  $\text{Ba}+\text{HNO}_3$ (міцна).
680. Алюміній;  $\text{AlCl}_3+\text{NH}_4\text{OH}$ ;  $\text{Al}+\text{NaOH}+\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Al}+\text{HNO}_3$ (розв.).
681. Галій;  $\text{Ga}_2\text{O}_3+\text{KOH}$ (розплав);  $\text{Ga}_2\text{O}_3+\text{H}_2$ ;  $\text{Ga}+\text{H}_2\text{SO}_4$ (міцна).
682. Індій;  $\text{In}+\text{KOH}+\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{InCl}_3+\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{In}+\text{HNO}_3$ (розв.).
683. Талій;  $\text{Tl}(\text{NO}_3)_3+\text{KOH}$ ;  $\text{Tl}+\text{H}_2\text{SO}_4$ (розв.);  $\text{Tl}+\text{HNO}_3$ (конц.).
684. Германій;  $\text{Ge}+\text{NaOH}+\text{H}_2\text{O}_2$ ;  $\text{Ge}+\text{HNO}_3$ (конц.);  $\text{Ge}+\text{HNO}_3$ (розв.).
685. Станум;  $\text{Sn}+\text{H}_2\text{SO}_4$ (міцна);  $\text{SnCl}_2+\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{SnO}+\text{NaOH}+\text{H}_2\text{O}$ .
686. Плюмбум;  $\text{Pb}(\text{OH})_2+\text{KOH}$ ;  $\text{Pb}+\text{H}_2\text{SO}_4$ (конц.);  $\text{KI}+\text{PbO}_2+\text{KOH}$ .
687. Купрум;  $\text{CuSO}_4+\text{NH}_4\text{OH}$ (надлишок);  $\text{Cu}+\text{HNO}_3$ (розв.);  $\text{CuSO}_4+\text{H}_2\text{O}$ .
688. Аргентум;  $\text{Ag}_2\text{O}+\text{HCHO}$ ;  $\text{Ag}+\text{HNO}_3$ (конц.);  $\text{AgCl}+\text{NH}_4\text{OH}$ .
689. Аурум;  $\text{Au}+\text{HNO}_3+\text{HCl}$ ;  $\text{AuCl}_3+\text{HCl}$ .
690. Цинк;  $\text{ZnO}+\text{NaOH}+\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{ZnSO}_4+\text{NH}_4\text{OH}$ (надлишок);  $\text{ZnSO}_4+\text{H}_2\text{O}$ .

691. Кадмій;  $\text{Cd} + \text{HCl}$ ;  $\text{CdSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Cd} + \text{H}_2\text{SO}_4$ (конц.).
692. Меркурій;  $\text{HgI}_2 + 2\text{KI}$ ;  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{Hg} + \text{HNO}_3$ (розв.).
693. Титан;  $\text{Ti}(\text{SO}_4)_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Ti} + \text{HNO}_3$ (конц.);  $\text{TiCl}_3 + \text{CuCl}_2$ .
694. Ванадій;  $\text{VOSO}_4 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{NaVO}_3 + \text{SnCl}_2 + \text{HCl}$ ;  $\text{V}_2\text{O}_5 + \text{KOH}$ .
695. Хром;  $\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KOH} + \text{K}_2\text{S}$ ;  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaOH} + \text{PbO}_2$ ;  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KOH}$ .
696. Манган;  $\text{KMnO}_4 + \text{Na}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ;  $\text{MnO}_2 + \text{KClO}_3 + \text{KOH}$ ;  $\text{Mn} + \text{H}_2\text{SO}_4$ (розв.).
697. Ферум;  $\text{Fe}(\text{OH})_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{FeSO}_4 + \text{K}_3[\text{Fe}(\text{CNS})_3]$ ;  $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4$ (конц.).
698. Кобальт;  $\text{Co}(\text{OH})_2 + \text{H}_2\text{O}_2$ ;  $\text{Co} + \text{HNO}_3$ (розв.);  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$ .
699. Нікол;  $\text{Ni}(\text{OH})_2 + \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Ni} + \text{HNO}_3$ (конц.);  $\text{NiSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
700. Платина;  $\text{PtCl}_2 + \text{KCl}$ ;  $\text{Pt} + \text{HNO}_3 + \text{HCl}$ ;  $\text{PtCl}_2 + \text{NH}_3$ .
701. Складіть рівняння реакцій, які треба провести для здійснення таких перетворень:  $\text{Al} \rightarrow \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] \rightarrow \text{Al}(\text{NO}_3)_3$ .
- Рівняння окисно-відновних реакцій складіть на основі електронних рівнянь.
702. Складіть рівняння реакцій, які треба провести для здійснення таких перетворень:  $\text{V} \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3$ .
- Рівняння окисно-відновних реакцій складіть на основі електронних рівнянь.
703. Чим можна пояснити відновні властивості сполук стануму (II) і окисні властивості сполук плюмбуму(IV)? На основі електронних рівнянь складіть рівняння реакцій між речовинами:
- а)  $\text{SnCl}_2$  з  $\text{HgCl}_2$ ; б)  $\text{PbO}_2 + \text{HCl}$ (конц.).
704. Чому атоми більшості р-елементів схильні до реакцій диспропорціювання? На основі електронних рівнянь напишіть рівняння реакцій розчинення сульфору у концентрованому розчині лугу. Один із продуктів містить сульфур у ступені окиснення +4.
705. Чому сірчиста кислота може проявляти як окисні так і відновні властивості? На основі електронних рівнянь складіть рівняння реакцій  $\text{H}_2\text{SO}_3$ : а) з сірководнем; б) з хлором.



706. Які властивості в окисно-відновних реакціях проявляє сульфатна кислота? Напишіть рівняння реакцій взаємодії розведеної сульфатної кислоти з магнієм і концентрованої - з міддю. Вкажіть окисник і відновник.
707. В якій газоподібній сполуці фосфор проявляє свій нижчий ступінь окиснення? Напишіть рівняння реакцій: а) отримання цієї сполуки при взаємодії фосфіду кальцію з хлоридною кислотою; б) горіння її у кисні.
708. Яку ступінь окиснення проявляють арсен, стибій і бісмут? Яка ступінь окиснення більш характерна для кожного з них? Складіть електронні і молекулярні рівняння реакцій: а) арсену з конц. нітратною кислотою; б) бісмуту з конц. сульфатною кислотою.
709. Як змінюються окисні властивості галогенів від флуору до йоду і відновні властивості їх негативно заряджених іонів? Чому? Складіть електронні і молекулярні рівняння реакцій: а)  $\text{Cl}_2 + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ; б)  $\text{KI} + \text{Br}_2$ . Укажіть окисник і відновник.
710. Які реакції треба провести для здійснення таких перетворень:  
 $\text{NaCl} \rightarrow \text{HCl} \rightarrow \text{Cl}_2 \rightarrow \text{KClO}_3$ . Рівняння окисно-відновних реакцій складіть на основі електронних рівнянь.
711. До розчину, що містить  $\text{SbCl}_3$  і  $\text{BiCl}_3$  додали надлишок розчину гідроксиду калію. Напишіть молекулярні і іонно-молекулярні рівняння реакцій, що відбулися. Яка речовина знаходиться в осаді?
712. Чим суттєво відрізняється вплив розведеної нітратної кислоти на метали від впливу хлоридної і розведеної сульфатної кислот? Що є окисником в першому випадку, що - в двох інших? Наведіть приклади.
713. Напишіть формули і назвіть кисеньвмісні кислоти хлору, укажіть ступінь окиснення хлору в кожній з них. Яка з кислот є найбільш сильним окисником? На основі електронних рівнянь закінчіть рівняння реакції:

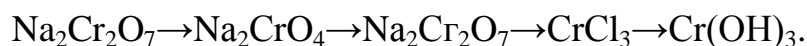


Хлор набуває нижчого ступеню окиснення.

