

**Міністерство освіти і науки України  
Дніпропетровський національний університет  
ім. Олеся Гончара**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ  
ІЗ ДИСЦИПЛІН «НЕОРГАНІЧНА ХІМІЯ»  
ТА «ХІМІЯ З ОСНОВАМИ ГЕОХІМІЇ»**

**2014**

**Міністерство освіти і науки України  
Дніпропетровський національний університет  
ім. Олеся Гончара**

---

**Кафедра фізичної та неорганічної хімії**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ  
ІЗ ДИСЦИПЛІН «НЕОРГАНІЧНА ХІМІЯ»  
ТА «ХІМІЯ З ОСНОВАМИ ГЕОХІМІЇ»**

**Дніпропетровськ  
РВВ ДНУ  
2014**

Наведено закони і визначення, основні поняття і формули загальної та неорганічної хімії. Уміщено приклади розв'язання типових задач та контрольні завдання для самостійного виконання.

Для студентів ДНУ заочного відділення спеціальностей «Біологія» та «Географія».

Темплан 2014, поз. 22

**Методичні рекомендації  
до виконання контрольних робіт  
із дисциплін «Неорганічна хімія»  
та «Хімія з основами геохімії»**

Укладачі: канд. хім. наук, доц. Л. В. Борщевич  
канд. хім. наук, доц. Н. В. Стець  
старш. викл. О. С. Стець

Редактор А. Я. Пащенко  
Техредактор Л. П. Замятіна  
Коректор А. Я. Пащенко

---

Підписано до друку 20.01.14. Формат 60x84/16. Папір друкарський.  
Друк плоский. Ум. друк. арк. 3,0. Ум. фарбовідб. 3,0. Обл.-вид. арк. 3,6.  
Тираж 100 пр. Зам. №

---

РВВ ДНУ, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010.  
Друкарня «Ліра», пл. Десантників, 1, м. Дніпропетровськ, 49038.  
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру серія ДП №14 від 13.07.2000 р.

## Вступ

У процесі засвоєння курсів «Неорганічна хімія» та «Хімія з основами геохімії» студенти спеціальностей «Біологія» та «Географія» заочної форми навчання повинні виконати *одну контрольну роботу*.

До написання контрольної роботи необхідно приступати тільки після опрацювання теоретичного матеріалу. Відповіді на контрольні питання повинні бути повними, але лаконічними й обґрунтованими. Усі розрахункові задачі необхідно правильно оформити: обов'язково навести коротку умову задачі, рівняння хімічної реакції або вихідні формули. Для поміток викладача слід залишити поля.

Контрольну роботу виконують в зошиті, на якому вказують дисципліну, прізвище студента та варіант. Варіанти завдань наведено в кінці даного видання, вони відповідають порядковому номеру студента в журналі академічної групи.

Готову контрольну роботу висилають до університету. Якщо роботу не зараховано, її необхідно переписати відповідно до вимог викладача. Оцінюють контрольну роботу в балах, передбачених у «Структурі рейтингової системи оцінювання» для дисциплін «Неорганічна хімія» та «Хімія з основами геохімії». У разі невиконання контрольної роботи або отримання незадовільної оцінки (правильно виконано менше 50% завдань) студента до складання екзамену (заліку) з відповідної дисципліни не допускають.

### 1. Основні хімічні поняття. Кількісні відношення в хімії

Знання основних понять хімії обов'язкове і важливе для засвоєння профільних дисциплін.

Молярна маса – це одна із важливих характеристик речовини, яка дорівнює масі одного моля речовини. Як фундаментальну константу її застосовують для характеристики індивідуальності речовини і стехіометричних розрахунків за хімічними формулами та рівняннями. Молярною масою речовини послуговуються також для вираження концентрації розчинів.

Студенти повинні засвоїти основні поняття, стехіометричні закони хімії, вміти теоретично обчислювати молярні маси хімічних сполук для характеристики тотожності речовини, прогнозувати кількісні співвідношення реагуючих речовин у хімічних реакціях.

Поняття	Визначення
Відносна атомна маса	Відношення маси атома даного елемента ( $m_a$ ) до 1/12 маси атома Карбону ( $m_a(C)$ ): $A_r = \frac{m_a}{1/12 m_a(C)}$
Масова частка	Відношення маси елемента ( $m_e$ ), який міститься в даній масі речовини, до маси речовини ( $m_p$ ): $\omega = \frac{m_e}{m_p}; \quad \omega = \frac{nA_r}{M_r} 100 \%$

Поняття	Визначення
Кількість речовини	Фізична величина, яка характеризує число атомів або молекул у даній речовині ( $\nu$ ): $\nu = \frac{N}{N_A},$ де $N$ – число атомів або молекул у речовині; $N_A$ – стала Авогадро
Стала Авогадро	Величина, яка відображає число атомів або молекул в одному молі речовини (розмірність – моль <sup>-1</sup> ) $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Молярна маса	Маса речовини ( $M$ ), яку взято в кількості речовини один моль (розмірність – г/моль): $m = \nu M;$ $\nu = \frac{m}{M}$
Молярний об'єм	Об'єм, який займає газ, узятий у кількості речовини один моль ( $V_M$ ). Молярний об'єм газів за нормальних умов дорівнює приблизно 22,4 л/моль. $V = \nu V_M;$ $\nu = \frac{V}{V_M} \text{ або } \nu = \frac{V_0}{22,4}$
Закон Авогадро	У рівних об'ємах різних газів за однакових умов міститься однакова кількість молекул. Якщо $V_1 = V_2$ при $p = const$ і $T = const$ , то $N_1 = N_2$
Відносна густина газів	Відношення маси одного газу ( $m_1$ ) до маси іншого газу ( $m_2$ ) за рівних об'ємів ( $D$ ): $D = \frac{m_1}{m_2} \text{ (при } V_1 = V_2)$

**Приклад 1.1.** Визначити масу однієї молекули карбон (IV) оксиду.

Розв'язання

1 моль  $\text{CO}_2$  містить  $6,02 \cdot 10^{23}$  молекул і важить 44 г, таким чином:

$$m_a = \frac{M(\text{CO}_2)}{N_A}.$$

Таку саму формулу можна одержати з інших міркувань:

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A};$$

оскільки за умовою задачі  $N = 1$ , то  $m = m_a$  і тоді отримаємо

$$\frac{m_a}{M} = \frac{1}{N_A}.$$

$$\text{Звідки } m_a = \frac{M(\text{CO}_2)}{N_A}, m_a = \frac{44\text{г/моль}}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 7,3 \cdot 10^{-23} \text{ г} = 7,3 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

Відповідь: маса однієї молекули  $\text{CO}_2$  дорівнює  $7,3 \cdot 10^{-26}$  кг.

**Приклад 1.2.** Визначити масову частку Карбону в метані.

Розв'язання

$$\omega = \frac{nA_r}{M_r} \cdot 100\%;$$

$$\omega(\text{C}) = \frac{A_r(\text{C})}{M_r(\text{CH}_4)} \cdot 100\%;$$

$$A_r(\text{C}) = 12;$$

$$M_r(\text{CH}_4) = 12 + 4 \cdot 1 = 16;$$

$$\omega(\text{C}) = \frac{12}{16} \cdot 100\% = 75\%.$$

Відповідь: масова частка Карбону в метані становить 75%.

**Приклад 1.3.** Визначити кількість атомів Оксигену в 320 г кисню.

Розв'язання

$$\nu(\text{O}_2) = \frac{m}{M}; \nu(\text{O}_2) = \frac{320\text{г}}{32\text{г/моль}} = 10 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{O}) = 2\nu(\text{O}_2) = 2 \cdot 10 \text{ моль} = 20 \text{ моль};$$

$$N(\text{O}) = \nu(\text{O}) \cdot N_A = 20 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 1,204 \cdot 10^{25}.$$

Відповідь:  $1,204 \cdot 10^{25}$  атомів Оксигену.

**Приклад 1.4.** Відносна густина пари речовини за повітрям становить 2. Визначте молярну масу цієї речовини.

Розв'язання

$$D_{\text{пов.}} = \frac{M}{M(\text{пов.})}, M = D_{\text{пов.}} \cdot M(\text{пов.});$$

$$M(\text{пов.}) = 29 \text{ г/моль}; M = 2 \cdot 29 \text{ г/моль} = 58 \text{ г/моль}.$$

Відповідь: молярна маса речовини 58 г/моль.

**Приклад 1.5.** Знайти формулу кристалогідрату, якщо в ній масові частки: Купрум – 25,6%, Сульфур – 12,8%, Оксиген – 25,6%, води – 36%.

Розв'язання

$$\text{Cu:S:O:H}_2\text{O} = \frac{25,6}{64} : \frac{12,8}{32} : \frac{25,6}{16} : \frac{36}{18} = 0,4:0,4:1,6:2 = 1:1:4:5.$$

Відповідь: формула кристалогідрату  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

**Приклад 1.6.** Яку масу сірки потрібно взяти, щоб у ній було стільки ж атомів, скільки в залізі масою 3,08 г ?

Розв'язання

$$M(\text{S}) = 32 \text{ г/моль}; M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль};$$

$$\nu = \frac{m}{M}; \nu(\text{Fe}) = \frac{3,08\text{г}}{56\text{г/моль}} = 0,055 \text{ моль};$$

$$m = \nu \cdot M; m(\text{S}) = 0,055 \text{ моль} \cdot 32 \text{ г/моль} = 1,76 \text{ г}.$$

Відповідь: 1,76 г сірки.

**Приклад 1.7.** Скільки молекул і атомів міститься в 11,2 л гідроген сульфур за нормальних умов?

Розв'язання

$$N(\text{H}_2\text{S}) = \nu(\text{H}_2\text{S}) \cdot N_A; \nu(\text{H}_2\text{S}) = \frac{V}{V_m};$$

$$\nu(\text{H}_2\text{S}) = \frac{11,2 \text{ л}}{22,4 \text{ л / моль}} = 0,5 \text{ моль};$$

$$N(\text{H}_2\text{S}) = 0,5 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 3,01 \cdot 10^{23} \text{ молекул.}$$

Кожна молекула гідроген сульфід містить 2 атоми Гідрогену і 1 атом Сульфур, тобто кількість атомів у молекулі втричі більша.

$$N_{\text{атомів}}(\text{H}_2\text{S}) = N(\text{H}_2\text{S}) \cdot 3 = 3 \cdot 3,01 \cdot 10^{23} = 9,03 \cdot 10^{23} \text{ атомів.}$$

Відповідь: кількість молекул –  $3,01 \cdot 10^{23}$ ; кількість атомів –  $9,03 \cdot 10^{23}$ .

**Приклад 1.8.** Молярна маса газової суміші, до складу якої входять водень і кисень, дорівнює 20 г/моль. Обчисліть об'ємну частку водню у суміші.

Розв'язання

$$M(\text{H}_2 + \text{O}_2) = \frac{\nu(\text{H}_2)M(\text{H}_2) + \nu(\text{O}_2)M(\text{O}_2)}{\nu(\text{H}_2 + \text{O}_2)}. \quad (1)$$

Оскільки ми маємо суміш газів, то молярну масу газової суміші можна визначити через об'ємні частки її компонентів:

$$M(\text{H}_2 + \text{O}_2) = \varphi(\text{H}_2)M(\text{H}_2) + \varphi(\text{O}_2)M(\text{O}_2). \quad (2)$$

Нехай об'ємна частка водню у газовій суміші становить  $x$ , тоді об'ємна частка кисню  $(1 - x)$ . Згідно з рівнянням (2) отримаємо

$$20 = 2x + 32(1 - x).$$

Звідки  $x = 0,4$ .

Відповідь: об'ємна частка водню становить 0,4 або 40%.

### Контрольні завдання

1. Обчисліть, який мінерал містить більшу масову частку елемента Феруму:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{FeAsS}$ ,  $\text{FeCO}_3$ .
2. Визначте атомну масу тривалентного металу, якщо внаслідок згорання його 5 г утворюється 9,44 г оксиду.
3. Розрахуйте масу натрій хлориду, потрібного для осадження 30 г аргентум нітрату у вигляді аргентум хлориду.
4. Розрахуйте об'єм кожного з газів у газовій суміші, що містить аміак та карбон (IV) оксид і 12 л якої має масу 18 г (н.у.).
5. Обчисліть об'єм кисню (н.у.), необхідного для згорання 3,36 л етилену.
6. Обчисліть атомну масу двовалентного металу та визначте цей метал, якщо його 8,34 г реагує з 0,68 л кисню (н.у.).
7. Визначте масу і кількість речовини аміаку в зразку цього газу, що містить  $2,5 \cdot 10^{25}$  молекул.
8. Визначте вміст Карбону в антрациті (за масою), якщо в результаті згорання 3г антрациту утворилось 5,3 л карбон (IV) оксиду (н.у.).

9. Визначте густину за воднем газової суміші, що містить однакові об'єми водню та азоту.
10. Визначте об'єм кожного з газів у вихідній суміші, якщо після вибуху 20 мл суміші водню з киснем залишилося 3,2 мл кисню.
11. Обчисліть молярну масу газу, якщо маса його 200 мл (н.у.) дорівнює 0,232 г.
12. Визначте масу зразка сульфур (IV) оксиду, що містить стільки ж молекул, скільки атомів міститься в залізі масою 1,4 г.
13. Змішали 7,3г хлороводню та 4г аміаку. Розрахуйте масу амоній хлориду, що утворюється, та масу газу, що залишився після реакції.
14. Розрахуйте вміст магнію в 5,1 г суміші, що містить магній та його оксид, якщо внаслідок обробки її соляною кислотою виділилося 3,74 л водню (н.у.).
15. Визначте атомну масу двовалентного металу, якщо в процесі розкладання 15 г його карбонату утворилося 8,4 г оксиду.
16. Обчисліть кількість речовини (н.у.): а) азоту масою 14 г; б) кисню масою 48 г; в) заліза масою 112 г; г) фосфору масою 31 г.
17. Визначте молекулярну масу газу, якщо його 5 г за нормальних умов займають об'єм 4 л.
18. Дано 10 г натрій гідроксиду та 10 г ферум (III) сульфату. Визначте, у скільки разів кількість молекул натрій гідроксиду в даній масі більша за кількість молекул ферум (III) сульфату.
19. Визначте, скільки молів атомів Нітрогену міститься в 16 г амоній нітрату.
20. Суміш газів містить  $6,02 \cdot 10^{22}$  молекул азоту та  $3,01 \cdot 10^{23}$  молекул карбон діоксиду (н.у.). Обчисліть: а) масу суміші; б) об'єм суміші.
21. Визначте масу однієї молекули гідроген пероксиду.
22. Газова суміш містить 200 мл кисню, 40 дм<sup>3</sup> аміаку та 0,5 дм<sup>3</sup> азоту (н.у.). Обчисліть: а) масу суміші; б) масові частки газів у суміші (%).
23. Відносна густина газу за воднем становить 17. Знайдіть масу 1,00 л (н.у.) цього газу та розрахуйте його відносну густину за повітрям.
24. 1 л суміші, що містить карбон монооксид та карбон діоксид (н.у.), має масу 1,43 г. Визначте об'ємні частки газів у суміші (%).
25. Маса 2 л озону (н.у.) становить 4,286 г. Визначте його молярну масу та відносну густину за повітрям.
26. Змішали 4 г метану та 24 г кисню. Визначте склад газової суміші в об'ємних відсотках.
27. 1 л газу (н.у.) має масу 1,251 г. Обчисліть густину цього газу за воднем та повітрям.
28. Маса 0,5 л (н.у.) дорівнює 1,806 г. Обчисліть відносну густину газу за карбон(IV) оксидом та метаном, а також молярну масу газу.
29. Густина газу за повітрям дорівнює 2,562. Обчисліть масу 1 л газу (н.у.).
30. Відносна густина газової суміші, яка містить водень та кисень, за воднем дорівнює 12,5. Обчисліть об'ємні частки водню та кисню в суміші.