714. Яку ступінь окиснення може проявляти силіцій у своїх сполуках? Складіть рівняння реакцій, які треба провести для здійснення таких перетворень:  
 $\text{Mg}_2\text{Si} \rightarrow \text{SiH}_4 \rightarrow \text{-SiO}_2 \rightarrow \text{K}_2\text{SiO}_3 \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_3$   
 При якому перетворенні відбувається окисно-відновна реакція?
715. Складіть рівняння реакцій, які треба провести для здійснення таких перетворень:  
 $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu(NO}_3)_2 \rightarrow \text{Cu(OH)}_2 \rightarrow \text{CuCl}_2 \rightarrow [\text{Cu(NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ .
716. При поступовому додаванні розчину KI до розчину  $\text{Hg(NO}_3)_2$  отриманий спочатку осад розчинився. Які комплексні сполуки при цьому утворюються. Складіть молекулярні і йонно-молекулярні рівняння відповідних реакцій.
717. До якого класу сполук відносяться речовини, які отримані при взаємодії надлишку гідроксиду натрію на розчини  $\text{ZnCl}_2$ ,  $\text{CdCl}_2$ ,  $\text{HgCl}_2$ ? Складіть молекулярні і йонно-молекулярні рівняння відповідних реакцій.
718. У присутності вологи і оксиду карбону (IV) купрум окиснюється і покривається зеленою плівкою. Як називається і який склад отриманої сполуки? Що відбудеться, якщо на отриману сполуку подіяти хлоридною кислотою? Напишіть рівняння відповідних реакцій. Окисно-відновні реакції складіть на основі рівнянь електронного балансу.
719. Яку ступінь окиснення проявляє ванадій у сполуках? Складіть формули оксидів ванадію, що відповідають цим ступеням окиснення. Як змінюються кислотно-основні властивості оксидів ванадію при переході від нижчого до вищого ступеня окиснення? Складіть рівняння реакцій - а)  $\text{V}_2\text{O}_5$ , з  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; б)  $\text{V}_2\text{O}_5$  з  $\text{NaOH}$ .
720. Хроміт калію окиснюється бромом у лужному середовищі. Зелене забарвлення розчину переходить у жовте. Складіть електронні і молекулярні рівняння реакцій. Які іони обумовлюють початкове і кінцеве забарвлення розчину?

721. До підкисленого сульфатною кислотою розчину дихромату калію додали порошок алюмінію. Через деякий час оранжеве забарвлення розчину перейшло в зелене. Складіть електронні і молекулярні рівняння реакцій.

722. Складіть рівняння реакцій, які треба провести для здійснення таких перетворень:



Рівняння окисно-відновних реакцій напишіть на основі рівнянь електронного балансу.

723. Хлор окиснює манганат калію  $\text{K}_2\text{MnO}_4$ . Які сполуки при цьому утворюються? Як змінюється забарвлення розчину в результаті цієї реакції? Складіть електронні і молекулярні рівняння реакцій.

724. Як змінюється ступінь окиснення марганцю при відновленні  $\text{KMnO}_4$  в кислому, нейтральному і лужному середовищах? Складіть електронні і молекулярні рівняння реакцій між  $\text{KMnO}_4$  і  $\text{KNO}_2$  у різних середовищах.

725. На основі електронних рівнянь складіть рівняння реакції отримання манганата калію  $\text{K}_2\text{MnO}_4$  сплавленням оксиду мангану (IV) з хлоратом калію в присутності гідроксиду калію. Окисник відновлюється максимально та набуває найнижчий ступінь окиснення.

726. Чому оксид мангану(IV) може проявляти і окисні, і відновні властивості? Виходячи з рівнянь електронного балансу, складіть рівняння реакцій:  
а)  $\text{MnO}_2 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ; б)  $\text{MnO}_2 + \text{KNO}_3 + \text{KOH} \rightarrow$ .

727. Складіть рівняння реакцій, які треба провести для здійснення таких перетворень:  $\text{Fe} \rightarrow \text{FeSO}_4 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{FeCl}_3$ .

Як виявити іони  $\text{Fe}^{+2}$  і  $\text{Fe}^{+3}$  у розчині? Складіть молекулярні і іонно-молекулярні рівняння реакцій.

728. Чим відрізняється взаємодія гідроксидів кобальту (III) і нікелю (III) з кислотами від взаємодії гідроксиду феруму (III) з кислотами? Чому? Складіть електронні і молекулярні рівняння відповідних реакцій.

729. Складіть молекулярні і йонно-молекулярні рівняння реакцій, які треба провести для здійснення таких перетворень:



До окисно-відновних реакцій складіть електронні рівняння.

730. Складіть рівняння реакцій, які треба провести для здійснення таких перетворень:  $\text{Ni} \rightarrow \text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ni}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{NiCl}_2$ . Рівняння окисно-відновних реакцій напишіть на основі електронних рівнянь.

## Тема 17 КОМПЛЕКСНІ СПОЛУКИ

### 17.1 Основні поняття

Поняття	Визначення
<b>Комплексні сполуки (КС)</b>	- це речовини, що містять центральний атом, зв'язаний з декількома молекулами або іонами, здатними до самостійного існування в кристалах та розчинах.
<b>Центральний атом (іон) або комплексоутворювач</b>	- атом (іон), який координує навколо себе певну кількість лігандів (або адендів) за рахунок наявності <b>вільних орбіталей</b> за донорно-акцепторним механізмом, центральний атом є <b>акцептором</b> .
<b>Ліганди</b>	- іони або молекули, які мають певну кількість <b>неподільних пар електронів</b> , вони є <b>донорами</b> при створенні хімічного зв'язку.
<b>Внутрішня сфера</b>	Центральний атом і ліганди утворюють <b>внутрішню сферу</b> комплексу, її умовно заключають в квадратні дужки. Заряд внутрішньої сфери дорівнює сумі зарядів центрального атому (іону) та лігандів.
<p style="text-align: center;">Центральний атом (комплексоутворювач)                      Ліганди</p> <p style="text-align: center;"><math>K_3[Fe(CN)_6]</math></p> <p style="text-align: center;">Катіон зовнішньої сфери                      Комплексний іон                      Координаційне число</p>	
<b>Зовнішня сфера</b>	-це іони, що нейтралізують заряд внутрішньої сфери
<b>Координаційне число (к.ч.)</b>	- вказує на кількість місць навколо центрального атому, які можуть займати ліганди. За <b>правилом Вернера</b> координаційне число можна розрахувати за формулою: $к.ч. = 2 \cdot \text{Валентність комплексоутворювача}$ . Але таке значення не завжди реалізується.
<b>Типи КС</b>	✓ <b>катіонний комплекс</b> має позитивний заряд внут-

	<p>ришньої сфери , наприклад <math>[Cu(NH_3)_4]^{2+} SO_4^{2-}</math> - сульфат тетраамінкупруму(II);</p> <p>✓ <b>аніонний комплекс</b> має негативний заряд внутрішньої сфери , наприклад <math>K_3^+ [Co(NO_2)_6]^{3-}</math> - гексанітрітокобальтат(III) калію;</p> <p>✓ <b>нейтральний комплекс</b> має нульовий заряд внутрішньої сфери , наприклад <math>[Pt(NH_3)_2 Cl_4]^0</math> - тетрахлородіамінплатина(IV).</p>
<p><b>Види лігандів</b></p>	<p>✓ молекули води <math>H_2O</math> (аква) , амоніаку <math>NH_3</math> (амін) , оксиду карбона(II) <math>CO</math> (карбоніл);</p> <p>✓ аніони кислотних залишків (в дужках приведено назви в комплексах):</p> <p><math>Cl^-</math> (хлоро-), <math>NO_2^-</math> (нітрито-), <math>NO_3^-</math> (ніtrato-), <math>SO_4^{2-}</math> (сульфато-), <math>PO_4^{3-}</math> (фосфато-), <math>S_2O_3^{2-}</math> (тіосульфато-), <math>CN^-</math> (ціано-), <math>SCN^-</math> (тіоціано-), <math>OH^-</math> (гідроксо-);</p> <p>✓ атоми неметалів з позитивним ступенем окиснення, як, наприклад, атоми гідрогену <math>H^+</math> в іоні амонію <math>NH_4^+</math> ;</p> <p>✓ атоми неметалів з негативним ступенем окиснення, як, наприклад, атоми оксигену <math>O^{2-}</math> в сульфат-аніоні <math>[SO_4]^{2-}</math> .</p>
<p><b>Дисоціація КС</b></p>	<p><b>-первинна (незворотня):</b> розрив <u>іонного зв'язку</u> між зовнішньою і внутрішньою сферами:</p> $[Cu(NH_3)_4] SO_4 \rightarrow [Cu(NH_3)_4]^{2+} + SO_4^{2-}$ <p><b>-вторинна (зворотня):</b> <u>ступінчастий розклад внутрішньої сфери</u> на складові частини- центральний іон та молекули і іони лігандів:</p> $[Cu(NH_3)_4]^{2+} \leftrightarrow Cu^{2+} + 4NH_3$
<p><b>Константа нестійкості комплексного іона</b></p>	<p>Для вторинної дисоціації можливим є стан рівноваги, константу якої називають <b>константою нестійкості</b>. Чим менше константа нестійкості, тим більш стійким є комплексний іон:</p> $K_{\text{нестійкості}} = \frac{[Cu^{2+}][NH_3]^4}{[[Cu(NH_3)_4]^{2+}]}$