## 2. Основні газові закони

В основі розв'язування задач лежать газові закони: закон Авогадро, закон Бойля – Маріотта, закон Гей-Люссака, рівняння Менделєєва – Клапейрона. Студенти повинні вміти здійснювати переходи від нормальних до реальних умов, застосовуючи газові закони; обчислювати молярну масу газу, його об'єм та масу за рівнянням Менделєєва – Клапейрона.

Поняття	Визначення
Закон Бойля – Маріотта	За сталої температури тиск, зумовлений даною масою газу, обернено пропорційний об'єму газу. $\frac{p_2}{p_1} = \frac{V_1}{V_2} \text{ або } pV = const$
Закон Гей-Люссака	За сталого тиску об'єм газу змінюється прямо пропорційно абсолютній температурі. $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ або } \frac{V}{T} = const$
Об'єднаний газовий закон	Відношення добутку тиску на об'єм до абсолютної температури є стала величина (об'єднує закони Бойля – Маріотта та Гей-Люссака). $\frac{pV}{T} = \frac{p_0V_0}{T_0},$ <p>де <math>p_0, V_0, T_0</math> – тиск, об'єм, температура за нормальних умов,  <math>p, V, T</math> – тиск, об'єм, температура за інших умов</p>
Нормальні умови	$p_0 = 101,3 \text{ кПа} = 1 \text{ атм.} = 760 \text{ мм рт. ст.}$ $T_0 = 273 \text{ К}$
Рівняння Менделєєва – Клапейрона	$pV = \nu RT, \nu = \frac{m}{M}, pV = \frac{m}{M} RT$
Універсальна газова стала	$R = 8,31 \text{ кДж}/(\text{моль} \cdot \text{К}) = 0,082 \text{ л} \cdot \text{атм}/(\text{моль} \cdot \text{К}) = 62630 \text{ мл} \cdot \text{мм рт.ст.}/(\text{моль} \cdot \text{К})$

**Приклад 2.1.** За нормальних умов 1 г повітря займає об'єм 773 мл. Який об'єм займе та ж маса повітря за 0°C та тиску, що дорівнює 93,3 кПа?

Розв'язання

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0V_0}{T_0}; V = \frac{p_0V_0T}{pT_0};$$

$$V = \frac{101,3 \cdot 0,773 \cdot 273}{93,3 \cdot 273} = 0,84 \text{ (л)}$$

Відповідь: об'єм повітря 0,84 л.

**Приклад 2.2.** Визначити молярну масу речовини, якщо 600 мл її пари за 87°C і тиску 83,2 кПа дорівнює 1,30 г.

Розв'язання

Із рівняння Менделєєва – Клапейрона можна виразити молярну масу речовини:

$$M = \frac{mRT}{PV} = \frac{1,3 \cdot 8,31 \cdot (87 + 273)}{83,2 \cdot 0,6} = 78 \text{ г/моль.}$$

Відповідь: молярна маса речовини дорівнює 78 г/моль.

### Контрольні завдання

31. Обчисліть масу 1 м<sup>3</sup> карбон (IV) оксиду за 27°C та 101,3 кПа.
32. Обчисліть молярну масу речовини, якщо маса 87 мл пари її за 62°C та 101 кПа дорівнює 0,24 г.
33. За 17°C та 104 кПа газ займає об'єм 480 л. Приведіть об'єм газу до н.у.
34. Обчисліть молярну масу газу, якщо маса 624 мл його за 17°C та 104 кПа дорівнює 1,56 г.
35. За 7°C та 100 кПа газ займає об'єм 600 м<sup>3</sup>. Визначте об'єм газу за -13°C та 80 кПа.
36. Тиск газу в закритому балоні за 12°C дорівнює 100 кПа. Визначте, яким стане тиск за зміни температури до 30°C.
37. Визначте, на скільки градусів треба нагріти газ, що знаходиться в закритому балоні за температури 0°C, щоб тиск його збільшився вдвічі.
38. Визначте двома способами об'єм 10 г водню за температури 17°C та тиску 506,5 кПа.
39. Визначте температуру, за якої маса 1 л карбон (IV) оксиду буде дорівнювати 1 г, якщо тиск дорівнює 152 кПа.
40. У закритому балоні об'ємом 5,6 л за 0°C знаходиться суміш, що містить 2,2 г карбон (IV) оксиду, 4 г кисню та 1,2 г метану. Визначте процентний склад суміші за об'ємом.
41. Визначте кількість молів кисню та азоту в 1 л повітря за 22°C та 100 кПа.
42. Визначте молярну масу ацетону, якщо маса 500 мл його пари за 87°C і 96 кПа дорівнює 0,93 г.
43. Газометр об'ємом 20 л наповнений газом. Густина цього газу за повітрям 0,40, тиск 103,3 кПа, температура 17°C. Обчисліть масу газу.
44. У закритому балоні знаходиться 160 г кисню під тиском 121,6 кПа за 12°C. Визначте масу карбон (IV) оксиду в об'ємі балону під тиском 202,6 кПа за температури 37°C.
45. Розрахуйте кількість речовини (моль) кисню об'ємом 33,6 л за 101,3 кПа та 25 °C.
46. Температура 1 л повітря 17°C, а тиск 101,3 кПа. Установіть, як зміниться об'єм повітря, якщо знизити температуру до -75°C, а тиск залишиться незмінний.

47. Розрахуйте об'єм азоту ( $\text{м}^3$ ), що займає  $3,01 \cdot 10^{21}$  його молекул за 101,3 кПа та  $25^\circ\text{C}$ .

48. Газ займає об'єм  $1 \text{ м}^3$  (н.у.). Установіть, до якої температури треба нагріти газ, щоб його об'єм став втричі більший, якщо тиск незмінний.

49. Обчисліть тиск, який матиме хлор масою 2,6 г і об'ємом 3 л за температури  $23^\circ\text{C}$ .

50. Кисень масою 0,1 кг займає об'єм  $0,02 \text{ м}^3$  за температури  $20^\circ\text{C}$ . Визначте тиск кисню.

51. Прожарюванням  $\text{CaCO}_3$  одержують  $\text{CO}_2$ . Визначте масу кальцій карбонату, яку треба взяти, щоб за  $15^\circ\text{C}$  і 104 кПа одержати газ об'ємом 25 л.

52. Визначте об'єм 0,1 кг газової суміші складу  $2\text{CO} + 2\text{CO}_2$  за  $50^\circ\text{C}$  і тиску 96,6 кПа.

53. Установіть, який тиск матиме 500 г етилену об'ємом 20 л за температури  $-2^\circ\text{C}$ .

54. Температура 1 л повітря  $17^\circ\text{C}$ , а тиск 101,3 кПа. Установіть, як зміниться об'єм повітря, якщо нагріти газ до  $75^\circ\text{C}$ , а тиск залишиться незмінний.

55. Визначте, який об'єм за нормальних умов займе 400 мл газу, температура якого  $50^\circ\text{C}$  за тиску  $0,954 \cdot 10^5$  кПа.

56. За температури  $17^\circ\text{C}$  і тиску  $1,040 \cdot 10^5$  кПа маса 624 мл газу дорівнює 1,56 кг. Визначте молярну масу газу.

57. Газ, густина якого за повітрям 0,6, міститься в об'ємі  $0,02 \text{ м}^3$  під тиском  $1,038 \cdot 10^5$  Па за температури  $20^\circ\text{C}$ . Визначте масу газу.

58. Об'єм гумової камери дорівнює  $0,025 \text{ м}^3$ , тиск у ній 5066,5 кПа. Визначте масу повітря, яке знаходиться в камері, якщо температура в ній  $20^\circ\text{C}$ .

59. Обчисліть молярну масу газу, якщо його 7 г за температури  $20^\circ\text{C}$  і тиску 25,3 кПа займають об'єм 22,1 л.

60. Тиск повітря в гумовій камері дорівнює 303,99 кПа, температура  $15^\circ\text{C}$ . Визначте, як зміниться тиск у камері, якщо підвищити температуру до  $60^\circ\text{C}$ . Об'єм вважати постійним.

### **3. Будова атома. Періодичний закон та періодична система хімічних елементів**

Знання будови електронних оболонок атомів дає можливість передбачити і описати властивості хімічних елементів, їх валентні стани та реакційну здатність. Теорія будови атомів є наукова основа періодичного закону Д.І. Менделєєва – одного з фундаментальних у хімії.

Студенти повинні засвоїти основні поняття і положення теорії будови атомів; вміти складати електронні та електронно-структурні формули хімічних елементів для характеристики їх валентних можливостей; вміти застосовувати періодичну систему Д.І. Менделєєва для характеристики хімічних властивостей елементів.

Поняття	Визначення
Атом	Електронейтральна система, що складається з позитивно зарядженого ядра та негативно зарядженої електронної оболонки
Ядро (або нуклід)	Центральна позитивно заряджена частина атома, у якій зосереджена його маса. Ядро складається з протонів та нейтронів
Електрон	Негативно заряджена частинка. Кількість електронів у атомі дорівнює кількості протонів, а також відповідає порядковому номеру в періодичній системі Д.І. Менделєєва
Орбіталь	Частина простору навколо ядра, у якій рухається електрон
Періодичний закон	Властивості хімічних елементів, а також будова та властивості утворених ними сполук знаходяться в періодичній залежності від заряду атомного ядра
Періодична система хімічних елементів	Графічне зображення періодичного закону
Період	Горизонтальна послідовність елементів за зростанням порядкового номера від першого s-елемента ( $ns^1$ ) до шостого p-елемента ( $ns^2np^6$ )
Група	Вертикальна послідовність елементів за зростанням порядкового номера, які мають однотипну електронну будову і є хімічними аналогами

**Приклад 3.1.** Оксид хімічного елемента третьої групи періодичної системи має відносну молекулярну масу 70. Назвати хімічний елемент, скласти формулу його гідроксиду.

Розв'язання

Нехай  $A_r(E) = x$ , оскільки елемент знаходиться в III групі, то формула цього оксиду  $E_2O_3$ , тоді

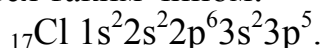
$$\begin{aligned} M_r(E_2O_3) &= 2x + 3 \cdot 16, \\ 70 &= 2x + 48, \\ 70 - 48 &= 2x, \\ 22 &= 2x, \quad x = 22/2 = 11, \\ A_r(E) &= 11. \end{aligned}$$

Відповідь: шуканий елемент – Бор, його гідроксид – боратна кислота ( $H_3BO_3$ ).

**Приклад 3.2.** Написати електронну формулу елемента хлору. Указати молекулярну масу його сполуки з воднем.

Розв'язання

Електронна формула показує розподіл електронів в атомі по орбіталях. 17 електронів хлору розподіляються таким чином:



Валентність хлору в сполуках з елементами, які мають меншу електронегативність, дорівнює 1. Тому формула його сполуки з гідрогеном – HCl. Молекулярна маса цієї сполуки 36,5.

Відповідь: молекулярна маса сполуки 36,5 а.о.м.

**Приклад 3.3.** Скласти електронну формулу елемента з порядковим номером 19.

Розв'язання

В атомі 19 електронів. Цей елемент – Калій. Електронна формула має вигляд  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$ .

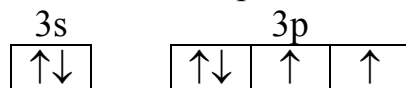
Відповідь:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$ .

**Приклад 3.4.** Скласти електронні формули атома сульфору і іонів сульфору зі ступенями окиснення 0, -2, +4, +6. Зазначити розподіл електронів зовнішнього енергетичного рівня за орбіталями.

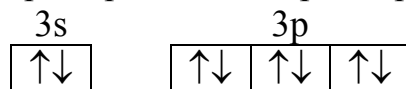
Розв'язання

Сульфур – елемент з порядковим номером 16. Електронна формула атома сульфору, що відповідає ступеню окиснення 0, має такий вигляд:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ .

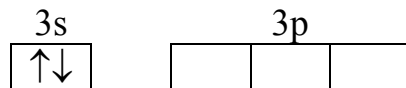
Розподіл електронів зовнішнього енергетичного рівня за орбіталями:



У ступені окиснення -2 атом сульфору має на 2 електрони більше. Ці електрони розміщуються на 3p-підрівні  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ .



Переходячи в ступінь окиснення +4, атом сульфору віддає чотири електрони з 3p-підрівня:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^0$ ,



а в ступінь окиснення +6 – шість електронів з 3s- і 3p-підрівнів:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^0 3p^0$ .

**Приклад 3.5.** Назвати елемент за такими даними: знаходиться в I групі, відносна молекулярна маса гідроксиду дорівнює 40.

Розв'язання

Елементу першої групи відповідає гідроксид із загальною формулою EOH.

$$M_r(\text{EOH}) = A_r(\text{E}) + 16 + 1, \quad M_r(\text{EOH}) = 40, \quad M_r(\text{EOH}) = A_r(\text{E}) + 17,$$

$$40 = A_r(\text{E}) + 17,$$

$$A_r(\text{E}) = 40 - 17 = 23.$$

Відносну атомну масу 23 має елемент Натрій.

Відповідь: Натрій.

**Приклад 3.6.** Скласти електронну формулу атома, який має чотири енергетичні рівні, а на останньому з них знаходиться 6 електронів.

Розв'язання

Якщо в атомі на зовнішньому рівні знаходиться 6 електронів, це означає, що елемент розташований у головній підгрупі VI групи. Оскільки в атомі чотири

енергетичні рівні, то він знаходиться в четвертому періоді. Цей елемент – Селен.  
 ${}_{34}\text{Se } 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^4$ .

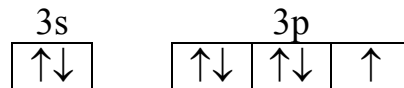
Відповідь: Селен.

**Приклад 3.7.** Визначити, скільки неспарених електронів має Хлор у незбудженому стані.

Розв'язання

Елемент Хлор знаходиться в головній підгрупі сьомої групи третього періоду. Тому валентний рівень має такий вигляд:  ${}_{17}\text{Cl } \dots 3s^2 3p^5$ .

Розподіл електронів зовнішнього енергетичного рівня за орбіталями:



У незбудженому стані атом має один неспарений електрон.

Відповідь: один неспарений електрон.

**Приклад 3.8.** Визначити загальну кількість електронів в іоні  $\text{N}^{3-}$ .

Розв'язання

Нітроген у періодичній системі має порядковий номер 7. У ступені окиснення  $-3$  атом має на три електрони більше. Їх загальна кількість – 10.

Відповідь: 10 електронів.

**Приклад 3.9.** Кислота має формулу  $\text{H}_2\text{EO}_3$ . Кислотоутворювальний елемент має вищий ступінь окиснення. Елемент розташований у четвертому періоді й належить до р-елементів. Назвіть кислоту, складіть формулу оксиду, що відповідає наведеній кислоті.

Розв'язання

Визначимо валентність кислотоутворювального елемента:



Отже, це елемент IV групи. Тепер про елемент відомо, що він розташований у четвертому періоді, IV групі, головній підгрупі. Таке положення в періодичній системі займає Германій.

Відповідь: елемент – Германій, оксид –  $\text{GeO}_2$ .

### Контрольні завдання

61. Укажіть, які досліди обумовили виникнення планетарної моделі атома. Напишіть електронні формули атомів Калію, Плюмбуму, Селену.

62. Сформулюйте постулати Бора. Напишіть електронні формули атомів Бору, Хрому, Йоду.

63. Укажіть, які елементи називають електронними аналогами. Напишіть електронні формули атомів Натрію, Молібдену, Цинку.

64. Зазначте, які квантові числа характеризують стан електрона в атомі. Напишіть електронні формули атомів Аргентуму, Галію, Вольфраму.

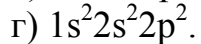
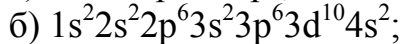
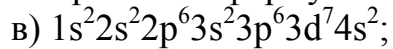
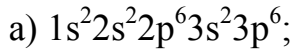
65. Сформулюйте принцип Паулі і правило Гунда. Напишіть електронні формули атомів Літію, Броду, Лантану.