<p><b>Номенклатура КС</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ В комплексній сполуці <u>першим називають комплексний іон</u>, потім зовнішню сферу.</li> <li>✓ В комплексному іоні <u>першими називають ліганди</u>.</li> <li>✓ З лігандів <u>першими називають аніони</u>, потім нейтральні молекули . Назви дають за латиною та за абеткою.</li> <li>✓ Кількість лігандів указують грецькими чисельниками: 1-моно, 2-ди, 3-три, 4-тетра, 5-пента, 6-гекса, 7-гепта, 8-окта.</li> <li>✓ Після лігандів називають комплексоутворювач (ступінь окиснення в комірках пишуть латиною, називають українською мовою).</li> <li>✓ Якщо комплекс аніонного типу, його назва має закінчення <b>-АТ</b>.</li> </ul> <p> <math>K_3 [Co(NO_2)_6]</math> - гексанітритокобальтат (III) калію  <math>[Cu(NH_3)_4] SO_4</math> - тетраамінкупрум (II) сульфат  <math>[Pt(NH_3)_4 Cl_2]^0</math> - дихлоротетраамінплатина (IV). </p>
-------------------------------	--

## 17.2 Приклади розв'язування задач

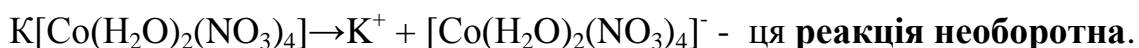
### Послідовність розв'язання.

1) З приведеної в задачі формули  $Co(NO_3)_3 \cdot KNO_3 \cdot 2H_2O$  складаємо координаційну формулу:  $K[Co(H_2O)_2(NO_3)_4]$ . Назва цієї сполуки: тетрагідратодіаквакобальтат (III) калію.

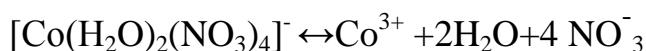
2) Тип комплексу аніонний.

Внутрішня сфера:  $[Co(H_2O)_2(NO_3)_4]^-$ ; зовнішня:  $K^+$ ; ліганди:  $H_2O$ ,  $NO_3^-$ ; центральний атом - кобальт, ступінь окиснення якого дорівнює +3, а координаційне число дорівнює 6.

3) Первинна дисоціація цієї сполуки:



Вторинна дисоціація - процес оборотний:



Для другого ступеню дисоціації пишемо вираз для константи нестійкості:

$$K_{i \text{ анд}} = \frac{[Co^{3+}] \cdot [H_2O]^2 \cdot [NO_3^-]^4}{[Co(H_2O)_2(NO_3)_4]}$$

### 17.3 Контрольні питання

1. Визначення комплексних сполук.
2. Поняття про внутрішню та зовнішню сфери комплексу, центральний атом, ліганди, координаційне число. Катіонні, аніонні і нейтральні комплекси.
3. Теорії хімічного зв'язку комплексів. Донорно-акцепторний та електростатичний механізми утворення.
4. Дисоціація комплексів. Особливості первинної та вторинної дисоціації. Константа нестійкості комплексного іону.
5. Утворення та руйнування комплексів.
6. Номенклатура комплексів.

### 17.4 Контрольні завдання

**Багатоваріантне завдання №1.** Назвіть комплексні сполуки, покажіть зовнішню та внутрішню сфери, ліганди і центральний атом, його ступінь окислення та координаційне число. Напишіть рівняння дисоціації цих сполук та вираз для констант нестійкості комплексних іонів. Укажіть тип комплексу:

- |                                   |                        |
|-----------------------------------|------------------------|
| 731. $[A_8(NH_3)_2]Cl$ ;          | $K_2[Zn(OH)_4]$ .      |
| 732. $[Zn(NH_3)_4]SO_4$ ;         | $K_3[Fe(CN)_6]$ .      |
| 733. $[Ni(NH_3)_6]SO_4$ ;         | $K_2[Be(OH)_4]$ .      |
| 734. $[Cd(NH_3)_6](NO_3)_2$ ;     | $K[Al(OH)_4]$ .        |
| 735. $[Cu(NH_3)_6]SO_4$ ;         | $Na_2[CdJ_4]$          |
| 736. $[Hg(NH_3)_4]J_2$ ;          | $K_2[HgJ_4]$ .         |
| 737. $[Zn(NH_3)_2(H_2O)_2]Cl_2$ ; | $K_3[Fe(CSN)_6]$ .     |
| 738. $[Zn(NH_3)_2(H_2O)Cl]Cl$ ;   | $Na_3[Fe(SO_4)_3]$ .   |
| 739. $[Cu(NH_3)_4(H_2O)_2]SO_4$ ; | $Na_3[Ag(S_2O_3)_2]$ . |
| 740. $[Ca(NH_3)_2(H_2O)_2]SO_4$ ; | $Na_3[AlF_6]$ .        |
| 741. $[Cr(H_2O)_4Cl_2]Cl$ ;       | $K_4[TiCl_8]$ .        |



- |   |  |
|---|--|
| 742. $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$ ;   | $\text{Na}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .  |
| 743. $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]\text{Cl}_2$ ; | $\text{K}_2[\text{Cu}(\text{CN})_4]$ .   |
| 744. $[\text{Cr}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$ ;   | $\text{Na}_3[\text{Co}(\text{CN})_6]$ .  |
| 745. $[\text{Cu}(\text{H}_2\text{O})_4](\text{NO}_3)_2$ ; | $\text{K}_3[\text{Co}(\text{NO}_2)_6]$ . |

**Багатоваріантне завдання №2.** Складіть координаційні формули комплексних сполук. Назвіть їх, вкажіть зовнішню та внутрішню сфери, ліганди і центральний атом, його ступінь окиснення та координаційне число. Укажіть тип комплексу. Напишіть рівняння дисоціації цих сполук та вираз констант нестійкості комплексних іонів.

- |   |  |
|---|--|
| 746. $3\text{NaNO}_2 \cdot \text{Co}(\text{NO}_3)_3$ ;                  | $\text{CoCl}_3 \cdot 3\text{NH}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . |
| 747. $2\text{KOH} \cdot \text{Zn}(\text{OH})_2$ ;                       | $\text{AgCl} \cdot 2\text{NH}_3$ .                             |
| 748. $\text{AgJ} \cdot \text{KJ}$ ;                                     | $3\text{KCN} \cdot \text{Fe}(\text{CN})_3$ .                   |
| 749. $2\text{KOH} \cdot \text{Be}(\text{OH})_2$ ;                       | $\text{ZnSO}_4 \cdot 4\text{NH}_3$ .                           |
| 750. $\text{KOH} \cdot \text{Al}(\text{OH})_3$ ;                        | $\text{NiSO}_4 \cdot 6\text{NH}_3$ .                           |
| 751. $2\text{NaJ} \cdot \text{CdJ}_2$ ;                                 | $\text{ZnCl}_2 \cdot 2\text{NH}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . |
| 752. $3\text{KSCN} \cdot \text{Fe}(\text{SCN})_3$ ;                     | $\text{CdSO}_4 \cdot 3\text{NH}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . |
| 753. $3\text{NaF} \cdot \text{AlF}_3$ ;                                 | $\text{CuSO}_4 \cdot 2\text{NH}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . |
| 754. $2\text{KJ} \cdot \text{HgJ}_2$ ;                                  | $\text{ZnCl}_2 \cdot 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .  |
| 755. $\text{FePO}_4 \cdot \text{H}_3\text{PO}_4$ ;                      | $\text{CdSO}_4 \cdot 2\text{NH}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . |
| 756. $\text{CoBr}_3 \cdot 4\text{NH}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;     | $\text{PtCl}_3 \cdot \text{KCl} \cdot 2\text{NH}_3$ .          |
| 757. $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;      | $\text{PdCl}_2 \cdot 2\text{KCl}$ .                            |
| 758. $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;      | $\text{AuBr}_3 \cdot 3\text{NaCN}$ .                           |
| 759. $\text{Pt}(\text{CN})_4 \cdot 2\text{NaCl}$ ;                      | $\text{CrCl}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .                    |
| 760. $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ;             | $\text{Fe}(\text{CN})_2 \cdot 2\text{KCN}$ .                   |
| 761. $3\text{KCl} \cdot \text{AuCl}_3$ ;                                | $\text{CoCl}_3 \cdot 3\text{NH}_3$ .                           |
| 762. $\text{Ca}(\text{CN})_2 \cdot \text{Fe}(\text{CN})_2$ ;            | $\text{Cr}(\text{SCN})_3 \cdot 4\text{NH}_3$ .                 |
| 763. $2\text{NH}_4\text{Cl} \cdot \text{PtCl}_4$ ;                      | $\text{Cr}(\text{SCN})_3 \cdot 5\text{NH}_3$ .                 |
| 764. $\text{Co}(\text{NO}_2)_3 \cdot \text{KNO}_2 \cdot 2\text{NH}_3$ ; | $2\text{RbCl} \cdot \text{IrCl}_4$ .                           |
| 765. $\text{PtCl}_2 \cdot 4\text{NH}_3$ ;                               | $2\text{NH}_4\text{OH} \cdot \text{PtCl}_4$ .                  |

**Багатоваріантне завдання №3.** Напишіть реакцію утворення названої комплексної сполуки, укажіть центральний атом, ліганди, координаційне число, тип комплексу (катіонний, аніонний, нейтральний). Опишіть первинну та вторинну дисоціацію комплексу. Наведіть вираз константи нестійкості.