66. Дайте визначення енергії іонізації. Напишіть електронні формули атомів Актинію, Стануму, Астату.

67. Дайте визначення енергії спорідненості до електрона. Напишіть електронні формули атомів Карбону, Хлору, Скандію.

68. Дайте визначення електронегативності. Напишіть електронні формули атомів Силіцію, Барію, Хрому.

69. Укажіть елементи за наведеними електронними формулами їх атомів:



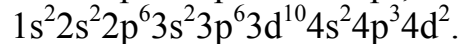
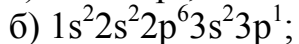
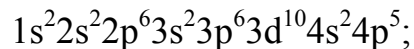
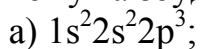
70. Електронна будова атома  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$ . Назвіть:

а) тип елементів, до якого належить атом;

б) номер періоду, у якому знаходиться атом;

в) максимальний та мінімальний валентні стани атома.

71. Визначте, у якому випадку наведені нижче електронні формули атомів відповідають різним елементам, а в якому – атомам одного й того ж елемента в основному та збудженому стані:



72. Назвіть елемент та складіть електронну формулу його атома та іона, якщо атом елемента має на 7 електронів більше, ніж іон натрію.

73. Серед наведених нижче електронних конфігурацій укажіть неможливі та доведіть свою відповідь: а)  $1p^3$ ; б)  $3p^6$ ; в)  $3s^2$ ; г)  $2d^1$ ; д)  $5f^4$ ; е)  $2p^1$ ; є)  $3p^8$ ; ж)  $4d^{12}$ ; з)  $5f^{12}$ .

74. Укажіть, скільки вакантних d-орбіталей мають збуджені атоми а) Cl; б) V; в) Mn; г) Fe.

75. Зазначте, який підрівень в атомах заповнюється раніше: 4d чи 5s; 6s чи 5p; 4f чи 5d. Свою думку доведіть.

76. З'ясуйте, скільки непарних електронів містять незбуджені атоми В; S; As; Cr; Hg; Eu. Відповідь доведіть.

77. Напишіть електронні формули таких іонів:  $Fe^{2+}$ ;  $Se^{2-}$ ;  $Cl^-$ ;  $Al^{3+}$ ;  $Mn^{2+}$ .

78. За електронною будовою зовнішнього енергетичного рівня визначте елемент: а)  $3s^2 3p^4$ ; б)  $4s^2 4p^6$ ; в)  $2s^2 2p^1$ ; г)  $5s^2 5p^3$ ; д)  $6s^2 6p^2$ ; е)  $5s^2 5p^5$ ; є)  $3d^6 4s^2$ ; ж)  $3d^5 4s^1$ .

79. Укажіть, які з наведених іонів мають структуру, ізоелектронну атому Аргону:  $K^+$ ;  $Zn^{2+}$ ;  $S^{2-}$ ;  $Fe^{3+}$ ;  $Cl^-$ .

80. Поясніть, чому атоми Флуору та Хлору, маючи аналогічну електронну конфігурацію зовнішнього енергетичного рівня, проявляють різний валентний стан. Укажіть цей стан.

81. Розмістіть наведені нижче атоми в порядку зростання їх електронегативностей: а) F, Sn, O, Te, K, N; б) Pb, Br, I, F, S, P.

82. Поясніть особливості електронних конфігурацій атомів Купруму та Хрому. Укажіть, скільки 3d- та 4s-електронів містять атоми цих елементів в основному стані.

83. Елемент утворює з Гідрогеном газоподібну сполуку, масова частка Гідрогену в якій 12,5%. Його вищий солетворний оксид має формулу  $EO_2$ . Назвіть невідомий елемент.

84. У результаті взаємодії невідомого металу масою 2 г з водою виділилось 1,12 л (н.у.) водню. Метал належить до II групи періодичної системи хімічних елементів. Визначте метал та поясніть, із якими сполуками взаємодіє його оксид.

85. Елемент четвертого періоду побічної підгрупи має вищий оксид  $\text{EO}_3$ . Визначте цей елемент, напишіть електронну конфігурацію його атома. З'ясуйте, чи утворює він газоподібну сполуку з Гідрогеном.

86. Визначте молекулярну формулу гідроксиду. Відомо, що відносна молекулярна маса цієї сполуки становить 121, а елемент, що входить до його складу, належить до III групи періодичної системи.

87. Один із елементів, які передбачив Д.І. Менделєєв, утворює оксид, масова частка Оксигену в якому становить 30,5%. Сполука даного елемента з Гідрогеном має склад  $\text{EH}_4$ . Визначте невідомий елемент, складіть формулу його гідроксиду, вкажіть кислотно-основні властивості.

88. Вищий оксид елемента має загальну формулу  $\text{EO}_3$ . Елемент утворює летку водневу сполуку, густина якої за повітрям дорівнює 2,793. Визначте елемент, напишіть електронну конфігурацію його атома.

89. Вищий оксид елемента має загальну формулу  $\text{EO}_2$ . Елемент утворює летку водневу сполуку, густина якої за повітрям дорівнює 0,552. Визначте елемент та напишіть електронну конфігурацію його атома.

90. Вищий оксид елемента, який знаходиться в V групі періодичної системи елементів, має відносну молекулярну масу 142. Визначте невідомий елемент, напишіть електронно-графічну конфігурацію його атома, укажіть можливі ступені окиснення, складіть формули оксидів та гідроксидів та опишіть кислотно-основні властивості.

#### 4. Хімічний зв'язок

Вчення про хімічні зв'язки дає інформацію про будову речовини, її властивості, реакційну здатність, а в деяких випадках і про біологічну активність.

Студенти повинні засвоїти основні поняття про природу хімічного зв'язку і будову хімічних сполук; вміти застосовувати теорію будови речовини для встановлення структури молекул та прогнозування реакційної здатності речовин.

Поняття	Визначення
Хімічний зв'язок	Взаємодія двох або кількох атомів, у результаті якої утворюється хімічно стійка дво- або багатоатомна система
Типи хімічного зв'язку	Ковалентний, іонний, металічний та водневий
Ковалентний зв'язок	Зв'язок, який виникає внаслідок утворення спільних електронних пар
Ковалентний неполярний зв'язок	Ковалентний зв'язок, утворений двома атомами з однаковою електронегативністю (зв'язок між атомами однакових неметалів $\text{H}_2$ , $\text{O}_2$ , $\text{N}_2$ , $\text{O}_3$ )



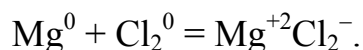
Поняття	Визначення
Ковалентний полярний зв'язок	Хімічний зв'язок, утворений атомами, електронегативність яких мало відрізняється (зв'язок між атомами різних неметалів HCl, CO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> )
Іонний зв'язок	Хімічний зв'язок між іонами внаслідок дії електростатичних сил притягання, який утворюється під час взаємодії атомів елементів з електронегативностями, що різко відрізняються (метал – неметал)
Водневий зв'язок	Трицентровий зв'язок типу X–H...Y, який виникає через атом Гідрогену між двома найбільш електронегативними атомами X та Y (найчастіше атомами Флуору, Оксигену та Нітрогену)
Металічний зв'язок	Багатоцентровий зв'язок у металах та їх сплавах між позитивними іонами та валентними електронами, спільними для всіх іонів

**Приклад 4.1.** Написати рівняння реакції між простими речовинами, утвореними елементами, електронні формули атомів яких мають закінчення  $\dots 3s^2$ ;  $\dots 3s^2 3p^5$ . Указати окисник і відновник, тип хімічного зв'язку в утвореній сполуці.

#### Розв'язання

Валентна формула атома ( $\dots 3s^2$ ) вказує на те, що цей елемент розташований у третьому періоді, II групі, головній підгрупі. Це – Магній.

Якщо валентна формула атома має закінчення  $\dots 3s^2 3p^5$ , це означає, що елемент знаходиться в третьому періоді, VII групі ( $2 + 5 = 7$ ), належить до *p*-елементів. Цей елемент – Хлор. Рівняння реакції між шуканими простими речовинами має вигляд



Магній – відновник, Хлор – окисник. Хімічний зв'язок між металом та неметалом – іонний.

**Приклад 4.2.** Визначити тип хімічного зв'язку в молекулах KCl, N<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>. Відповідь обґрунтувати.

#### Розв'язання

KCl – іонний тип зв'язку, оскільки він утворюється між двома атомами, що дуже відрізняються між собою за значеннями електронегативності (метал і неметал);

N<sub>2</sub> – молекула утворена між атомами одного й того ж елемента, таким чином, зв'язок ковалентний неполярний;

SiO<sub>2</sub> – зв'язок утворений між атомами однакової природи (неметали), а тому має місце ковалентний полярний зв'язок. Електронегативність Оксигену більша за електронегативність Силіцію.

#### Контрольні завдання

91. Охарактеризуйте типи хімічного зв'язку та поясніть різницю в механізмах їх утворення.

92. Поясніть механізм утворення ковалентного полярного зв'язку. Виходячи зі значень електронегативностей елементів визначте, який зі зв'язків  $\text{H—I}$ ,  $\text{I—Cl}$ ,  $\text{Br—F}$  найбільш полярний.

93. Поясніть утворення ковалентного зв'язку за донорно-акцепторним механізмом. Визначте, як утворилися зв'язки в іонах  $\text{NH}_4^+$  та  $\text{BF}_4^-$ .

94. Визначте тип хімічного зв'язку та напишіть електронні схеми утворення молекул фтору, азоту, кисню, карбон діоксиду, гідроген хлориду.

95. Охарактеризуйте тип хімічного зв'язку в сполуках  $\text{CaH}_2$ ,  $\text{SiH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{HI}$ . Користуючись даними таблиці відносних електронегативностей, визначте, який з наведених зв'язків найбільш полярний.

96. Охарактеризуйте тип хімічного зв'язку в сполуках  $\text{KCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{FeCl}_3$ . Користуючись даними таблиці відносних електронегативностей, визначте, який із наведених зв'язків має найменший ступінь іонності.

97. Визначте тип хімічного зв'язку в сполуках  $\text{Mg}_2\text{Si}$ ,  $\text{XeO}_4$ ,  $\text{CF}_4$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{MgH}_2$ . Укажіть, до якого з елементів зміщені спільні електронні пари в наведених сполуках.

98. Дайте визначення водневого зв'язку. Поясніть, між якими молекулами можуть утворюватись водневі зв'язки:  $\text{HF}$ ,  $\text{HI}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2\text{Te}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{PH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{SiH}_4$ .

99. Дайте визначення металічного зв'язку. Наведіть приклади сполук з таким зв'язком.

100. Визначте тип хімічного зв'язку в сполуках  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ . Відповідь поясніть.

101. Укажіть тип хімічного зв'язку в кожній з наведених сполук:  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_3\text{N}$ ,  $\text{F}_2$ . Відповідь поясніть.

102. Поясніть механізм утворення молекул: а) бор трифториду; б) дигідрогенсульфіду; в) кальцій хлориду.

103. Укажіть, у якій з наведених сполук зв'язок елемент – хлор має іонну природу:  $\text{CCl}_4$ ,  $\text{Cl}_2\text{O}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{ICl}_7$ ,  $\text{CsCl}$ . Відповідь обґрунтуйте.

104. Напишіть електронні схеми утворення молекул фтору, азоту, кисню, карбон діоксиду, гідроген хлориду.

105. Установіть, скільки спільних електронних пар утворюють зв'язки в таких сполуках: а) алюміній нітрид; б) ксенон тетрафторид; в) кальцій фосфід.

106. Поясніть механізм утворення молекул: а) сульфур тетрафториду; б) кисень дифториду; в) силану ( $\text{SiH}_4$ ).

107. Складіть рівняння реакції між простими речовинами, утвореними елементами з порядковими номерами 15 і 8. Назвіть тип хімічного зв'язку утвореної сполуки.

108. Поясніть механізм утворення іона фосфонію  $\text{PH}_4^+$ . Укажіть кількість *p*-електронів, які беруть участь в утворенні зв'язків.

109. Напишіть структурну формулу сульфатної кислоти. Укажіть кількість електронів, які беруть участь в утворенні спільних електронних пар.

110. Укажіть тип хімічного зв'язку в таких сполуках:  $\text{KCl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NaBr}$ . Відповідь обґрунтуйте.

111. Дайте визначення водневого зв'язку. Укажіть, між молекулами яких речовин він має місце. Поясніть, чому  $\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{HF}$  мають більш високі температури плавлення та кипіння, ніж їх аналоги  $\text{H}_2\text{S}$  та  $\text{HCl}$ .

112. Укажіть тип хімічного зв'язку в таких сполуках:  $\text{K}_2\text{S}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ . Відповідь обґрунтуйте.

113. Складіть рівняння реакції між простими речовинами, утвореними елементами з порядковими номерами 1 і 9. Визначте, який тип хімічного зв'язку має утворена сполука.

114. Укажіть тип хімічного зв'язку в таких сполуках:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{NaCl}$ . Відповідь обґрунтуйте.

115. Складіть рівняння реакції між простими речовинами, утвореними елементами з порядковими номерами 6 і 8. Визначте, який тип хімічного зв'язку має утворена сполука.

116. Охарактеризуйте ковалентний тип хімічного зв'язку. Поясніть направленість ковалентного зв'язку. Зазначте, як метод валентного зв'язку пояснює будову молекули води.

117. Поясніть утворення з атомів таких молекул:  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{I}_2$ . Укажіть тип хімічного зв'язку і розподіл зарядів у них.

118. Визначте тип хімічного зв'язку в  $\text{Na}_2\text{S}$ . Поясніть механізм його утворення.

119. Установіть, у яких речовинах найбільша і найменша полярність зв'язку:  $\text{N}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{HF}$ ,  $\text{HI}$ . Визначте типи зв'язку в цих сполуках.

120. Установіть, у яких речовинах найбільша і найменша полярність зв'язку:  $\text{Br}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ . Визначте типи зв'язку в цих сполуках.

## 5. Основні класи неорганічних сполук

На сьогодні відомі десятки тисяч неорганічних речовин, які поділяють на чотири основні класи – оксиди, гідроксиди, кислоти, солі. Номенклатура хімічних сполук – це основа загальної хімії та інших хімічних дисциплін.

Студенти повинні знати основні класи неорганічних сполук та їх характерні хімічні властивості, уміти формулювати чіткі поняття про принципи сучасної номенклатури неорганічних сполук, складати молекулярні та графічні формули найважливіших класів неорганічних сполук, а також записувати основні рівняння хімічних реакцій.

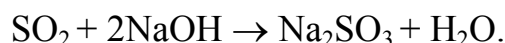
Поняття	Визначення
Оксиди	Бінарні сполуки Оксигену з іншими елементами, у яких Оксиген проявляє ступінь окиснення -2
Гідроксиди	Неорганічні сполуки, що містять гідроксид-іони
Основні гідроксиди (основи)	Сполуки, які під час розчинення у воді дисоціюють з утворенням гідроксид-іонів і основних залишків. Наприклад: $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$

Поняття	Визначення
Кислотні гідроксиди	Сполуки, які внаслідок розчинення у воді дисоціюють з утворенням катіонів Гідрогену і кислотних залишків, що містять Оксиген. Наприклад: $\text{HClO}_4 \rightarrow \text{H}^+ + \text{ClO}_4^-$
Амфотерні гідроксиди	Сполуки, що проявляють властивості і основ, і кислот. Наприклад: $\text{Zn(OH)}_2 + 2\text{HCl} = \text{ZnCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O};$ $\text{Zn(OH)}_2 + \text{NaOH}_{(\text{тв.})} \xrightarrow{t} \text{Na}_2\text{ZnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O};$ $\text{Zn(OH)}_2 + \text{NaOH}_{(\text{р-н})} = \text{Na}_2[\text{Zn(OH)}_4]^{2-}$
Кислоти	Сполуки, які в результаті розчинення у воді дисоціюють з утворенням катіонів Гідрогену і кислотних залишків. За хімічним складом кислотних залишків кислоти класифікують на оксигеновмісні (кислотні гідроксиди) і безоксигенові. Наприклад: $\text{HClO}_4 = \text{H}^+ + \text{ClO}_4^-;$ $\text{HBr} = \text{H}^+ + \text{Br}^-$
Солі	Продукти взаємодії кислот і основ, що вміщують основний і кислотний залишки. Солі поділяють на середні, кислі і основні
Середні солі	Солі, які не містять ні катіонів Гідрогену, ні гідроксид-іонів. Наприклад: $\text{Na}_3\text{PO}_4$ (натрій фосфат), $\text{K}_2\text{CO}_3$ (калій карбонат)
Кислі солі	Солі, до складу кислотних залишків яких входять катіони Гідрогену. Наприклад: $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ (натрій дигідрогенфосфат), $\text{KHCO}_3$ (калій гідрогенкарбонат)
Основні солі	Солі, до складу основних залишків яких входять гідроксид-іони. Наприклад: $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$ (купрум гідроксокарбонат), $\text{MgOHCl}$ (магній гідроксохлорид)

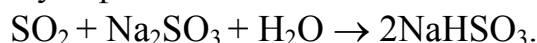
**Приклад 5.1.** Написати рівняння реакцій, що характеризують такі перетворення:  $\text{SO}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{NaHSO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4$ .