766. Динітратодиаквадіамінкадмій (II).

767. Нітрат нітратодиакватріамінкобальта (II).

768. Хлорид триакватриамінкобальта (III).

769. Гексаціаноферат (III) калію.

770. Сульфат диакватетраамін міді (II).

771. Гексанітритокобальтат (III) натрію.

772. Тетрайодомеркурат (II) калію.

773. Тетракарбоніл нікель (0).

774. Гексаціаноферат (II) калію.

775. Гегсабромоплатинат (IV) калію.

776. Хлорид триамінхлороплатини (II).

777. Триакватрифторокобальт (III).

778. Амінпентаціаноферат (II) натрію.

779. Триакватрироданохром (III).

780. Тетрародано디아мінхромат (III) барію.

781. Нітратопентаамінроданокобальт (III).

782. Гідросульфат пентаамінсульфатокобальт (III).

783. Динітратоаргентат (I) калію.

784. Бромопентанітратоплатинат (IV) натрію.

785. Йодід пентаамінакваїридію (III).

786. З розчину комплексної солі  $PtCl_4 \cdot 6NH_3$  нітрат срібла осаджує увесь хлор у вигляді хлориду срібла, а з розчину солі  $PtCl_4 \cdot 3NH_3$  – тільки  $1/4$  частину, що входить до його складу. Напишіть координаційні формули цих солей, визначте координаційне число платини в кожній із них.

787. Відомі дві комплексні солі кобальта, що відповідають одній і тій же емпіричній формулі  $\text{CoBrSO}_4 \cdot 5\text{NH}_3$ . Різниця між ними проявляється в тому, що розчин однієї солі дає з  $\text{BaCl}_2$  осад, але не утворює осаду з  $\text{AgNO}_3$ . Розчин другої солі, навпаки, дає осад з  $\text{AgNO}_3$ , але не дає осаду з  $\text{BaCl}_2$ . Напишіть координаційні формули цих солей та рівняння їх дисоціації на іони.
788. До розчину, який містить 0,2335 г комплексної солі  $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$ , додали в достатній кількості розчин  $\text{AgNO}_3$ . Маса осажденного  $\text{AgCl}$  склала 0,1435 г. Визначте координаційну формулу солі.
789. Хлорид кобальту (III) утворює з аміаком сполуки за таким складом:  $\text{CoCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CoCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{CoCl}_3 \cdot 5\text{NH}_3$ ;  $\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$ . Дія розчину  $\text{AgNO}_3$  приводить до практичного осадження всього хлору з перших двох сполук, біля 2/3 хлору - з третьої сполуки і біля 1/3 хлору - з четвертої сполуки. Вимір електричної провідності розчинів цих сполук показує, що перша і друга розпадаються на 4 іона, третя - на 2 іона. Яка координаційна будова вказаних сполук. Напишіть рівняння їх розпаду на іони.
790. При дії на сіль складу  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2\text{SCN} \cdot 5\text{NH}_3$  іона  $\text{Fe}^{3+}$  не спостерігається характерного забарвлення, пов'язаного з утворенням  $\text{Fe}(\text{SCN})_3$ . Відсутні також специфічні реакції на кобальт та амоніак. Досліди показали, що сіль розпадається на три іона. Яка координаційна будова цієї солі? Напишіть рівняння її дисоціації на іони.
791. Вимір електропровідності свіжовиготовленого розчину сполуки за складом  $\text{CoCl}_2\text{NO}_3 \cdot 5\text{NH}_3$  показує, що вона розпадається на три іона. Відомо також, що увесь хлор, який входить до складу цієї сполуки, практично осаджується при дії  $\text{AgNO}_3$ . Яка його координаційна будова?

## ДОДАТКИ

**Додаток 1.** Термодинамічні константи деяких речовин.

Речовина	$\Delta H^0_{298}$ кДж/моль	$\Delta G^0_{298}$ кДж/моль	$S^0_{298}$ Дж/(моль К)
1	2	3	4
Ag(к)	0	0	42,69
AgBr(к)	-99,16	-95,94	107,1
AgCl (к)	-126,8	-109,7	96,07
AgJ (к)	-64,2	-66,3	114,2
AgF(к)	-202,9	-184,9	83,7
AgNO <sub>3</sub> (к)	-120,7	-32,2	140,9
Ag <sub>2</sub> O(к)	-30,56	-10,82	121,7
Ag <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (к)	-506,1	-437,1	167,4
Al(к)	0	0	28,31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	-1675,0	-1576,4	50,94
Al(OH) <sub>3</sub> (к)	-1275,7	-1139,72	71,1
AlCl <sub>3</sub> (к)	-697,4	-636,8	167,0
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (к)	-3434,0	-3091,9	239,2
As(к)	0	0	35,1
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	-656,8	-575,0	107,1
As <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (к)	-918,0	-772,4	105,4
Au(к)	0	0	47,65
AuF (к)	-74,3	-58,6	96,4
AuF <sub>3</sub> (к)	-348,53	-297,48	114,2
Au(OH) <sub>3</sub> (к)	-418,4	-289,95	121,3
AuCl <sub>3</sub> (к)	-118,4	-48,53	146,4
B(к)	0	0	5,87
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	-1264,0	-1184,0	53,85
B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (к)	31,4	82,8	232,9
Ba(к)	0	0	64,9
BaO (к)	-556,6	-528,4	70,3
BaCO <sub>3</sub> (к)	-1202,0	-1138,8	112,1
Be(к)	0	0	9,54
BeO (к)	-598,7	-581,6	14,10
BeCO <sub>3</sub> (к)	-981,57	-944,75	199,4
Bi(к)	0	0	56,9
BiCl <sub>3</sub> (г)	-270,7	-260,2	356,9
BiCl <sub>3</sub> (к)	-379,1	-318,9	189,5
Br <sub>2</sub> (г)	30,92	3,14	245,35
HBr(г)	-36,23	-53,22	198,48
C(алмаз)	1,897	2,866	2,38
C (графіт)	0	0	5,74
CO(г)	-110,5	-137,27	197,4
CO <sub>2</sub> (г)	-393,51	-394,38	213,6
COCl <sub>2</sub> (г)	-223,0	-210,5	289,2
CS <sub>2</sub> (г)	115,3	65,1	237,8
CS <sub>2</sub> (р)	87,8	63,6	151,0
C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (г)	226,75	209,2	200,8