Розв'язання

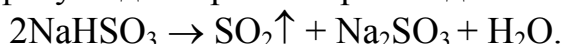
Унаслідок пропускання  $\text{SO}_2$  через надлишок розчину натрій гідроксиду утворюється натрій сульфід:



У результаті пропускання надлишку  $\text{SO}_2$  через розчин натрій сульфід утворюється натрій гідрогенсульфід:



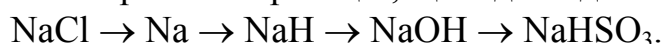
Натрій гідрогенсульфід у ході нагрівання розкладається:



Сульфатна кислота витискає сульфідну кислоту із сульфідів:

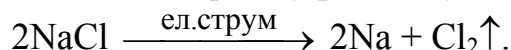


**Приклад 5.2 .** Написати рівняння реакцій, що відповідають схемі



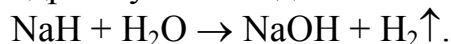
## Розв'язання

Натрій утворюється внаслідок електролізу розплаву натрій хлориду:

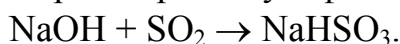


Натрій реагує з воднем:  $2\text{Na} + \text{H}_2 \rightarrow 2\text{NaN}$ .

Натрій гідрид повністю гідролізується водою:



У результаті пропускання надлишку сульфур (IV) оксиду через розчин натрій гідроксиду утворюється натрій гідрогенсульфіт:



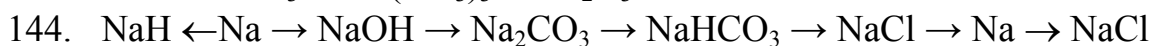
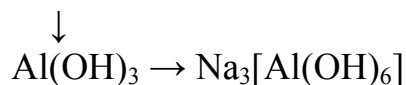
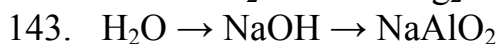
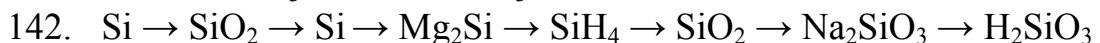
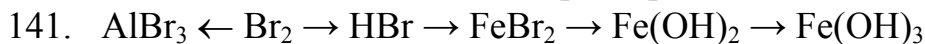
## Контрольні завдання

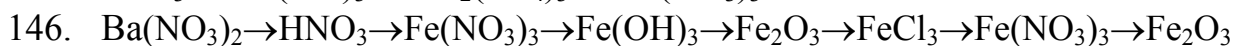
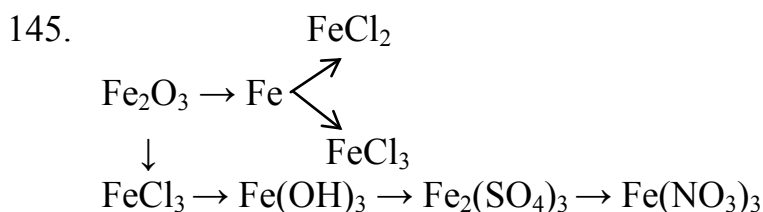
У завданнях 121 – 140 допишіть рівняння хімічних реакцій. Визначте клас, до якого належать продукти реакції, та назвіть їх за сучасною номенклатурою.

- |  |   |
|--|---|
| 121. а) $\text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow$ ;                             | г) $\text{ZnO} + \text{NaOH} \rightarrow$ ;                           |
| б) $\text{CuSO}_4 + \text{Fe} \rightarrow$ ;                               | д) $\text{Ca(OH)}_2 + \text{NO}_2 \rightarrow$ ;                      |
| в) $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{HCl} \rightarrow$ ;                      | е) $\text{KOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ .                 |
| 122. а) $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ;                     | г) $\text{MgCl}_2 + \text{AgNO}_3 \rightarrow$ ;                      |
| б) $\text{ZnO} + \text{KOH} \rightarrow$ ;                                 | д) $\text{HCl} + \text{BaO} \rightarrow$ ;                            |
| в) $\text{Al(NO}_3)_3 + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow$ ;                | е) $\text{Ba} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ .                     |
| 123. а) $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ;                    | г) $\text{P}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ;          |
| б) $\text{Na}_2\text{S} + \text{Pb(NO}_3)_2 \rightarrow$ ;                 | д) $\text{Mg} + \text{CO}_2 \rightarrow$ ;                            |
| в) $\text{CaC}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ;                       | е) $\text{FeCl}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$ .                        |
| 124. а) $\text{Al(OH)}_3 \xrightarrow{t\uparrow} \rightarrow$ ;            | г) $\text{ZnO} + \text{NaOH} \rightarrow$ ;                           |
| б) $\text{Na} + \text{O}_2 \rightarrow$ ;                                  | д) $\text{ZnSO}_4 + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow$ ;               |
| в) $\text{Ca(OH)}_2 + \text{P}_2\text{O}_5 \rightarrow$ ;                  | е) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow$ . |
| 125. а) $\text{CaCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$ ;                         | г) $\text{Sn(OH)}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ;            |
| б) $\text{Mg(OH)}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ;                 | д) $\text{NaOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ;                |
| в) $\text{Na} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ;                          | е) $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow$ .                      |
| 126. а) $\text{Ca(HCO}_3)_2 + \text{NaOH} \rightarrow$ ;                   | г) $\text{Al(NO}_3)_3 + \text{KOH} \rightarrow$ ;                     |
| б) $\text{NaOH} + \text{CO}_2 \rightarrow$ ;                               | д) $\text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ;    |
| в) $\text{Ca} + \text{Si} \rightarrow$ ;                                   | е) $\text{CdSO}_4 + \text{Na}_2\text{S} \rightarrow$ .                |
| 127. а) $\text{PCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ;                  | г) $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ;                   |
| б) $\text{POCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ;                      | д) $\text{Zn(OH)}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ;            |
| в) $\text{Al(OH)Cl}_2 + \text{HCl} \rightarrow$ ;                          | е) $\text{Fe(OH)}_3 + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow$ .           |
| 128. а) $\text{Al(OH)}_3 + \text{HCl} \rightarrow$ ;                       | г) $\text{Fe(OH)}_3 \xrightarrow{t\uparrow} \rightarrow$ ;            |
| б) $\text{Zn(OH)}_2 + \text{KOH} \rightarrow$ ;                            | д) $\text{Na[Al(OH)}_4] + \text{CO}_2 \rightarrow$ ;                  |
| в) $\text{Al(OH)}_3 + \text{NaOH} \rightarrow$ ;                           | е) $\text{Cr(OH)}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ .            |
| 129. а) $\text{Cr(OH)}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ;            | г) $\text{Mg} + \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow$ ;                 |
| б) $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{NaOH} \rightarrow$ ;                     | д) $\text{NH}_4\text{OH} + \text{SO}_3 \rightarrow$ ;                 |
| в) $\text{KOH} + \text{Cr(OH)}_3 \rightarrow$ ;                            | е) $\text{NaHSO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow$ .                       |
| 130. а) $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ; | г) $\text{CaCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ;   |
| б) $\text{Bi(NO}_3)_3 + \text{KOH} \rightarrow$ ;                          | д) $\text{MgCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$ ;                         |
| в) $\text{AgNO}_3 + \text{KI} \rightarrow$ ;                               | е) $\text{Al} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ .                  |

131. а)  $\text{Cu} + \text{HNO}_3 (\text{конц.}) \rightarrow$ ; б)  $\text{V}_2\text{O}_5 + \text{NaOH} \rightarrow$ ; в)  $\text{CrO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow$ ;  
 132. а)  $\text{PCl}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ; б)  $\text{PbO} + \text{SO}_3 \rightarrow$ ; в)  $\text{BaS} + \text{HNO}_3 \rightarrow$ ;  
 133. а)  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ; б)  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{NaOH} \rightarrow$ ;  
 в)  $\text{CaCO}_3 \xrightarrow{t^\uparrow}$ ;  
 134. а)  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 + \text{NaOH} \rightarrow$ ; б)  $\text{Cu} + \text{HNO}_3 (\text{разб.}) \rightarrow$ ; в)  $\text{Fe} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ;  
 135. а)  $\text{CdCl}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow$ ; б)  $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow$ ; в)  $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ;  
 в)  $\text{Sr}(\text{OH})_2 \xrightarrow{t^\uparrow}$ ;  
 б)  $\text{NaOH} + \text{SO}_2 \rightarrow$ ; в)  $\text{CaO} + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow$ ;  
 137. а)  $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{NaOH} \rightarrow$ ; б)  $\text{K}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ; в)  $\text{H}_3\text{BO}_3 + \text{NaOH} \rightarrow$ ;  
 в)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{t^\uparrow}$ ;  
 б)  $\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow$ ; в)  $\text{Fe} + \text{CuSO}_4 \rightarrow$ ;  
 139. а)  $\text{Cu}(\text{OH})_2 \xrightarrow{t^\uparrow}$ ; б)  $\text{HNO}_3 + \text{CaCl}_2 \rightarrow$ ; в)  $\text{Al} + \text{Cl}_2 \rightarrow$ ;  
 140. а)  $\text{KOH} + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow$ ; б)  $\text{Zn} + \text{Br}_2 \rightarrow$ ; в)  $\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow$ ;  
 г)  $\text{PbO}_2 + \text{Na}_2\text{O} \rightarrow$ ; д)  $\text{Mn}_2\text{O}_7 + \text{KOH} \rightarrow$ ; е)  $\text{PCl}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ;  
 г)  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SO}_2 \rightarrow$ ; д)  $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{CaCl}_2 \rightarrow$ ; е)  $\text{MoS}_2 + \text{O}_2 \rightarrow$ ;  
 г)  $\text{NaOH} + \text{HCl} \rightarrow$ ; д)  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_3\text{PO}_4 \rightarrow$ ;  
 е)  $\text{K}_2\text{SO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$ ;  
 г)  $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow$ ; д)  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$ ; е)  $\text{Zn} + \text{HNO}_3 (\text{конц.}) \rightarrow$ ;  
 г)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{Zn} \rightarrow$ ; д)  $\text{KOH} + \text{N}_2\text{O}_3 \rightarrow$ ; е)  $\text{Mg}(\text{OH})_2 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow$ ;  
 г)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow$ ;  
 д)  $\text{Fe}(\text{OH})_3 \xrightarrow{t^\uparrow}$ ;  
 е)  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$ ;  
 г)  $\text{NiCl}_2 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow$ ; д)  $\text{P}_2\text{O}_5 + \text{NaOH} \rightarrow$ ; е)  $\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow$ ;  
 г)  $\text{Al} + \text{HCl} \rightarrow$ ; д)  $\text{Al} + \text{O}_2 \rightarrow$ ; е)  $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ;  
 г)  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow$ ; д)  $\text{Na}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ; е)  $\text{BaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ ;  
 г)  $\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{кат}}$ ; д)  $\text{Na}_2\text{S} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow$ ; е)  $\text{Li} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ .

У завданнях 141 – 146 здійсніть перетворення.





147. Кальцій  $\rightarrow$  кальцій оксид  $\rightarrow$  кальцій гідроксид  $\rightarrow$  кальцій карбонат  $\rightarrow$  кальцій гідрокарбонат  $\rightarrow$  карбон(IV) оксид  $\rightarrow$  магній карбонат  $\rightarrow$  магній хлорид.

148. Фосфор  $\rightarrow$  фосфор(V) оксид  $\rightarrow$  ортофосфатна кислота  $\rightarrow$  натрій фосфат  $\rightarrow$  натрій дигідрофосфат  $\rightarrow$  натрій гідрофосфат  $\rightarrow$  натрій фосфат  $\rightarrow$  натрій хлорид.

149. Напишіть не менше семи молекулярних рівнянь можливих реакцій між такими речовинами: азот, кисень, водень, хлор, барій та продуктами їх взаємодії. Зазначте необхідні умови перебігу реакцій.

150. Напишіть не менше семи молекулярних рівнянь можливих реакцій між такими речовинами: аміак, кисень, водень, хлор, алюміній та продуктами їх взаємодії. Зазначте необхідні умови перебігу реакцій.

## 6. Основні закономірності перебігу хімічних реакцій

Знання методів визначення теплових ефектів, особливостей енергетики хімічних процесів, розв'язування задач з хімічної термодинаміки дозволяють теоретично передбачати можливість перебігу кожної хімічної реакції. Хімічна кінетика вивчає швидкість хімічних реакцій залежно від умов їх проходження (температура, тиск, каталізатор, природа розчиненої речовини і розчинника, запас енергії в молекулі тощо).

Студенти повинні навчитися розраховувати теплові ефекти та термодинамічні потенціали хімічних процесів, застосовуючи таблиці термодинамічних величин; вміти застосувати їх для характеристики хімічних сполук, визначення напрямку процесу; розуміти умови оборотності та необоротності хімічних процесів, вміти розраховувати константу рівноваги хімічної реакції.