$C_2H_4(r)$	52,28	68,12	219,4
$CH_4(r)$	-74,85	-50,79	186,19
$C_2H_6(r)$	-84,67	-32,89	229,5
Речовина	$\Delta H^0_{298}$ кДж/моль	$\Delta G^0_{298}$ кДж/моль	$S^0_{298}$ Дж/(моль К)
1	2	3	4
$C_6H_6(p)$	49,04	124,50	173,2
$CH_3OH(p)$	-238,7	-166,31	126,7
$C_2H_5OH(p)$	-227,6	-174,77	160,7
$CH_3COOH(p)$	-484,9	-392,46	159,8
$Ca(K)$	0	0	41,62
$CaO(K)$	-635,1	-604,2	39,7
$CaF_2(K)$	-1214,0	-1161,9	68,87
$CaCl_2(K)$	-785,8	-750,2	113,8
$CaO(K)$	-635,1	-604,2	39,7
$CaF_2(K)$	-1214,0	-1161,9	68,87
$CaC_2(K)$	-62,7	-67,8	70,3
$Ca_3N_2(K)$	-431,8	-368,6	104,6
$Ca(OH)_2(K)$	-986,2	-896,76	83,4
$CaSO_4(K)$	-1424,0	-1320,3	106,7
$CaSiO_3(K)$	-1579,0	-1495,4	87,45
$Ca_3(PO_4)_2(K)$	-4125,0	-3899,5	240,9
$CaCO_3(K)$	-1206,0	-1128,8	92,9
$Cl_2(r)$	0	0	223,0
$HCl(r)$	-92,30	-95,27	186,7
$HCl(p)$	-167,5	-131,2	55,2
$HClO(p)$	-116,4	-80,0	129,7
$Cr(K)$	0	0	23,76
$Cr_2O_3$	-1141,0	-1046,84	81,1
$Cr(CO)_6(K)$	-1075,62	-982,0	359,4
$Cs(K)$	0	0	84,35
$Cs_2O(K)$	-317,6	-274,5	123,8
$CsOH(K)$	-406,5	-355,2	77,8
$Cu(K)$	0	0	33,3
$Cu_2O(K)$	-167,36	-146,36	93,93
$CuO(K)$	-165,3	-127,19	42,64
$Cu(OH)_2(K)$	-443,9	-356,90	79,50
$CuF_2(K)$	-530,9	-485,3	84,5
$CuCl_2(K)$	-205,9	-166,1	113,0
$CuBr_2(K)$	-141,42	-126,78	142,34
$CuJ_2(K)$	-21,34	-23,85	159,0
$Cu_2S(K)$	-82,01	-86,19	119,24
$CuS(K)$	-48,5	-48,95	66,5
$CuSO_4(K)$	-771,1	-661,91	113,3
$CuCO_3(K)$	-594,96	-517,98	87,9
$Cu(NO_3)_2(K)$	-307,11	-114,22	193,3
$Fe(K)$	0	0	27,15
$FeO(K)$	-263,68	-244,35	58,79
$Fe_3C(K)$	24,9	19,9	101,5
$Fe_3O_4(K)$	-1120,0	-1020,0	145,5
$Fe_2O_3(K)$	-821,32	-740,99	89,96

Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (к)	-1117,13	-1014,17	146,19
Fe(OH) <sub>3</sub> (к)	-824,25	-694,54	96,23
FeCl <sub>3</sub> (к)	-405,0	-336,39	130,1
FeSO <sub>4</sub> (к)	-922,57	-829,69	107,51
FeCO <sub>3</sub> (к)	-744,75	-637,88	92,9

Продовження додатку 1

Речовина	$\Delta H^0_{298}$ кДж/моль	$\Delta G^0_{298}$ кДж/моль	$S^0_{298}$ Дж/(моль К)
GeO (к)	-305,4	-276,1	50,2
GeO <sub>2</sub> (к)	-539,74	-531,4	52,30
H <sub>2</sub> (r)	0	0	130,6
H <sub>2</sub> O (r)	-241,84	-228,8	188,74
H <sub>2</sub> O (p)	-285,84	-237,5	69,96
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (p)	-187,36	-117,57	105,86
Hg (к)	0	0	76,1
HgCl <sub>2</sub> (к)	-230,12	-185,77	144,35
Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> (к)	-264,85	-210,66	195,81
J <sub>2</sub> (к)	0	0	116,73
J <sub>2</sub> (r)	62,24	19,4	260,58
HJ (r)	25,94	1,30	206,33
HJO (p)	-158,9	-98,7	24,32
K (к)	0	0	64,35
K <sub>2</sub> O (к)	-361,5	-193,3	87,0
KOH (к)	-425,93	-374,47	59,41
KNO <sub>3</sub> (к)	-492,71	-393,13	132,93
KNO <sub>2</sub> (к)	-370,28	-218,58	117,15
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (к)	-1433,44	-1316,37	175,73
KHSO <sub>4</sub> (p)	-1158,1	-1043,49	187,89
KH(к)	-56,9	-38,49	67,95
Li(к)	0	0	28,03
Li <sub>2</sub> O (к)	-595,8	-560,2	37,9
LiOH (к)	-487,8	-443,1	42,81
Mg(к)	0	0	32,55
MgO(к)	-601,24	-569,6	26,94
Mg(OH) <sub>2</sub> (к)	-924,66	-833,7	63,14
MgCO <sub>3</sub> (к)	-1096,21	-1029,3	65,96
MnSO <sub>4</sub> (к)	-1063,74	-955,96	112,13
N <sub>2</sub> (r)	0	0	191,5
N <sub>2</sub> O(r)	81,55	103,6	220,0
NO(r)	90,37	86,69	210,62
NO <sub>2</sub> (r)	33,89	51,84	240,45
N <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (r)	9,37	98,29	304,3
NH <sub>3</sub> (r)	-46,19	-16,64	192,5
HNO <sub>3</sub> (p)	-173,0	-79,91	156,16
NH <sub>4</sub> Cl (к)	-315,39	-343,64	94,56
NH <sub>4</sub> OH (p)	-366,69	-263,8	179,9
Na(к)	0	0	51,42
Na <sub>2</sub> O (к)	-430,6	-376,6	71,1

NaOH(k)	-426,6	-377,0	64,18
NaCl (к)	-410,9	-384,0	72,36
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> (к)	-1129,0	-1047,7	136,0
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (к)	-1384,00	-1266,8	149,4
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> (к)	-1518,0	-1426,7	113,8
O <sub>2</sub> (r)	0	0	205,03

Продовження додатку 1

Речовина	$\Delta H^0_{298}$ кДж/моль	$\Delta G^0_{298}$ кДж/моль	$S^0_{298}$ Дж/(моль К)
P (речовина)	-18,41	-13,81	22,8
PCl <sub>2</sub> (r)	-277,0	-286,27	311,7
PCl <sub>5</sub> (r)	-369,45	-324,55	362,9
HPO <sub>3</sub> (p)	-982,4	-902,91	150,6
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> (p)	-1271,94	-1147,25	200,83
Pb(k)	0	0	64,9
PbO(k)	-217,86	-188,49	67,4
PbO <sub>2</sub> (к)	-276,6	-218,99	76,44
PbCl <sub>2</sub> (к)	-359,2	-313,97	136,4
PbSO <sub>4</sub> (к)	-918,1	-811,24	147,28
PbS (к)	-94,28	-92,68	91,20
Rb(к)	0	0	76,2
Rb <sub>2</sub> O(к)	-330,12	-290,79	109,6
RbOH (к)	-413,8	-364,43	70,7
S (ромб)	0	0	31,88
SO <sub>2</sub> (r)	-296,9	-300,37	248,1
SO <sub>3</sub> (r)	-395,2	-370,37	256,23
H <sub>2</sub> S(r)	-20,15	-33,02	205,64
H <sub>2</sub> S(p)	-39,33	-27,36	122,2
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (p)	-811,3	-742,0	156,9
H <sub>2</sub> Se (r)	85,77	71,13	221,3
SiO <sub>2</sub> (к)	-859,3	-803,75	42,09
SnO (к)	-286,0	-257,32	56,74
SnO <sub>2</sub> (к)	-580,8	-519,65	52,34
SrO(к)	-590,4	-559,8	54,4
SrCO <sub>3</sub> (к)	-1221,3	-1137,6	97,1
H <sub>2</sub> Te(r)	154,39	138,48	234,3
Zn(k)	0	0	41,59
ZnO (к)	-349,0	-318,19	43,5
ZnS (к)	-201,0	-198,32	57,7
ZnSO <sub>4</sub> (к)	-378,2	-871,57	124,6
Ba(OH) <sub>2</sub> (к)	-950,0	-886,1	124,4
Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	-574,0	^194,0	154,5
Bi <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (к)	-148,0	-141,0	155,0
CH <sub>3</sub> Cl (к)	-82,0	-58,6	234,2
C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub> (к)	-2220,7	-1529,7	359,8
H <sup>+</sup> (p)	0	0	0
MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (к)	-2310,0	-2180,0	80,8
MgCl <sub>2</sub> (к)	-642,0	-593,0	89,8

MgFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (к)	-1465,0	-1353,0	118,5
MgSiO <sub>3</sub> (к)	-1500,0	-1420,0	93,7
Mn(к)	0	0	32,1
MnSO <sub>4</sub> (к)	-1063,7	-956,0	112,1
Mo(к)	0	0	28,7

Продовження додатку 1

Речовина	$\Delta H^0_{298}$ кДж/моль	$\Delta G^0_{298}$ кДж/моль	$S^0_{298}$ Дж/(моль К)
MoO <sub>3</sub> (к)	-746,0	-669,0	78
MoS <sub>2</sub> (к)	-382,0	-328,0	70,9
Nb(к)	0	0	36,4
Nb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	-1900,0	-1765,0	137,0
Ni(к)	0	0	29,7
NiO (к)	-240,0	-212,0	38,1
OH <sup>-</sup> (р)	-229,9	-157,3	-10,5
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (к)	-1490,6	-1347,7	114,3
PbS (к)	-101,0	-98,7	91,4
Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (к)	-700,0	-629,0	123,0
Sb <sub>2</sub> S <sub>3</sub> (к)	-147,0	-147,0	181,0
Si(к)	0	0	18,8
Sr(к)	0	0	52,4
Ta(к)	0	0	41,6
TaCl <sub>3</sub> (к)	-860,0	-755,0	234
Ti(к)	0	0	30,7
TiCl <sub>4</sub> (р)	-805,0	-738,0	253,0
TiO <sub>2</sub> (к)	-1070,0	-890,0	50,3
Zr(к)	0	0	39,0
ZrCl <sub>4</sub> (к)	-980,0	-887	173
V(к)	0	0	28,9
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (к)	-1550,0	-1420	131
W(к)	0	0	32,6
WO <sub>3</sub> (к)	-843,0	-766,0	76,1

<http://onx.distant.ru/spravka.htm>



Додаток 2 . Відносні електронегативності елементів.