Поняття	Визначення
Хімічна термодинаміка	Розділ хімії про перетворення енергії в хімічних реакціях та здатність хімічних систем виконувати корисну роботу
Тепловий ефект реакції	Кількість теплоти, яка виділилась або поглинулась хімічною системою під час проходження в ній хімічної реакції. Тепловий ефект позначають символами $Q$ чи $\Delta H$ ( $Q = -\Delta H$ ) (кДж/моль)
Термохімічне рівняння	Рівняння реакції, у якому для речовин наданий їх агрегатний стан, а також вказаний тепловий ефект реакції. З термохімічними рівняннями можна виконувати математичні дії (додавання, віднімання, пропорційне множення чи ділення)

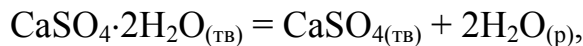
Поняття	Визначення
Ентальпія (теплота) утворення	Тепловий ефект реакції утворення 1 моля складної речовини з простих. Теплота утворення простих речовин дорівнюють нулю. Позначають тепловий ефект $\Delta H^0_{\text{утв}}$ (кДж/моль)
Стандартний стан системи	Стан речовини за 101,3 кПа (1 атм, 760 мм рт.ст.) та 298 К (25°C)
Перший закон термодинаміки	Теплота ( $Q$ ), надана системі, витрачається на зміну її внутрішньої енергії ( $\Delta U$ ) та виконання роботи проти зовнішніх сил ( $A$ ): $Q = \Delta U + A$
Закон Лавуазьє – Лапласа	Теплота розкладу речовини чисельно дорівнює теплоті її утворення, але має протилежний знак
Закон Гесса	Тепловий ефект хімічної реакції залежить від природи і стану реагуючих речовин та продуктів реакції, але не залежить від шляху процесу
Наслідок закону Гесса	Тепловий ефект хімічної реакції дорівнює різниці сум ентальпій утворення продуктів реакції та сум ентальпій утворення вихідних речовин з урахуванням стехіометричних коефіцієнтів: $\Delta H^0_{\text{реакції}} = c\Delta H^0_{\text{утв}}(C) + d\Delta H^0_{\text{утв}}(D) - (a\Delta H^0_{\text{утв}}(A) + b\Delta H^0_{\text{утв}}(B))$
Самовільний процес	Процес, який може проходити без витрати роботи ззовні оборотно або необоротно
Ентропія	Функція стану, що описує ступінь неупорядкованості системи. Позначають ентропію $S^0$ (Дж/моль·К). Для ізобарних процесів $\Delta H = T\Delta S$ , де $T$ – температура (К)
Другий закон термодинаміки (для ентропії)	В ізольованих системах самовільно можуть проходити тільки процеси, що супроводжуються збільшенням ентропії. Термодинамічно ймовірні ті процеси, для яких $\Delta S^0_{\text{реакції}} > 0$
Зміна ентропії в ході хімічної реакції	Різниця сум ентропій продуктів реакції та сум ентропій вихідних речовин з урахуванням стехіометричних коефіцієнтів: $\Delta S^0_{\text{реакції}} = cS^0(C) + dS^0(D) - (aS^0(A) + bS^0(B))$
Вільна енергія Гіббса	Міра стійкості системи за постійного тиску, що являє собою різницю між ентальпійним ( $\Delta H^0$ ) та ентропійним факторами ( $\Delta S^0$ ). Позначається $\Delta G^0$ (кДж/моль): $\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0$
Другий закон термодинаміки (для вільної енергії Гіббса)	Усі процеси можуть проходити самовільно в бік зменшення вільної енергії Гіббса. Термодинамічно ймовірні ті процеси, для яких $\Delta G^0 < 0$



Поняття	Визначення
Зміна вільної енергії Гіббса в ході хімічної реакції	Дорівнює різниці сум вільних енергій Гіббса продуктів реакції та сум вільних енергій Гіббса вихідних речовин з урахуванням стехіометричних коефіцієнтів: $\Delta G^0_{\text{реакції}} = c\Delta G^0_{\text{утв}}(\text{C}) + d\Delta G^0_{\text{утв}}(\text{D}) - (a\Delta G^0_{\text{утв}}(\text{A}) + b\Delta G^0_{\text{утв}}(\text{B}))$
Хімічна кінетика	Наука про швидкість хімічних перетворень
Швидкість хімічної реакції	Кількість елементарних актів хімічного перетворення в одиниці об'єму за одиницю часу
Закон дії мас	Швидкість хімічної реакції пропорційна добутку молярних концентрацій реагуючих речовин у степенях, що дорівнюють їх стехіометричним коефіцієнтам: $aA_{(r)} + bB_{(r)} \rightarrow AB_{(r)} \text{ (молекулярне рівняння),}$ $\vec{V} = k \cdot [A]_p^a \cdot [B]_p^b \text{ (кінетичне рівняння),}$ де $[A]$ і $[B]$ – молярні концентрації речовин; $k$ – константа швидкості реакції за умови, що концентрації реагуючих речовин дорівнюють 1 моль/л
Порядок реакції	Сума показників степенів у кінетичному рівнянні
Молекулярність	Кількість молекул, які беруть участь в елементарному акті реакції
Правило Вант-Гоффа	З підвищенням температури на кожні $10^\circ$ швидкість хімічної реакції зростає в 2 – 4 рази: $V_{T_1} = V_{T_2} \cdot \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}},$ де $V_{T_1}$ та $V_{T_2}$ – швидкості реакції за температур $T_2$ та $T_1$ ; $\gamma$ – температурний коефіцієнт швидкості, який показує, у скільки разів зросте швидкість реакції за підвищення температури на $10^\circ$
Каталізатор	Речовина, яка бере участь у проміжних стадіях, змінює швидкість реакції, але не входить до складу продуктів реакції і залишається після реакції в незмінній кількості
Хімічна рівновага	Стан зворотного процесу, за якого швидкість прямої і зворотної реакцій однакова
Зміщення хімічної рівноваги	Зміна рівноважних концентрацій реагуючих речовин, викликана зміною будь-якої умови (температури, тиску, концентрації)
Принцип Ле Шательє	Зміна однієї з умов реакції (температури, тиску, концентрації), за яких система знаходилась у стані хімічної рівноваги, викликає зміщення рівноваги в напрямку тієї реакції, яка протидіє спричиненій зміні

Поняття	Визначення
Константа рівноваги реакції	<p>За певної температури це постійна величина, яка дорівнює відношенню добутку рівноважних концентрацій продуктів реакції до добутку рівноважних концентрацій вихідних речовин у степенях, що відповідають їх стехіометричним коефіцієнтам:</p> $aA_{(г)} + bB_{(г)} \rightleftharpoons cC_{(г)} + dD_{(г)},$ $K_p = \frac{[C]_p^c \cdot [D]_p^d}{[A]_p^a \cdot [B]_p^b}.$ <p>Не залежить від початкової концентрації реагуючих речовин, змінюється залежно від температури. Показує, у скільки разів швидкість прямої реакції відрізняється від швидкості зворотної реакції за рівноважних концентрацій речовин 1 моль/л</p>

**Приклад 6.1.** Розрахувати тепловий ефект реакції дегідратації гіпсу, якщо процес відбувається за таким рівнянням:



а ентальпії утворення речовин дорівнюють

$$\Delta H_{утв}^0(CaSO_4 \cdot 2H_2O_{(тв)}) = -2022,63 \text{ кДж/моль};$$

$$\Delta H_{утв}^0(CaSO_{4(тв)}) = -1434,11 \text{ кДж/моль}; \Delta H_{утв}^0(H_2O_{(р)}) = -285,83 \text{ кДж/моль}.$$

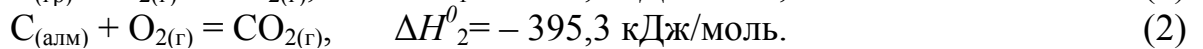
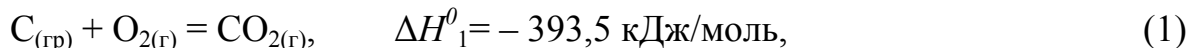
Розв'язання

Застосуємо наслідок із закону Гесса:

$$\Delta H_{реакції}^0 = \Delta H_{утв}^0(CaSO_{4(тв)}) + 2\Delta H_{утв}^0(H_2O_{(р)}) - \Delta H_{утв}^0(CaSO_4 \cdot 2H_2O_{(тв)}) = [-1434,11 + 2 \cdot (-285,83)] - (-2022,63) = 16,86 \text{ кДж (реакція ендотермічна)}.$$

Відповідь: тепловий ефект реакції дорівнює 16,86 кДж.

**Приклад 6.2.** Розрахувати тепловий ефект реакції переходу графіту в алмаз, якщо



Розв'язання

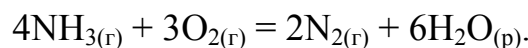
Застосуємо закон Гесса. Для цього потрібно від першого рівняння відняти друге, після чого отримаємо  $C_{(гр)} = C_{(алм)}$ .

Такі самі дії виконуємо з  $\Delta H^0$ :

$$\Delta H_{реакції}^0 = \Delta H_1^0 - \Delta H_2^0 = -393,5 - (-395,3) = 1,8 \text{ кДж/моль (реакція ендотермічна)}.$$

Відповідь: тепловий ефект реакції дорівнює 1,8 кДж/моль.

**Приклад 6.3.** Застосовуючи довідкові дані, визначте можливість перебігу реакції за 298 К та температуру, за якої реакція починає відбуватися в прямому напрямку:



## Розв'язання

Зважаючи на зміни агрегатного стану речовин (ліворуч – два газу, праворуч – газ та рідина), можна оцінити зміни ентропії реакції. Оскільки рідини мають значення ентропій, менші за газу, то ентропія реакції повинна зменшитися, отже, за ентропійним фактором реакція термодинамічно неможлива. Для доведення потрібні значення ентропій та вільних енергій Гіббса всіх речовин. Для відповіді на запитання про температуру потрібні також і значення ентальпій утворення речовин. Усі характеристики візьмемо з довідника:

Термодинамічний параметр	NH <sub>3(г)</sub>	O <sub>2(г)</sub>	N <sub>2(г)</sub>	H <sub>2</sub> O <sub>(р)</sub>
$\Delta H^0_{\text{утв}}$ , кДж/моль	-46,19	0	0	-285,83
$S^0$ , Дж/моль·К	192,60	205,04	199,90	70,08
$\Delta G^0_{\text{утв}}$ , кДж/моль	-16,71	0	0	-237,24

$$\Delta S^0_{\text{реакції}} = 2S^0(\text{N}_{2(\text{г})}) + 6S^0(\text{H}_2\text{O}_{(\text{р})}) - [4S^0(\text{NH}_{3(\text{г})}) + 3S^0(\text{O}_{2(\text{г})})] = 2 \cdot 199,90 + 6 \cdot 70,08 - [4 \cdot 192,60 + 3 \cdot 205,04] = -527,92 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}.$$

$$\Delta S^0_{\text{реакції}} < 0 \Rightarrow \text{реакція термодинамічно неможлива.}$$

Доведемо ймовірність проходження реакції за значенням вільної енергії Гіббса:

$$\Delta G^0_{\text{реакції}} = 2\Delta G^0_{\text{утв}}(\text{N}_{2(\text{г})}) + 6\Delta G^0_{\text{утв}}(\text{H}_2\text{O}_{(\text{р})}) - [4\Delta G^0_{\text{утв}}(\text{NH}_{3(\text{г})}) + 3\Delta G^0_{\text{утв}}(\text{O}_{2(\text{г})})] = -2 \cdot 0 - 6 \cdot 237,24 - [4 \cdot (-16,71) + 3 \cdot 0] = -1356,60 \text{ Дж/моль}.$$

$$\Delta G^0_{\text{реакції}} < 0 \Rightarrow \text{реакція термодинамічно можлива за стандартних умов.}$$

Розрахуємо значення ентальпії реакції:

$$\Delta H^0_{\text{реакції}} = 2\Delta H^0_{\text{утв}}(\text{N}_{2(\text{г})}) + 6\Delta H^0_{\text{утв}}(\text{H}_2\text{O}_{(\text{р})}) - [4\Delta H^0_{\text{утв}}(\text{NH}_{3(\text{г})}) + 3\Delta H^0_{\text{утв}}(\text{O}_{2(\text{г})})] = -2 \cdot 0 - 6 \cdot 285,83 - [4 \cdot (-46,19) + 3 \cdot 0] = -1530,22 \text{ Дж/моль}.$$

Для розрахунку температури скористаємося рівнянням

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0.$$

Для рівноваги

$$\Delta G^0 = 0 \Rightarrow \Delta H^0 = T\Delta S^0,$$

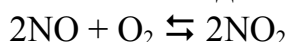
$$T = \frac{\Delta H^0}{\Delta S^0}.$$

Зведемо величини до однієї розмірності, представимо  $\Delta H^0$  в Дж/моль:

$$T = \frac{\Delta H^0 \cdot 1000}{\Delta S^0} = \frac{-1530,22 \cdot 1000}{-527,92} \approx 2899 \text{ К}$$

Відповідь: реакція термодинамічно можлива; у прямому напрямку реакція відбувається до  $T = 2899 \text{ К}$ .

**Приклад 6.4.** Визначити, як зміниться швидкість прямої реакції



у разі збільшення тиску в три рази за постійної температури.

## Розв'язання

Для визначення швидкості реакції застосуємо закон діючих мас. Замість концентрацій речовин застосуємо тиск, оскільки тиск і концентрація прямо пропорційні величини для газоподібних речовин. Визначимо спочатку швидкість до зміни тиску:

$$\vec{V}_1 = k \cdot p^2(\text{NO}) \cdot p(\text{O}_2).$$

Визначимо швидкість реакції після зміни тиску:

$$\vec{V}_2 = k \cdot (3p(\text{NO}))^2 \cdot 3p(\text{O}_2) = 27k \cdot (p(\text{NO}))^2 \cdot 3p(\text{O}_2).$$

Знайдемо співвідношення

$$\frac{\vec{V}_2}{\vec{V}_1} = \frac{27k \cdot p^2(\text{NO}) \cdot 3p(\text{O}_2)}{k \cdot p^2(\text{NO}) \cdot p(\text{O}_2)} = 27.$$

Відповідь: швидкість прямої реакції збільшиться в 27 разів.

**Приклад 6.5.** Пояснити, у який бік зміститься рівновага в системі



- а) у разі підвищення концентрації вихідних речовин; б) зниження температури; в) зниження тиску.

Розв'язання

а) Визначимо зсув рівноваги в системі у випадку підвищення концентрації вихідних речовин. Відповідно до принципу Ле Шательє збільшення концентрації вихідних речовин підсилює прямий процес, тобто зсув рівноваги відбудеться вправо.

б) Визначимо зсув рівноваги за зниження температури. Реакція екзотермічна ( $\Delta H^0_{\text{реакції}} > 0$ ). Згідно з принципом Ле Шательє рівновага зміститься вправо.

в) Визначимо зсув рівноваги у разі зниження тиску. Згідно з принципом Ле Шательє рівновага зміститься в бік збільшення кількості молів газоподібних речовин, тобто вліво.

**Приклад 6.6.** Обчислити, у скільки разів зміниться швидкість хімічної реакції за підвищення температури від  $70^\circ$  до  $100^\circ\text{C}$ , якщо температурний коефіцієнт даної реакції дорівнює 3.

Розв'язання

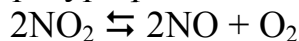
Застосуємо рівняння правила Вант-Гоффа:

$$V_{100^\circ} = V_{70^\circ} \cdot 3^{\frac{100-70}{10}}.$$

$$\frac{V_{100^\circ}}{V_{70^\circ}} = 3^3 = 27.$$

Відповідь: за підвищення температури від  $70^\circ$  до  $100^\circ\text{C}$  швидкість хімічної реакції збільшиться в 27 разів.

**Приклад 6.7.** За деякої температури рівновага в системі



встановилась за таких концентрацій:  $[\text{NO}_2] = 0,006$  моль/л,  $[\text{NO}] = 0,024$  моль/л,  $[\text{O}_2] = 0,012$  моль/л. Знайти константу рівноваги і початкову концентрацію  $\text{NO}_2$ .

Розв'язання

Підставимо в рівняння для константи рівноваги значення рівноважних концентрацій речовин:

$$K_p = \frac{[\text{NO}]_p^2 \cdot [\text{O}_2]_p}{[\text{NO}_2]_p^2} = \frac{0,024^2 \cdot 0,012}{0,006^2} = 0,192.$$

Для знаходження початкової концентрації  $\text{NO}_2$  застосуємо рівняння реакції і складемо таблицю:

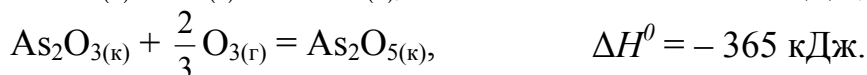
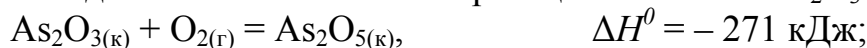
Речовина	$\text{NO}_2$	$\text{NO}$	$\text{O}_2$
Початкова концентрація [ ] <sub>0</sub>	0,030	–	–
Прореагувало речовини	0,024	–	–
Утворилося речовини	–	0,024	0,012
Рівноважна концентрація [ ] <sub>p</sub>	0,006	0,024	0,012

Відповідь:  $K_p = 0,192$ ; початкова концентрація  $\text{NO}_2 = 0,030$  моль/л.

### Контрольні завдання

151. Виходячи з теплового ефекту реакції  
 $3\text{CaO}_{(к)} + \text{P}_2\text{O}_{5(к)} = \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_{2(к)}$ ,  $\Delta H^0 = -739$  кДж  
 визначте стандартну ентальпію утворення кальцій ортофосфату ( $\Delta H^0_{\text{утв}}$ ).

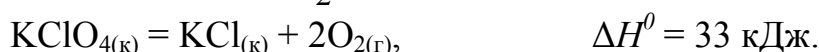
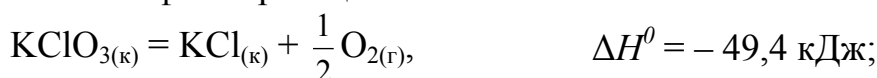
152. Визначте ентальпію утворення озону з молекулярного кисню виходячи зі значень теплоти реакції окиснення  $\text{As}_2\text{O}_3$  киснем і озоном:



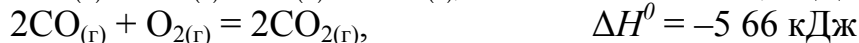
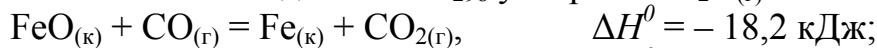
153. Розрахуйте ентальпію утворення кальцій карбїду  $\text{CaC}_2$  виходячи з теплового ефекту реакції



154. Розрахуйте  $\Delta H^0$  реакції  $4\text{KClO}_{3(к)} = 3\text{KClO}_{4(к)} + \text{KCl}_{(к)}$ , якщо відомі теплові ефекти реакцій:

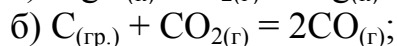


155. Виходячи з  $\Delta H^0_{298}$  утворення  $\text{H}_2\text{O}_{(г)}$  і таких даних:

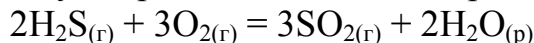


розрахуйте  $\Delta H^0_{298}$  реакції  $\text{FeO}_{(к)} + \text{H}_{2(г)} = \text{Fe}_{(к)} + \text{H}_2\text{O}_{(г)}$ .

156. За довідковими даними розрахуйте зміну ентропії реакцій за стандартних умов:

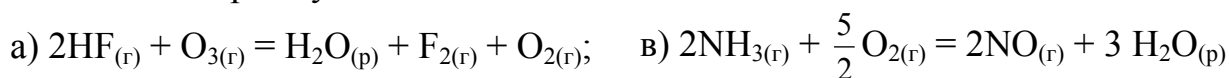


157. Розрахуйте зміну ентропії в ході хімічної реакції



у стандартних умовах. Визначте, чи ймовірно проходження даної реакції за 298 К.

158. Розрахуйте зміну стандартної ентропії в реакціях та визначте можливість їх перебігу за 298 К:



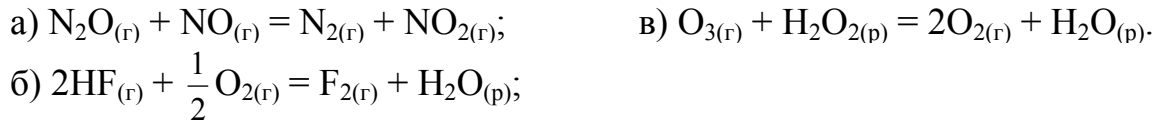
159. Розрахуйте зміну стандартної ентропії в реакціях та визначте можливість їх перебігу за 298К:



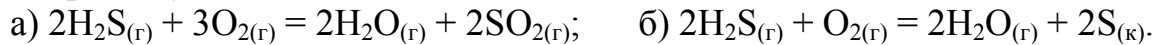
160. Без розрахунків визначте, у яких хімічних реакціях  $\Delta S_{298}^0$  буде позитивна чи негативна:



161. Розрахуйте  $\Delta G_{298}^0$  реакцій та визначте можливість їх перебігу за 298 К:



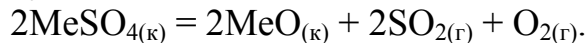
162. Визначте, яка з наведених реакцій термодинамічно більш ймовіра за стандартних умов:



163. Визначте температуру розкладання таких речовин:



164. Розрахуйте значення температур, за перевищення яких почнеться розкладання сульфатів лужноземельних металів за схемою



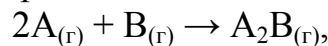
Вважати, що  $\Delta H^0$  та  $\Delta S^0$  від температури не залежать.

165. Обчисліть  $\Delta G^0$  для реакції



за температури 25, 500 та 1500°C. Вважати, що  $\Delta H^0$  та  $\Delta S^0$  від температури не залежать.

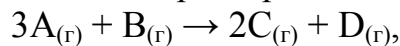
166. Визначте, у скільки разів зміниться швидкість хімічної реакції



якщо концентрацію речовини А збільшити вдвічі, а концентрацію речовини В зменшити вдвічі.

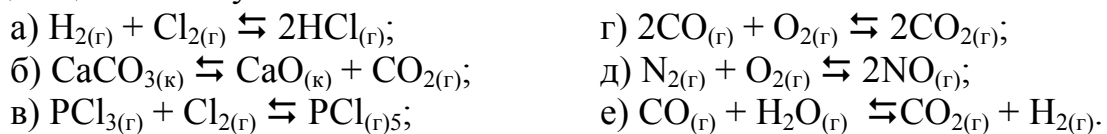
167. У системі  $\text{CO}_{(г)} + \text{Cl}_{2(г)} \rightarrow \text{COCl}_{2(г)}$  концентрацію карбон (II) оксиду збільшили з 1,2 моль/л до 1,5 моль/л, а хлору – з 1,2 моль/л до 2 моль/л. Розрахуйте, у скільки разів при цьому збільшилась швидкість реакції.

168. Розрахуйте вихідні концентрації речовин А та В для реакції



якщо через деякий час після початку реакції концентрації речовин становили:  $[\text{A}] = 0,03$  моль/л,  $[\text{B}] = 0,01$  моль/л,  $[\text{C}] = 0,008$  моль/л.

169. Визначте, як зміниться стан рівноваги в наведених реакціях за підвищення тиску:



170. Визначте, як зміниться стан рівноваги в наведених реакціях за збільшення температури:





171. Дві реакції проходять за  $25^\circ\text{C}$  з однаковою швидкістю. Температурні коефіцієнти швидкості дорівнюють 2,0 – для першої реакції та 2,5 – для другої. Визначте відношення швидкостей цих реакцій за  $95^\circ\text{C}$ .

172. Розрахуйте, на скільки градусів потрібно підвищити температуру, щоб швидкість реакції збільшилась в 2,25 разу. Температурні коефіцієнти швидкості дорівнюють 1,5.

173. Розрахуйте, на скільки градусів потрібно підвищити температуру в системі, щоб швидкість реакції збільшилась: а) у 81 раз ( $\gamma=3$ ); б) 243 рази ( $\gamma=3$ ); в) 64 рази ( $\gamma=4$ ).

174. Визначте, чому дорівнює температурний коефіцієнт швидкості реакції, якщо за підвищення температури на  $30^\circ$ , швидкість реакції збільшується в 15,6 разу.

175. За  $150^\circ\text{C}$  деяка реакція закінчується за 16 хв. Враховуючи, що температурний коефіцієнт швидкості реакції дорівнює 2,5, визначте, через який час закінчиться ця реакція, якщо її проводити: а) за  $200^\circ\text{C}$ ; б)  $80^\circ\text{C}$ .

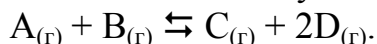
176. Вихідні концентрації азоту та водню в суміші для одержання аміаку становили відповідно 4 та 10 моль/л. У момент рівноваги прореагувало 25% азоту. Розрахуйте: а) рівноважні концентрації азоту, водню та аміаку; б) константу рівноваги.

177. За певної температури рівновага в системі



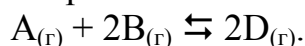
встановилася за таких концентрацій:  $[NO_2] = 0,006$  моль/л;  $[NO] = 0,024$  моль/л. Розрахуйте вихідну концентрацію  $NO_2$  та константу рівноваги реакції.

178. Реакція між речовинами А та В відбувається за рівнянням



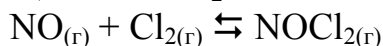
Змішали по 1 молю речовин А, В, С та D. Після встановлення рівноваги в суміші виявили 1,8 моля речовини С. Розрахуйте значення константи рівноваги.

179. Реакція відбувається за рівнянням



Початкова концентрація речовин А та В становить відповідно 2 та 1,8 моль/л. Через деякий час концентрація речовини А зменшилась на 20%. Розрахуйте: а) концентрацію речовини В; б) у скільки разів зменшилась швидкість прямої реакції; в) константу рівноваги реакції.

180. Вихідні концентрації NO та  $Cl_2$  в системі



становлять відповідно 0,5 та 0,2 моль/л. Обчисліть константу рівноваги реакції, якщо в момент встановлення рівноваги прореагує 20% нітроген монооксиду.

## 7. Розчини. Способи вираження концентрації розчинів.

### Фізико-хімічні властивості розчинів неелектролітів

Студенти повинні засвоїти поняття про розчини, розчинність, способи вираження концентрації розчинів, властивості розчинів неелектролітів (закони Рауля, Вант-Гоффа). Необхідно вміти обчислювати масу та об'єм розчинів, а

також компонентів для приготування потрібної кількості розчину певної концентрації; перераховувати одну концентрацію на іншу, здійснювати обчислення із застосуванням законів Вант-Гоффа і Рауля.

Поняття	Визначення
Розчин	Гомогенна система (гомогенна суміш), що складається з двох і більше компонентів, одним із яких є розчинник, а інші – розчинені речовини
Розчинність	Здатність речовини розчинитися в певному розчиннику за деякої температури
Концентрація розчину	Кількість розчиненої речовини (р.р.) (у грамах або молях) у визначеній масі або визначеному об'ємі розчину чи розчинника
Масова частка	Кількість грамів розчиненої речовини в 100 г розчину: $\omega = \frac{m_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р.р.}} + m_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100\%$
Об'ємна частка	Кількість мілілітрів розчиненої речовини в 100 мл розчину: $\varphi = \frac{V_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р.р.}} + V_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100\%$
Молярна частка	Кількість молів розчиненої речовини в 100 молях розчину: $\chi = \frac{v_{\text{р.р.}}}{v_{\text{р.р.}} + v_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100\%$
Молярна концентрація	Кількість молів розчиненої речовини в 1 л розчину: $C_M = \frac{v_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}}$
Молярна концентрація еквівалента	Кількість молів еквівалентів розчиненої речовини в 1 л розчину: $C_f = \frac{v_{\text{р.р.}}}{V_{\text{р-ну}}}$
Молярна концентрація	Кількість молів розчиненої речовини в 1 кг розчинника: $C_m = \frac{v_{\text{р.р.}}}{m_{\text{роз-ка}}}$
Осмотичний тиск	Тиск, обумовлений дифузією розчинника в розчин
Закон Вант-Гоффа	Осмотичний тиск розчину чисельно дорівнює тому тиску, який створила б розчинена речовина, якби вона перебувала в газоподібному стані і за тієї самої температури займала об'єм, що дорівнює об'єму розчину: $p_{\text{осм}} = C_M RT,$ де $R$ – універсальна газова стала (8,31 Дж/моль·К); $T$ – абсолютна температура, К



Поняття	Визначення
Перший закон Рауля (два визначення)	Тиск насиченої пари над розчином нелеткої речовини дорівнює її тиску над чистим розчинником, помноженому на молярну частку розчинника в розчині: $p = p_0 \chi_{\text{роз-ка}}$ де $p$ та $p_0$ – тиск пари розчину та тиск пари розчинника відповідно. Відносне зниження тиску насиченої пари розчинника над розчином нелеткої речовини дорівнює молярній частці розчиненої речовини: $\frac{p_0 - p}{p_0} = \chi_{\text{р.р.}}$
Другий закон Рауля	Підвищення температури кипіння і зниження температури замерзання розчинів пропорційні кількості частинок розчиненої речовини і не залежать від її природи: $\Delta T_{\text{кип}} = E C_m,$ де $E$ – ебуліоскопічна константа розчинника (для води, бензолу та оцтової кислоти дорівнює $0,52^\circ$ ; $2,57^\circ$ ; $3,10^\circ$ відповідно). $\Delta T_{\text{зам}} = K C_m,$ де $K$ – криоскопічна константа розчинника (для води, бензолу та оцтової кислоти дорівнює $1,86^\circ$ ; $5,12^\circ$ ; $3,90^\circ$ відповідно)

**Приклад 7.1.** Визначте масу мідного купоросу  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , яку необхідно розчинити в 232 г 2%-го розчину купрум (II) сульфату, щоб утворився 6%-й розчин купрум (II) сульфату.

#### Розв'язання

Позначимо масу мідного купоросу  $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = x$  г; маса безводного  $\text{CuSO}_4$ :  $m(\text{CuSO}_4) = \nu(\text{CuSO}_4) \cdot M(\text{CuSO}_4)$ ; з формули кристалогідрату  $\nu(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{CuSO}_4)$ .

$$\nu(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = \frac{x \text{ г}}{250 \text{ г/моль}}$$

$$m(\text{CuSO}_4) = \frac{x}{250} \cdot 160 = 0,64x.$$

У вихідному розчині  $m_1(\text{CuSO}_4) = m_1(\text{р-ну}) \cdot \omega_1$

$$m_1(\text{CuSO}_4) = 232 \text{ г} \cdot 0,02 = 4,64 \text{ г}.$$

Маса утвореного розчину  $m = m_1 + x$ , маса розчиненої речовини в ньому  $m(\text{р.р.}) = 0,64x + 4,64$ .

Масова частка розчиненої речовини в новоутвореному розчині 6%.

$$\frac{0,64x + 4,64}{232 + x} = 0,06,$$

звідси  $x = 16$ .

Відповідь: маса мідного купоросу  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  16 г.

**Приклад 7.2.** Визначте об'єм розчину з масовою часткою сульфатної кислоти 60% ( $\rho = 1,5$  г/мл) і розчину з масовою часткою 30% ( $\rho = 1,2$  г/мл), які потрібно взяти для приготування розчину сульфатної кислоти масою 240 г з масовою часткою кислоти 50%.

Розв'язання  
1-й спосіб

Маси вихідних розчинів з масовими частками  $\text{H}_2\text{SO}_4$  60% і 30% позначимо через  $x$  і  $y$ , відповідно  $m_1 = x$ ;  $m_2 = y$ . Маси розчиненої речовини в них будуть дорівнювати

$$m_1(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,6x \text{ і } m_2(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,3y.$$

Треба приготувати розчин масою 240г, тобто

$$m_3(\text{р-ну}) = m_1 + m_2; m_3 = x + y; x + y = 240.$$

Масова частка розчиненої речовини в ньому 50%

$$m_3(\text{H}_2\text{SO}_4) = m_3 \cdot \omega_3; m_3(\text{H}_2\text{SO}_4) = 240 \cdot 0,5 = 120 \text{ г.}$$

$$m_3(\text{H}_2\text{SO}_4) = m_1(\text{H}_2\text{SO}_4) + m_2(\text{H}_2\text{SO}_4);$$

$$m_3 = 0,6x + 0,3y.$$

Можемо скласти систему рівнянь

$$x + y = 240,$$

$$0,6x + 0,3y = 120,$$

розв'язавши яку, отримаємо

$$x = 160 \text{ г; } y = 80 \text{ г.}$$

Об'єми розчинів знаходимо як

$$V_{\text{р-ну}} = \frac{m_{\text{р-ну}}}{\rho},$$

$$V_1 = \frac{160 \text{ г}}{1,5 \text{ г/мл}} = 106,67 \text{ мл,}$$

$$V_2 = \frac{80 \text{ г}}{1,2 \text{ г/мл}} = 66,67 \text{ мл.}$$

2-й спосіб

Задачу такого типу можна розв'язати, застосувавши правило змішування.