A I B	A II B	A III B	A IV B	A V B	A VI B	A VII B	VIII B
H 2,1							
Li 1,0	Be 1,5	B 2,0	C 2,5	N 3,0	O 3,5	F 4,0	
Na 0,9	Mg 1,2	Al 1,5	Si 1,8	P 2,1	S 2,5	Cl 3,0	
K 0,8	Ca 1,0	Sc 1,3	Ti 1,5	V 1,6	Cr 1,6	Mn 1,5	Fe Co Ni 1,9 1,9
Cu	Zn 1,6	Ga 1,6	Ce 1,8	As 2,0	Se 2,4	Br 2,8	
Rb 0,8	Sr 1,0	Y 1,2	Zr 1,5	Nb 1,6	Mo 1,8	Tc 1,9	Ru Rh Rd 2,2 2,2 2,2
Ag	Cd 1,7	In 1,7	Sn 1,8	Sb 1,9	Te 2,1	I 2,5	
Cs 0,7	Ba 0,9	La-Lu 1,0 1,2	Hf 1,3	Ta 1,5	W 1,7	Re 1,9	Os Ir Pt 2,2 2,2 2,2
Au	Hg 1,9	Tl	Pb 1,9	Bi 1,9	Po 2,0	At 2,2	
Fr 0,7	Ra 0,9	Ac -					

Додаток 3 . Ряд електродних потенціалів.

Окиснена форма 1	Кількість одержуваних $e^-$ 2	Відновлена форма 3	$E^0$ , В 4
Li <sup>+</sup>	1	Li	-3,045
Rb <sup>+</sup>	1	Rb	-2,925
K <sup>+</sup>	1	K	-2,925
Cs <sup>+</sup>	1	Cs	-2,923
Ba <sup>2+</sup>	2	Ba	-2,900
Sr <sup>2+</sup>	2	Sr	-2,890
Ca <sup>2+</sup>	2	Ca	-2,870
Na <sup>+</sup>	1	Na	-2,714
La <sup>3+</sup>	3	La	-2,522
Mg <sup>2+</sup>	2	Mg	-2,370
Al <sup>3+</sup> + 3H <sub>2</sub> O	3	Al + 3OH <sup>-</sup>	-2,350
Be <sup>2+</sup>	2	Be	-1,847
Al <sup>3+</sup>	3	Al	-1,662
ZnO <sub>2</sub> <sup>2-</sup> + 2H <sub>2</sub> O	2	Zn + 4OH <sup>-</sup>	-1,216
Mn <sup>2+</sup>	2	Mn	-1,180
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + H <sub>2</sub> O	2	SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> + 2OH <sup>-</sup>	-0,930
2H <sub>2</sub> O	2	H <sub>2</sub> + 2OH <sup>-</sup>	-0,828
Zn <sup>2+</sup>	2	Zn	-0,763
Cr <sup>3+</sup>	3	Cr	-0,744
Fe <sup>2+</sup>	2	Fe	-0,440
Cd <sup>2+</sup>	2	Cd	-0,403
Ti <sup>3+</sup>	1	Ti <sup>2+</sup>	-0,370
PbSO <sub>4</sub>	2	Pb + (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	-0,356
In <sup>3+</sup>	3	In	-0,343
Tl <sup>+</sup>	1	Tl	-0,336
Co <sup>2+</sup>	2	Co	-0,277
Ni <sup>2+</sup>	2	Ni	-0,250
Sn <sup>2+</sup>	2	Sn	-0,136
(CrO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> + 4H <sub>2</sub> O	3	Cr(OH) <sub>3</sub> + 5OH <sup>-</sup>	-0,130
Pb <sup>2+</sup>	2	Pb	-0,126
Fe <sup>3+</sup>	3	Fe	0,036

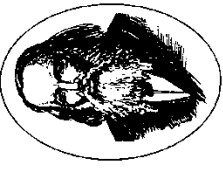
Продовження додатка 3

1	2	3	4
$2\text{H}^+$	2	$\text{H}_2$	0,000
$(\text{NO}_3)^- + \text{H}_2\text{O}$	2	$(\text{NO}_2)^- + 2\text{OH}^-$	+0,010
$\text{S} + 2\text{H}^+$	2	$\text{H}_2\text{S}$	+0,141
$\text{Sn}^{4+}$	2	$\text{Sn}^{2+}$	+0,150
$\text{Cu}^{2+}$	1	$\text{Cu}^+$	+0,153
$(\text{SO}_4)^{2-} + 4\text{H}^+$	2	$\text{H}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$	+0,170
$\text{AgCl}$	1	$\text{Ag} + \text{Cl}^-$	+0,222
$2(\text{SO}_4)^{2-} + 10\text{H}^+$	8	$(\text{S}_2\text{O}_3)^{2-} + 5\text{H}_2\text{O}$	+0,290
$(\text{ClO}_3)^- + \text{H}_2\text{O}$	2	$(\text{ClO}_2)^- + 2\text{OH}^-$	+0,330
$\text{Cu}^{2+}$	2	$\text{Cu}$	+0,337
$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$	1	$[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$	+0,360
$(\text{SO}_4)^{2-} + 8\text{H}^+$	6	$\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$	+0,360
$(\text{ClO}_4)^- + \text{H}_2\text{O}$	2	$(\text{ClO}_3)^- + 2\text{OH}^-$	+0,360
$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	4	$4\text{OH}^-$	+0,401
$\text{H}_2\text{SO}_3 + 4\text{H}^+$	4	$\text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$	+0,450
$\text{Cu}^+$	1	$\text{Cu}$	+0,521
$\text{I}_2$	2	$2\text{I}^-$	+0,536
$\text{H}_3\text{AsO}_4 + 2\text{H}^+$	2	$\text{HAsO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,559
$(\text{MnO}_4)^-$	1	$(\text{MnO}_4)^{2-}$	+0,564
$(\text{MnO}_4)^- + 2\text{H}_2\text{O}$	3	$\text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	+0,588
$(\text{MnO}_4)^- + 2\text{H}_2\text{O}$	2	$\text{MnO}_2 + 4\text{OH}^-$	+0,600
$(\text{ClO}_2)^- + \text{H}_2\text{O}$	2	$(\text{ClO})^- + 2\text{OH}^-$	+0,660
$\text{O}_2 + 2\text{H}^+$	2	$\text{H}_2\text{O}_2$	+0,682
$(\text{BrO})^- + \text{H}_2\text{O}$	2	$\text{Br}^- + 2\text{OH}^-$	+0,760
$\text{Fe}^{3+}$	1	$\text{Fe}^{2+}$	+0,771
$(\text{NO}_3)^- + 2\text{H}^+$	1	$\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,790
$\text{Hg}_2^{2+}$	2	$2\text{Hg}$	+0,798
$\text{Ag}^+$	1	$\text{Ag}$	+0,799
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+(10^{-7}\text{M})$	4	$2\text{H}_2\text{O}$	+0,815
$\text{Hg}^{2+}$	2	$\text{Hg}$	+0,854
$(\text{ClO})^- + \text{H}_2\text{O}$	2	$\text{Cl}^- + 2\text{OH}^-$	+0,890
$(\text{NO}_3)^- + 3\text{H}^+$	3	$\text{HNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$	+0,940
$(\text{NO}_3)^- + 4\text{H}^+$	1	$\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$	+0,960
$\text{HNO}_2 + \text{H}^+$	2	$\text{NO} + \text{H}_2\text{O}$	+1,000
$\text{Br}_2$	6	$2\text{Br}^-$	+1,065
$(\text{IO}_3)^- + 6\text{H}^+$	10	$\text{I}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+1,090
$2(\text{IO}_3)^- + 12\text{H}^+$	2	$\text{I}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	+1,195
$(\text{ClO}_4)^- + 2\text{H}^+$	4	$(\text{ClO}_3)^- + \text{H}_2\text{O}$	+1,190
$\text{O}_2 + 4\text{H}^+$	2	$2\text{H}_2\text{O}$	+1,229
$\text{MnO}_2 + 4\text{H}^+$	3	$\text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+1,230