Зліва запишемо одну під однією масові частки вихідних розчинів, а справа між ними – масову частку розчину, який потрібно приготувати:

$$\begin{array}{ccc} 60 & & \\ & \searrow & \\ & & 50. \\ & \nearrow & \\ 30 & & \end{array}$$

Від більшої масової частки віднімемо задану і запишемо результат справа внизу; від заданої частки віднімемо меншу і запишемо результат справа вгорі:

$$\begin{array}{ccc} 60 & & 20 \\ & \searrow & \\ & & 50 \\ & \nearrow & \\ 30 & & 10 \end{array}$$

Отримані числа 20 і 10 показують, у якому масовому співвідношенні треба взяти вихідні розчини 60% і 30%. Якщо візьмемо 20 г 60%-го розчину, то

отримаємо (20 + 10) г 50%-го. Для того щоб отримати 240 г 50%-го розчину, треба взяти  $x$  г 60%-го. Складемо пропорцію:

$$\begin{array}{rcl} 20 \text{ г} & - & 30 \text{ г} \\ x \text{ г} & - & 240 \text{ г}, \end{array}$$

звідки  $x = 160 \text{ г} (m_1)$ ,  
 $m_2 = 240 \text{ г} - 160 \text{ г} = 80 \text{ г}$ .

Об'єми розчинів знайдемо, як і за 1-м способом.

Відповідь: об'єми розчинів 106,67 та 66,67 мл.

**Приклад 7.3.** Визначте масову частку хлоридної кислоти в розчині, що утворюється наслідок розчинення гідроген хлориду об'ємом 179,2 л (н.у.) у воді об'ємом 708 мл.

Розв'язання

Масова частка розчиненої HCl

$$\omega = \frac{m_{\text{HCl}}}{m_{\text{HCl}} + m_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100\%.$$

Знайдемо масу розчиненого гідроген хлориду:

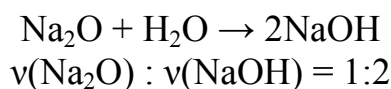
$$\begin{aligned} m_{\text{HCl}} &= v_{\text{HCl}} \cdot M_{\text{HCl}}, \\ v_{\text{HCl}} &= \frac{V_{\text{HCl}}}{V_M}, \\ m_{\text{HCl}} &= \frac{179,2}{22,4} \cdot 36,5 = 292 \text{ г}; \\ m_{\text{H}_2\text{O}} &= V_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}, \quad \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ г/мл}, \\ m_{\text{H}_2\text{O}} &= 708 \text{ г}; \\ \omega &= \frac{292}{292+708} \cdot 100\% = 29,2\%. \end{aligned}$$

Відповідь: масова частку хлоридної кислоти в розчині 29,2%.

**Приклад 7.4.** Визначте масу води, у якій потрібно розчинити натрій оксид масою 93 г, щоб отримати розчин лугу з масовою часткою розчиненої речовини 20%.

Розв'язання

Від попередніх ця задача відрізняється тим, що під час розчинення речовина взаємодіє з розчинником. Запишемо рівняння реакції взаємодії натрій оксиду з водою:



Знайдемо  $v(\text{Na}_2\text{O})$ :

$$\begin{aligned} v(\text{Na}_2\text{O}) &= \frac{m(\text{Na}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{O})} = \frac{93 \text{ г}}{62 \text{ г/моль}} = 1,5 \text{ моль}. \\ v(\text{NaOH}) &= 2 \cdot 1,5 \text{ моль} = 3 \text{ моль}, \\ m(\text{NaOH}) &= v(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) = 3 \text{ моль} \cdot 40 \text{ г/моль} = 120 \text{ г}. \end{aligned}$$

Можемо знайти масу розчину:

$$\omega = \frac{m_{\text{р.р.}}}{m_{\text{р-ну}}} \cdot 100\%,$$

$$m_{\text{р-ну}} = \frac{m_{\text{р.р.}}}{\omega} \cdot 100\% = \frac{120}{20} 100 = 600 \text{ г.}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m_{\text{р-ну}} - m(\text{Na}_2\text{O}) = 600 - 93 = 507 \text{ г.}$$

Відповідь: маса води 507 г.

**Приклад 7.5.** Змішали 200 г 40%-го і 300 г 20%-го розчинів натрій гідроксиду. Визначте масову частку NaOH в утвореному розчині.

Розв'язання

Маса розчиненої речовини в розчині

$$m_3(\text{NaOH}) = m_1(\text{NaOH}) + m_2(\text{NaOH});$$

$$m_1(\text{NaOH}) = m_1 \cdot \omega_1 = 200 \cdot 0,4 = 80 \text{ г,}$$

$$m_2(\text{NaOH}) = m_2 \cdot \omega_2 = 300 \cdot 0,2 = 60 \text{ г;}$$

$$m_3(\text{NaOH}) = 80 \text{ г} + 60 \text{ г} = 140 \text{ г.}$$

Маса утвореного розчину

$$m_3 = 200 \text{ г} + 300 \text{ г} = 500 \text{ г.}$$

$$\omega_3 = \frac{m_3(\text{NaOH})}{m_3 \text{ р-ну}} \cdot 100\% = \frac{140}{500} 100\% = 28\%.$$

Відповідь: масова частка NaOH в утвореному розчині 28%.

**Приклад 7.6.** Обчислити молярну концентрацію розчину, утвореного 568 г натрій сульфату в 2 л води.

Розв'язання

Знайдемо масу води (розчинника), знаючи, що  $V(\text{H}_2\text{O}) = 2 \text{ л}$  та  $\rho(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ г/мл}$ ,  $m(\text{H}_2\text{O}) = 2000 \text{ г} = 2 \text{ кг}$ .

$$V_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = \frac{m_{\text{Na}_2\text{SO}_4}}{M_{\text{Na}_2\text{SO}_4}} = \frac{568 \text{ г}}{142 \text{ г/моль}} = 4 \text{ моль.}$$

$$C_m = \frac{V_{\text{р.р.}}}{m_{\text{роз-ка}}} = \frac{4 \text{ моль}}{2 \text{ кг}} = 2 \text{ моль/кг.}$$

Відповідь: молярна концентрація дорівнює 2 моль/кг.

**Приклад 7.7.** Розрахувати температуру, за якої замерзає розчин, що містить 810 г глюкози  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  у 2 л води.

Розв'язання

Застосуємо закон Рауля:

$$\Delta T_{\text{зам}} = K \cdot C_m.$$

Значення криоскопічної константи води  $K_{\text{H}_2\text{O}} = 1,86$ . Знайдемо масу розчинника (води) та  $\nu$  розчиненої речовини:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = V(\text{H}_2\text{O}) \cdot \rho(\text{H}_2\text{O}) = 2000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 2000 \text{ г} = 2 \text{ кг};$$

$$V_{\text{р.р.}} = \frac{m_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}}{M_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6}} = \frac{810 \text{ г}}{180 \text{ г/моль}} = 4,5 \text{ моль.}$$

$$C_m = \frac{V_{\text{р.р.}}}{m_{\text{роз-ка}}} = \frac{4,5 \text{ моль}}{2 \text{ кг}} = 2,25 \text{ моль/кг.}$$

$$\Delta T_{\text{зам}} = 1,86 \cdot 2,25 = 4,185^\circ;$$

$$t_{\text{зам}} = 0 - 4,185 = -4,185^\circ.$$

Відповідь: розчин замерзає за температури  $-4,185^\circ\text{C}$ .

**Приклад 7.8.** Розчинивши 10 г речовини в 400 г води, одержали розчин, який замерзає за  $t_{\text{зам}} = -1,45^\circ\text{C}$ . Обчислити молярну масу розчиненої речовини.

Розв'язання

Застосуємо закон Рауля:

$$\Delta T_{\text{зам}} = K \cdot C_m.$$

Значення криоскопічної константи води  $K_{\text{H}_2\text{O}} = 1,86$ . Знайдемо молярну концентрацію розчину:

$$C_m = \frac{T_{\text{зам}}}{K} = \frac{1,45}{1,86} = 0,78 \text{ моль/кг}.$$

$$C_m = \frac{V_{\text{р.р.}}}{m_{\text{роз-ка}}},$$

$$V_{\text{р.р.}} = \frac{m_{\text{р.р.}}}{M_{\text{р.р.}}}.$$

Звідси

$$M_{\text{р.р.}} = \frac{m_{\text{р.р.}}}{C_m \cdot m_{\text{роз-ка}}} = \frac{10 \text{ г}}{0,78 \text{ моль/кг} \cdot 0,4 \text{ кг}} = 32 \text{ г/моль}.$$

Відповідь: молярна маса речовини 32 г/моль.

### Контрольні завдання

181. Визначте молярну концентрацію 20%-го розчину кальцій хлориду ( $\rho = 1,178 \text{ г/см}^3$ ).

182. Визначте масу гідроген хлориду, який міститься в 2,0 л хлоридної кислоти ( $\rho = 1,108 \text{ г/см}^3$ ) з масовою часткою речовини 22%.

183. Визначте об'єми розчину сульфатної кислоти ( $\rho = 1,84 \text{ г/см}^3$ ) та води, які потрібно змішати, щоб приготувати 10 л розчину кислоти густиною  $1,42 \text{ г/см}^3$ .

184. Змішали 200 мл розчину калій гідроксиду з масовою часткою луку 20% ( $\rho = 1,173 \text{ г/см}^3$ ) і 500 мл розчину цієї ж речовини з масовою часткою 40% ( $\rho = 1,408 \text{ г/см}^3$ ). Визначте масову частку (%) луку в одержаному розчині.

185. Під час часткового випаровування 800 г розчину калій хлориду з масовою часткою солі 30% виділили 200 мл води. Визначте масову частку (%) солі в одержаному розчині.

186. Обчисліть, яку масу хлоридної кислоти ( $\omega = 0,30$ ) необхідно додати до 400 г хлоридної кислоти з масовою часткою гідроген хлориду 0,15, щоб одержати розчин з масовою часткою речовини 0,2.

187. Визначте, які об'єми води та 2М розчину сульфатної кислоти потрібно для приготування 1200 мл 1,5М розчину кислоти.

188. Обчисліть масову частку сульфатної кислоти в розчині, утвореного внаслідок змішування 950 г води та 50 мл 48%-го розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\rho = 1,38 \text{ г/см}^3$ ).

189. Визначте молярну концентрацію наступних розчинів:

а) 27,1%-го розчину амоній хлориду ( $\rho = 1,075 \text{ г/см}^3$ );

б) 6,91%-го розчину барій гідроксиду ( $\rho = 1,04 \text{ г/см}^3$ ).

190. Визначте масову частку розчиненої речовини в розчинах:

а) 4,85М нітратної кислоти ( $\rho = 1,16 \text{ г/см}^3$ );

б) 3,07М натрій карбонату ( $\rho=1,15 \text{ г/см}^3$ ).

191. Обчисліть, який об'єм 40%-го розчину фосфатної кислоти ( $\rho = 1,25 \text{ г/см}^3$ ) необхідно для приготування 400 мл 0,25М розчину  $\text{H}_3\text{PO}_4$ .

192. Визначте об'єм 10%-го розчину натрій карбонату ( $\rho = 1,105 \text{ г/см}^3$ ), потрібного для приготування 5 л його 2%-го розчину ( $\rho = 1,02 \text{ г/см}^3$ ).

193. Визначте масу натрій нітрату, який треба додати до 160 г розчину цієї солі з масовою часткою розчиненої речовини 10%, щоб отримати розчин солі з масовою часткою речовини 20%.

194. Обчисліть масову частку  $\text{CdCl}_2$  у насиченому розчині, якщо розчинність кадмій хлориду за  $20^\circ\text{C}$  дорівнює 114,1 г у 100 г води.

195. Розрахуйте масу залізного купоросу ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) і води, необхідних для приготування 400 г розчину з масовою часткою феруму (II) сульфату 7%.

196. Визначте осмотичний тиск розчину цукру  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  за  $27^\circ\text{C}$ , якщо 1 л розчину містить 91 г розчиненої речовини.

197. Визначте тиск пари розчину за  $25^\circ\text{C}$ , у 450 г якого міститься 90 г глюкози. Тиск пари води за цієї температури становить 3167 кПа.

198. Визначте температуру кипіння розчину, який містить 100 г цукру в 750 г води.

199. Визначте масу цукру в 250 мл розчину, осмотичний тиск якого за  $7^\circ\text{C}$  становить 283,6 кПа.

200. Визначте тиск пари 10%-го розчину цукру за  $100^\circ\text{C}$ .

201. Визначте температуру кристалізації водного розчину сечовини  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , у якому на 100 молів води припадає 1 моль розчиненої речовини.

202. Розрахуйте кількість молів розчиненої речовини в 1 мл розчину, осмотичний тиск якого за  $54^\circ\text{C}$  становить 6065 Па.

203. Тиск пари води за  $20^\circ\text{C}$  становить 2338 Па. Розрахуйте масу цукру, яку потрібно розчинити в 720 г води для утворення розчину, тиск пари якого на 18,7 Па буде менший за тиск пари води. Обчисліть масову частку цукру в розчині.

204. Визначте температуру кристалізації 10%-го розчину гліцерину  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$  у воді.

205. Осмотичний тиск розчину, у 250 мл якого міститься 0,66 г сечовини  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , становить 111,1 кПа за  $33^\circ\text{C}$ . Розрахуйте молярну масу сечовини.

206. Тиск пари води за  $10^\circ\text{C}$  становить 1228 Па. Розрахуйте масу води, у якій слід розчинити 23 г гліцерину для утворення розчину, тиск пари якого дорівніватиме 1200 Па за тієї ж температури. Обчисліть масову частку гліцерину в розчині.

207. Визначте молярну масу розчиненої речовини, якщо внаслідок розчинення 0,4 г її в 10 г води температура кристалізації розчину зменшується на  $1,24^\circ$ .

208. Визначте осмотичний тиск 0,25 М розчину цукру за  $38^\circ\text{C}$ .

209. За  $0^\circ\text{C}$  тиск пари ефіру  $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$  становить 2465 Па. Розрахуйте для цієї ж температури а) тиск пари 5%-го розчину аніліну  $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$  в ефірі; б) тиск пари 10%-го розчину бензойної кислоти  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOH}$  в ефірі.

210. Температура кипіння ацетону  $56,1^{\circ}\text{C}$ , а його ебуліоскопічна константа дорівнює  $1,73^{\circ}$ . Розрахуйте температуру кипіння 8%-го розчину гліцерину в ацетоні.

### 8. Властивості розчинів електrolітів

Студенти повинні засвоїти знання про розчини електrolітів, електrolітичну дисоціацію, ступінь і константу дисоціації, сильні та слабкі електrolіти, водневий показник (pH), дисоціацію води, іонний добуток води, ізотонічний коефіцієнт, добуток розчинності, гідроліз солей, ступінь і константу гідролізу. Необхідно також уміти складати рівняння обміну в розчинах електrolітів та гідролізу різних типів солей.