Продовження додатка 3

1	2	3	4
$\text{Tl}^{3+}$	2	$\text{Tl}$	+ 1,250
$\text{HbrO} + \text{H}^+$	6	$\text{Br}^- + \text{H}_2\text{O}$	+ 1,330
$(\text{Cr}_2\text{O}_7)^{2-} + 14\text{H}^+$	2	$2\text{Cr}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$	+ 1,330
$\text{Cl}_2$	6	$2\text{Cl}^-$	+ 1,359
$(\text{BrO}_3)^-$	6	$\text{Br}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+ 1,440
$(\text{ClO}_3)^-$	2	$\text{Cl}^- + 3\text{H}_2\text{O}$	+ 1,450
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+$	10	$\text{Pb}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$	+ 1,456
$2(\text{ClO}_3)^- + 12\text{H}^+$	3	$\text{Cl}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	+ 1,470
$\text{Au}^{3+}$		$\text{Au}$	+ 1,500
$(\text{MnO}_4)^- + 8\text{H}^+$	5	$\text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$	+ 1,510
$2(\text{BrO}_3)^- + 12\text{H}^+$	10	$\text{Br}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	
$\text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$	2	$\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	+ 1,520
	3		+ 1,685
$(\text{MnO}_4)^- + 4\text{H}^+$	2	$\text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	+ 1,695
$\text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{H}^+$	1	$2\text{H}_2\text{O}$	+ 1,776
$\text{Co}^{3+}$		$\text{Co}^{2+}$	+ 1,810
$\text{F}_2$	2	$2\text{F}^-$	+ 2,870

Додаток 4. Періодична система елементів Д.І.Менделєєва.

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА																						
www.caic.ru																						
 Д.И. Менделеев 1834–1907																						
СИМВОЛ ЭЛЕМЕНТА → <b>Rb</b> → ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР → <b>37</b> НАЗВАНИЕ ЭЛЕМЕНТА → <b>РУБИДИЙ</b> ОТНОСИТЕЛЬНАЯ АТОМНАЯ МАССА → <b>85,468</b> РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ ПО СЛОЯМ → <b>2, 8, 18, 2, 1</b>																						
S-ЭЛЕМЕНТЫ    P-ЭЛЕМЕНТЫ    d-ЭЛЕМЕНТЫ    f-ЭЛЕМЕНТЫ																						
Периоды	I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X			
Ряды	a		b		c		d		e		f		g		h		i		k			
1	1	2																				
2	3	4	5	6	7	8	9															
3	11	12	13	14	15	16	17															
4	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35					
5	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	
6	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	
7	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	
8	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	
9	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	
10	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	
Высшие оксиды	R <sub>2</sub> O		RO		R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		RO <sub>2</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		RO <sub>3</sub>		R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>		RO <sub>4</sub>							
Летучие водородные соединения			RH <sub>4</sub>		RH <sub>3</sub>		H <sub>2</sub> R		HR													
57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	
Лантан	Церий	Прометий	Неодим	Прометий	Самарий	Европий	Гадолиний	Тербий	Диспрозий	Гольмий	Эрбий	Тулий	Иттербий	Лютеций	Лантан	Церий	Прометий	Неодим	Прометий	Самарий	Европий	
138,906	140,12	140,908	144,24	144,913	150,4	151,96	157,25	158,925	162,5	164,93	167,26	168,934	174,97	175,053	175,053	175,053	175,053	175,053	175,053	175,053	175,053	
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	
Актиний	Торий	Протактиний	Уран	Нептуний	Плутоний	Америций	Кюрий	Берклий	Калифорний	Фермий	Менделеев	Нобелий	Лоуренсий	Актиний	Торий	Протактиний	Уран	Нептуний	Плутоний	Америций	Кюрий	
227,03	232,038	231,036	238,029	237,048	244	243	247	247	247	251	254	259	260	260	260	260	260	260	260	260	260	

### Додаток 5. Номенклатура кислот

Кислота		Кислотний залишок		
Формула	Назва		Формула	назва залишку і солі по кислотному залишку
	традиційна	системна		
1	2	3	4	5
<b>HF</b>	Фтороводнева (плавікова)	Фторидна	<b>F<sup>-</sup></b>	Фторид
<b>HCl</b>	Хлороводнева (соляна)	Хлоридна	<b>Cl<sup>-</sup></b>	Хлорид
<b>HBr</b>	Бромоводнева	Бромідна	<b>Br<sup>-</sup></b>	Бромід
<b>HI</b>	Йодоводнева	Йодидна	<b>I<sup>-</sup></b>	Іодид
<b>HCN</b>	Циановоднева	Цианідна	<b>CN<sup>-</sup></b>	Цианід
<b>HSCN</b>	Родановоднева	Роданідна	<b>SCN<sup>-</sup></b>	Роданід
<b>H<sub>2</sub>S</b>	Сірководнева	Сульфідна	<b>HS<sup>-</sup></b> <b>S<sup>2-</sup></b>	Гідросульфід Сульфід
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Сірчана	Сульфатна	<b>HSO<sub>4</sub><sup>-</sup></b> <b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	Гідросульфат Сульфат
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub></b>	Сірчиста	Сульфітна	<b>HSO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> <b>SO<sub>3</sub><sup>2-</sup></b>	Гідросульфит Сульфит
<b>H<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub></b>	Дисірчана	Дисульфатна	<b>HS<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>-</sup></b> <b>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub><sup>2-</sup></b>	Гідродисульфат Дисульфат
<b>H<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	Тіосірчана	Тіодисульфатна	<b>HS<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>-</sup></b> <b>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup></b>	Гідротіодисульфат Тіодисульфат
<b>HNO<sub>3</sub></b>	Азотна	Нітратна	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Нітрат
<b>HNO<sub>2</sub></b>	Азотиста	Нітритна	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	Нітрит
<b>HPO<sub>3</sub></b>	(Мета)-фосфорна	(Мета)-фосфатна	<b>PO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	Метафосфат
<b>H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub></b>	(Орто)-фосфорна	(Орто)-фосфатна	<b>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup></b> <b>HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b> <b>PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b>	Дигідрофосфат Гідрофосфат Фосфат

$\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$	Двофосфорна (пірофосфорна)	Дифосфатна	$\text{H}_3\text{P}_2\text{O}_7^-$ $\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_7^{2-}$ $\text{HP}_2\text{O}_7^{3-}$ $\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$	Тригідродифосфат Дигідродифосфат Гідродифосфат Дифосфат
$\text{H}_3\text{AsO}_4$	(Орто)- Миш'якова	(Орто)- Арсенатна	$\text{H}_2\text{AsO}_4^-$ $\text{HAsO}_4^{2-}$ $\text{AsO}_4^{3-}$	Дигідроарсенат Гідроарсенат Ар- сенат
$\text{H}_3\text{AsO}_3$	(Орто)- Миш'яковиста	(Орто)- Арсенітна	$\text{H}_2\text{AsO}_3^-$ $\text{HAsO}_3^{2-}$ $\text{AsO}_3^{3-}$	Дигідроарсеніт Гідроарсеніт Арсеніт
$\text{HMnO}_4$	Марганцева	Перманганатна	$\text{MnO}_4^-$	Перманганат
$\text{H}_2\text{MnO}_4$	Марганцевиста	Манганатна	$\text{HMnO}_4^-$ $\text{MnO}_4^{2-}$	Гідроманганат Манганат
$\text{HClO}_4$	Хлорна	Перхлоратна	$\text{ClO}_4^-$	Перхлорат
$\text{HClO}_3$	Хлорнувата	Хлоратна	$\text{ClO}_3^-$	Хлорат
$\text{HClO}_2$	Хлориста	Хлоритна	$\text{ClO}_2^-$	Хлорит
$\text{HClO}$	Хлорнуватиста	Гіпохлоритна	$\text{ClO}^-$	Гіпохлорит
$\text{H}_2\text{CrO}_4$	Хромова	Хроматна	$\text{HCrO}_4^-$ $\text{CrO}_4^{2-}$	Гідрохромат Хромат
$\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Двохромова	Дихроматна	$\text{HCr}_2\text{O}_7^-$ $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$	Гідродихромат Дихромат
$\text{H}_2\text{CO}_3$	Вугільна	Карбонатна	$\text{HCO}_3^-$ $\text{CO}_3^{2-}$	Гідрокарбонат Карбонат
$\text{H}_2\text{SiO}_3$	Кремнієва	Силікатна	$\text{HSiO}_3^-$ $\text{SiO}_3^{2-}$	Гідросилікат Силікат
$\text{CH}_3\text{COOH}$	Оцтова	Ацетатна	$\text{CH}_3\text{COO}^-$	Ацетат

### Додаток 6. Розчинність речовин у воді при кімнатній температурі.

	H <sup>+</sup>	Li <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cr <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Ni <sup>2+</sup>	Co <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Ag <sup>+</sup>	Hg <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Sn <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>
OH <sup>-</sup>		P	P	P	P	P	M	H	M	H	H	H	H	H	H	H	H	-	-	H	H	H
F <sup>-</sup>	P	M	P	P	P	M	H	H	H	M	H	H	H	P	P	P	P	P	-	H	P	P
Cl <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P	P	P	P	P	P	P	P	H	P	M	P	P
Br <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P	P	P	P	P	P	P	P	H	M	M	P	P
I <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P	H	P	-	P	P	P	P	H	H	H	M	P
S <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	-	-	-	H	-	-	H	-	H	H	H	H	H	H	H	H	H
HS <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	?	?	?	H	?	?	?	?	?	?	?
SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	H	H	M	H	?	-	H	?	H	H	?	M	H	H	H	?	?
HSO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	?	P	P	P	P	P	P	P	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	H	M	P	-	P	P	P	P	P	P	P	P	M	-	H	P	P
HSO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	?	?	?	-	?	?	?	?	?	?	?	?	?	?	H	?	?
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P	P	P	P	P	P	P	P	P	-	P	-	P
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	?	?	P	M	?	?	M	?	?	?	?
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	P	H	P	P	-	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	P	?	P	P	P	H	H	M	H	?	?	H	?	?	?	H	?	?	?	M	H	?
H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	P	?	?	?	P	P	P	?	-	?	?
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	P	P	P	P	P	H	H	H	H	-	-	H	-	-	-	-	-	H	-	-	-	-
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	P	?	?	P	?	?	?	?	?	?	?	P	?	?
CH <sub>3</sub> COO <sup>-</sup>	P	P	P	P	P	P	P	P	-	-	P	P	-	P	P	P	P	P	P	P	-	P
SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	H	H	P	P	?	H	H	H	H	?	?	H	?	?	?	H	H	?	?	H	?	?

- P – добре розчинна речовина.  
 M – малорозчинна речовина.  
 H – практично нерозчинна речовина.  
 - – не існує.  
 ? – відсутні дані про розчинність.



**Додаток 7.** Основні фізичні сталі.

<b>Фізична стала</b>	<b>Чисельне значення</b>
Число Авогадро	$N_A = 6,02205 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярний об'єм ідеального газу при нормальних умовах	$V_0 = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{моль}$
Універсальна газова стала	$R = 8,3144 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$
Стала Больцмана	$k = 1,3807 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$
Стала Планка	$h = 6,6262 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$
Заряд електрона	$e = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Число Фарадея	$F = 96484,7 \text{ Кл/моль}$
Маса спокою електрона	$m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Електрична стала	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Прискорення вільного падіння	$g = 9,81 \text{ м/с}^2$
Швидкість світла у вакуумі	$c = 2,9979 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

**Додаток 8.** Префікси для утворення кратних одиниць.

Приставка	Позначення	Кратність	Приставка	Позначення	Кратність
Пета	П	$10^{15}$	Деци	д	$10^{-1}$
Тера	Т	$10^{12}$	Санті	с	$10^{-2}$
Гіга	Г	$10^9$	Мілі	м	$10^{-3}$
Мега	М	$10^6$	Мікро	мк	$10^{-6}$
Кіло	к	$10^3$	Нано	н	$10^{-8}$
Гекто	г	$10^2$	Піко	п	$10^{-12}$
Дека	да	$10^1$	Фемто	ф	$10^{-15}$

**Додаток 9.** Зв'язок деяких позасистемних одиниць з одиницями СІ.

Позасистемні одиниці	Одиниці СІ	Позасистемні одиниці	Одиниці СІ
Довжина		Сила	
1 ангстрем (А)	$10^{-10}$ м	1 діна (дін)	$10^{-5}$ Н
1 Фермі (Фм)	$10^{-15}$ м	1 кілограмсила	$10^{-1}$ Н
1 дюйм (Д)	0,0254м	Тиск	
1 фут = 12 Д	0,3048м	1 бар (бар)	105Па
Маса		1 мм.рт.ст.	13,3Па
1 грам (г)	$10^{-3}$ кг	1 атмосфера (атм)	$1,013 \cdot 10^5$ Па
1 тона (т)	1000кг	Енергія	
Об'єм		1 ерг (ерг)	$10^{-7}$ Дж
1 літр=1дм <sup>3</sup>	$10^{-3}$ м <sup>3</sup>	1кіловат·час(кВтч)	$3,6 \cdot 10^6$ Дж
		1 електрон·вольт(эВ)	$1,602 \cdot 10^{-19}$ Дж
		1 калорія (кал)	4,1869Дж

## ЛІТЕРАТУРА

### а) Базова

1. Кириченко В.І. Загальна хімія. [Текст]: Підручник / Кириченко В.І. – Київ.: Вища школа, 2005. – 640с.-5 прим.
2. Хомченко Г.П. Загальна хімія. [Текст]: Підручник / Хомченко Г.П. - Київ.: Вища школа, 1999. – 463 с.-100 прим.
3. Васильева З.Г. Лабораторные работы по общей и неорганической химии. [Текст]: Учебник / Васильева З.Г., Грановская А.А., Таперова А.А. - Л.: Химия, 1986. -288 с.- 200 прим.
4. Глинка Н.Л. Задачи и упражнения по общей химии. [Текст]: Учебник / Глинка Н.Л. - Л.: Химия, 1985. - 264с.-200 прим.

5. Глинка Н.Л. Общая химия. [Текст]: учебное пособие для ВУЗов./ Глинка Н.Л. Л.; Химия, 1988 - 704с.- 300 прим.
6. Ахметов Н.С.Общая и неорганическая химия. [Текст]: Учебник для ВУЗов./ Ахметов Н.С. - М.: Высшая школа, 1988. -640с.-75 прим.

#### **б) Допоміжна**

7. Некрасов Б.В. Учебник общей химии. [Текст]: Учебник./ Некрасов Б.В. - М.: Химия, 1981. - 560с., ил.- 25 прим.
8. Коттон Ф. Основы неорганической химии. [Текст]: Учебник./ Коттон Ф., Уилкинсон П. - М.: Мир, 1-3 т.1969.- 384с., ил.-10 прим.
9. Зубович И.А. Неорганическая химия. [Текст]: Учебник для техн. спец, вузов./ Зубович И.А. - М.: Высшая школа, 1989. - 432 с.- 20 прим.
10. Задачник по общей химии для металлургов. [Текст]: Учебник./ под ред. Б.Г. Коршунова. -М.: Высшая школа, 1977. - 235 с.- 20 прим.

### **14 ІНФОРМАЦІЙНІ РЕСУРСИ**

11. Лекции по химии. [Электрон. ресурс]– 2016 – Режим доступу [www.nanometer.ru/2011/08/31/obshaa\\_i\\_neorganicheskaa\\_himia\\_261237.html](http://www.nanometer.ru/2011/08/31/obshaa_i_neorganicheskaa_himia_261237.html). - Дата доступу: верес. 2016. – Назва з екрана.
12. Биохимия. [Электронный ресурс]–2016 – Режим доступу:<http://www.ximia.org/biochem/>. - Дата доступу: лист. 2016. – Назва з екрана.
13. Лекції з хімії. [Електронний ресурс]– 2016 – Режим доступу <http://antigtu.ru/19-lekcii-po-ximii-pdf.html>. - Дата доступу: верес. 2016. – Назва з екрана.



**Міністерство освіти і науки України  
Запорізька державна інженерна академія**

**Т.Г.Василенко  
В.П.Коляда  
Т.А.Шарапова**

**ХІМІЯ**

**методичні вказівки до самостійної та індивідуальної  
роботи студентів всіх спеціальностей**

**Запоріжжя  
2018**