Поняття	Визначення
Електrolітична дисоціація	Процес розпаду молекул електrolітів на позитивно заряджені іони – катіони і негативно заряджені іони – аніони. Електrolітична дисоціація речовин, яка відбувається з утворенням вільних іонів, пояснює електричну провідність розчинів.
Ступінь дисоціації ( $\alpha$ )	Відношення кількості молекул, які розпалися на іони ( $n$ ), до загальної кількості розчинених молекул ( $N$ ): $\alpha = n/N.$ Може змінюватися від 0 до 1, або від 0 до 100 %.
Електrolіти	Речовини, які в розчинах розпадаються на іони: <i>сильні</i> ( $\alpha > 0,30$ ): у розчині є лише іони і практично немає молекул; <i>середньої сили</i> $(0,03 < \alpha < 0,30)$ <i>слабкі</i> ( $0 < \alpha < 0,03$ ) <span style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</span> у розчині є іони та молекули
Константа дисоціації	Константа рівноваги, що відповідає дисоціації слабого електrolіту. $K_a A_k \rightleftharpoons a K^{k+} + k A^{a-}$ $K_d = \frac{[K^{k+}]^a \cdot [A^{a-}]^k}{[K_a A_k]}$ Величина константи залежить від природи електrolіту і розчинника, температури, але не залежить від концентрації
Закон розведення Оствальда	Зі зменшенням концентрації електrolіту ступінь його дисоціації зростає. $K_d = \frac{C \cdot \alpha^2}{1 - \alpha} \approx C \cdot \alpha^2,$ $\alpha = \sqrt{\frac{K_d}{C}}$

Поняття	Визначення
Ізотонічний коефіцієнт	Безрозмірний параметр, який характеризує поведінку речовини в розчині і чисельно дорівнює відношенню значення деякої колігативної властивості розчину даної речовини та значення тієї ж колігативної властивості розчину неелектроліту такої самої концентрації. Пов'язаний зі ступенем електролітичної дисоціації: $i = 1 + \alpha(k - 1),$ де $k$ – кількість іонів, на які може розпадатися речовина
Водневий показник (рН)	Показник, що характеризує кислотні властивості розчинів: $\text{pH} = -\lg[\text{H}^+];$ кислий розчин – $\text{pH} < 7$ ; нейтральний розчин – $\text{pH} = 7$ ; лужний розчин – $\text{pH} > 7$
Іонний добуток води	Константа, яка характеризує дисоціацію води як слабого електроліту: $K_{\text{H}_2\text{O}} = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-]$
Добуток розчинності (ДР)	Добуток концентрацій іонів малорозчинного електроліту в насиченому розчині за певної температури (стала величина). $K_a A_k \rightleftharpoons a K^{k+} + k A^{a-},$ $\text{ДР} = [K^{k+}]^a \cdot [A^{a-}]^k$
Гідроліз солей	Обмінна взаємодія речовин із водою, під час якої складові частини речовини сполучаються зі складовими частинами води: $\text{Me}^+ + \text{A}^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{MeOH} + \text{HA}$
Ступінь гідролізу солі ( $h$ )	Відношення концентрації солі, яка зазнала гідролізу, до її загальної концентрації. Аналогічно до ступеня дисоціації ступінь гідролізу може змінюватися від 0 до 1, або від 0 до 100 %
Константа гідролізу ( $K_r$ )	Константа рівноваги гідролізу, яку розраховують згідно із законом діючих мас. Ступінь та константа гідролізу пов'язані аналогічно до ступеня та константи дисоціації: $K_r = \frac{C \cdot h^2}{1 - h} \approx C \cdot h^2,$ $h = \sqrt{\frac{K_r}{C}}$

Для написання рівнянь іонних реакцій треба враховувати:

- прості речовини, оксиди, а також нерозчинні речовини не дисоціюють;
- якщо малорозчинна речовина утворюється в результаті реакції, то в іонному рівнянні її вважають нерозчинною;

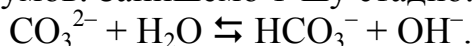


- сума зарядів іонів ліворуч і праворуч повинна бути однаковою;
- записують повне молекулярне, повне іонне та скорочене іонне рівняння.

**Приклад 8.1.** Написати рівняння гідролізу: а)  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ; б)  $\text{AlCl}_3$ ; в)  $\text{NH}_4\text{CN}$ .

#### Розв'язання

а) Натрій карбонат утворений сильною основою ( $\text{NaOH}$ ) та слабкою кислотою ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Гідроліз відбувається за аніоном. Реакцію середовища визначатиме сильний компонент (у даному випадку вона буде лужною  $\text{pH} > 7$ ). Якщо кислота багатоосновна, гідроліз повинен здійснюватися поступово. Кількість його стадій дорівнює основності кислоти. У даному випадку матимуть місце дві стадії. Але самовільний гідроліз можливий тільки в першій, друга стадія відбудеться тільки за певних умов. Запишемо 1-шу стадію:



Зі скороченого рівняння першої стадії гідролізу одержимо повне іонно-молекулярне рівняння:

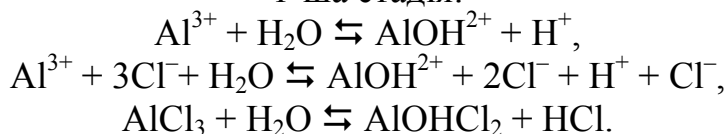


та молекулярне рівняння:

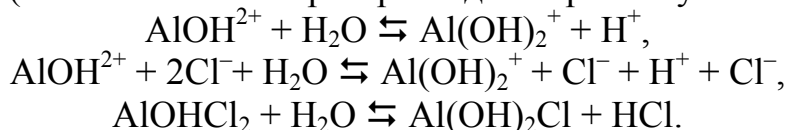


б) Гідроліз алюміній хлориду відбувається за катіоном, тому що сіль утворена слабкою основою ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) та сильною кислотою ( $\text{HCl}$ ). Якщо основа багатокислотна, гідроліз повинен здійснюватися поступово. Кількість його стадій дорівнює кислотності основи. У даному випадку мають місце три стадії. Але самовільний гідроліз можливий тільки в першій, інші – відбуваються тільки за певних умов. Реакцію середовища визначатиме сильний компонент (у даному випадку вона буде кислою  $\text{pH} < 7$ ).

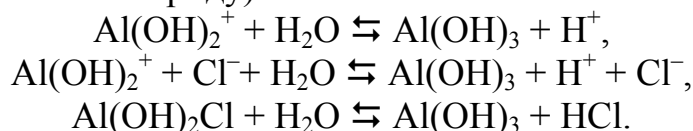
1-ша стадія:



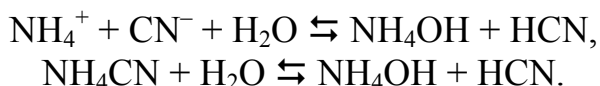
2-га стадія (можлива тільки в разі розведення розчину та нагрівання):



3-тя стадія (можлива лише в тому випадку, коли до киплячої води краплями додають розчин алюміній хлориду):



в) Амоній ціанід – сіль утворена катіоном та аніоном слабких електролітів, тому реакцію середовища визначає співвідношення сили слабких електролітів, що утворюються, вона близька до нейтральної ( $\text{pH} \approx 7$ ). Гідроліз відбувається за катіоном та аніоном:



**Приклад 8.2.** Визначити рН та рОН децимолярного розчину  $\text{HNO}_3$ .

Розв'язання

Нітратна кислота – сильний електроліт. Тому  $[\text{H}^+] = C(\text{HNO}_3) = 0,1$  моль/л;

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 0,1 = 1;$$

$$\text{pOH} + \text{pH} = 14 \Rightarrow \text{pOH} = 13.$$

Відповідь: рН розчину 1, а рОН = 13.

**Приклад 8.3.** Добуток розчинності  $\text{BaF}_2$  за  $18^\circ\text{C}$  дорівнює  $1,7 \cdot 10^{-6}$ . Розрахувати концентрацію іонів  $\text{Ba}^{2+}$  та  $\text{F}^-$  у насиченому розчині  $\text{BaF}_2$  за цієї температури.

Розв'язання

$\text{BaF}_2$  розпадається на іони за рівнянням



У процесі дисоціації  $\text{BaF}_2$  іонів  $\text{F}^-$  утворюється в 2 рази більше, ніж іонів  $\text{Ba}^{2+}$ . Отже,  $[\text{F}^-] = 2[\text{Ba}^{2+}]$ . Добуток розчинності солі

$$D_{\text{BaF}_2} = [\text{Ba}^{2+}] [\text{F}^-]^2.$$

Якщо виразити концентрацію іонів  $\text{F}^-$  через концентрацію іонів  $\text{Ba}^{2+}$ , то

$$D_{\text{BaF}_2} = [\text{Ba}^{2+}] (2[\text{Ba}^{2+}])^2 = 4 [\text{Ba}^{2+}]^3 = 1,7 \cdot 10^{-6}.$$

Концентрація іонів  $\text{Ba}^{2+}$  дорівнює

$$[\text{Ba}^{2+}] = \sqrt[3]{D_{\text{BaF}_2}/4} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ (моль/л)}.$$

Концентрація іонів  $\text{F}^-$  дорівнює

$$\text{F}^- = 7,5 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ (моль/л)}.$$

Відповідь: концентрація іонів  $\text{Ba}^{2+}$   $7,5 \cdot 10^{-3}$  моль/л, а  $\text{F}^-$   $1,5 \cdot 10^{-2}$  моль/л.

### Контрольні завдання

У завданнях 211–225 напишіть рівняння реакцій у молекулярно-іонній формі для реакцій обміну (а-д) та гідролізу (е-и).

- |   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| 211. а) $\text{AgNO}_3 + \text{FeCl}_3 \rightarrow$ ;                         | е) $\text{MgCl}_2$ ;              |
| б) $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 + \text{K}_2\text{S} \rightarrow$ ;    | є) $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;     |
| в) $\text{CuSO}_4 + \text{BaCl}_2 \rightarrow$ ;                              | ж) $\text{K}_2\text{CO}_3$ ;      |
| г) $\text{CaCl}_2 + \text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow$ ;                     | з) $\text{Al}_2\text{S}_3$ ;      |
| д) $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH} \rightarrow$ ;                         | и) $\text{HCOOK}$ .               |
| 212. а) $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \rightarrow$ ; | е) $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ;     |
| б) $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{HCl} \rightarrow$ ;                        | є) $\text{AlBr}_3$ ;              |
| в) $\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ;              | ж) $\text{KCl}$ ;                 |
| г) $\text{HClO} + \text{NaOH} \rightarrow$ ;                                  | з) $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ; |
| д) $\text{NH}_4\text{OH} + \text{HCN} \rightarrow$ ;                          | и) $\text{NaCN}$ .                |
| 213. а) $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{HClO} \rightarrow$ ;                  | е) $\text{CaCl}_2$ ;              |
| б) $\text{FeCl}_2 + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow$ ;                       | є) $\text{K}_3\text{PO}_4$ ;      |
| в) $\text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{HCl} \rightarrow$ ;                        | ж) $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ; |
| г) $\text{NaHS} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ;                        | з) $\text{NaNO}_3$ ;              |
| д) $\text{AgNO}_3 + \text{K}_2\text{S} \rightarrow$ ;                         | и) $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ .  |

214. а)  $\text{NaClO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ; б)  $\text{CrCl}_3 + \text{NaOH} \rightarrow$ ; в)  $\text{KHSO}_3 + \text{KOH} \rightarrow$ ; г)  $\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow$ ; д)  $\text{CaCO}_3 + \text{HCl} \rightarrow$ ;
215. а)  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow$ ; б)  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ; в)  $\text{CuSO}_4 + \text{KOH} \rightarrow$ ; г)  $\text{AgNO}_3 + \text{NaBr} \rightarrow$ ; д)  $\text{ZnSO}_4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow$ ;
216. а)  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{HCl} \rightarrow$ ; б)  $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow$ ; в)  $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ; г)  $\text{AlI}_3 + \text{AgNO}_3 \rightarrow$ ; д)  $\text{KHCO}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow$ ;
217. а)  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{KOH} \rightarrow$ ; б)  $\text{NiSO}_4 + \text{Na}_2\text{S} \rightarrow$ ; в)  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{MgI}_2 \rightarrow$ ; г)  $\text{CdS} + \text{HCl} \rightarrow$ ; д)  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NaOH} \rightarrow$ ;
218. а)  $\text{SnCl}_2 + \text{Na}_2\text{S} \rightarrow$ ; б)  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ; в)  $\text{FeSO}_4 + \text{NaOH} \rightarrow$ ; г)  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ; д)  $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{KOH} \rightarrow$ ;
219. а)  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + (\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \rightarrow$ ; б)  $\text{CH}_3\text{COONa} + \text{HCl} \rightarrow$ ; в)  $\text{AlBr}_3 + \text{AgNO}_3 \rightarrow$ ; г)  $\text{FeCl}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow$ ; д)  $\text{Ba}(\text{HCO}_3)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ;
220. а)  $\text{FeI}_2 + \text{Na}_2\text{CO}_3 \rightarrow$ ; б)  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow$ ; в)  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Zn} + \text{NaOH} \rightarrow$ ; г)  $\text{HgCl}_2 + \text{K}_2\text{S} \rightarrow$ ; д)  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ;
221. а)  $\text{CoBr}_2 + \text{NaOH} \rightarrow$ ; б)  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow$ ; в)  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} + \text{NaF} \rightarrow$ ; г)  $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HI} \rightarrow$ ; д)  $\text{NiSO}_4 + \text{Na}_2\text{SiO}_3 \rightarrow$ ;
222. а)  $\text{CdSO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow$ ; б)  $\text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow$ ; в)  $\text{NaI} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow$ ; г)  $\text{MgCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow$ ;
- е)  $\text{NaI}$ ;  
 е)  $\text{Cr}_2(\text{CO}_3)_3$ ;  
 ж)  $\text{Na}_2\text{S}$ ;  
 з)  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ;  
 и)  $\text{KClO}$ .  
 е)  $\text{FeCl}_3$ ;  
 е)  $\text{NaBr}$ ;  
 ж)  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ;  
 з)  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ;  
 и)  $\text{MgSO}_4$ .  
 е)  $\text{LiNO}_2$ ;  
 е)  $\text{NiSO}_4$ ;  
 ж)  $\text{NaI}$ ;  
 з)  $\text{Cr}_2\text{S}_3$ ;  
 и)  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .  
 е)  $\text{Cr}_2(\text{SO}_3)_3$ ;  
 е)  $\text{CH}_3\text{COONa}$ ;  
 ж)  $\text{CoBr}_2$ ;  
 з)  $\text{KNO}_3$ ;  
 и)  $\text{NH}_4\text{Cl}$ .  
 е)  $\text{ZnCl}_2$ ;  
 е)  $\text{NaCl}$ ;  
 ж)  $\text{NH}_4\text{CN}$ ;  
 з)  $\text{K}_2\text{S}$ ;  
 и)  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ .  
 е)  $\text{Al}_2(\text{SO}_3)_3$ ;  
 е)  $\text{KNO}_3$ ;  
 ж)  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ;  
 з)  $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ ;  
 и)  $\text{CuCl}_2$ .  
 е)  $\text{ZnCl}_2$ ;  
 е)  $\text{KI}$ ;  
 ж)  $\text{NaCN}$ ;  
 з)  $\text{K}_2\text{SO}_3$ ;  
 и)  $\text{ZnSO}_4$ .  
 е)  $\text{Ca}(\text{CN})_2$ ;  
 е)  $\text{MgSO}_4$ ;  
 ж)  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ ;  
 з)  $\text{KBrO}$ ;  
 и)  $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Fe}$ .  
 е)  $\text{MnCl}_2$ ;  
 е)  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ;  
 ж)  $\text{NH}_4\text{CNS}$ ;  
 з)  $\text{K}_2\text{SiO}_3$ ;

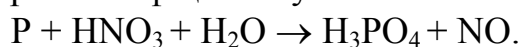


## 9. Окисно-відновні реакції

Студенти мають здобути знання про процеси окиснення та відновлення, навчитися визначати окисник та відновник, складати рівняння окисно-відновних реакцій.

Поняття	Визначення
Окисно-відновні реакції	Реакції, під час яких змінюються ступені окиснення елементів, що входять до складу реагуючих речовин
Відновлення	Процес приєднання електронів
Окиснення	Процес віддачі електронів
Відновник	Елемент або речовина, що віддає електрони
Окисник	Елемент або речовина, що приєднує електрони

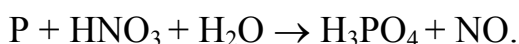
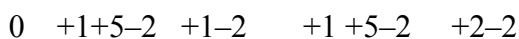
**Приклад 9.1.** Підібрати коефіцієнти у схемі окисно-відновної реакції:



Розв'язання

Наведена схема – приклад міжмолекулярної окисно-відновної реакції. Окисник і відновник – елементи різних молекул.

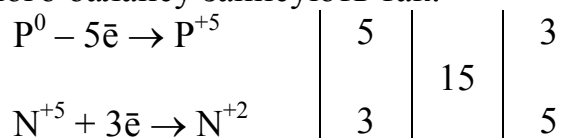
Визначимо ступені окиснення всіх елементів:



Ступінь окиснення змінили Фосфор та Нітроген. Фосфор віддає електрони, ступінь його окиснення підвищується з 0 до (+5), він – відновник. Нітроген приймає 3 електрони, змінюючи ступінь окиснення з (+5) до (+2). Нітратна кислота – окисник.

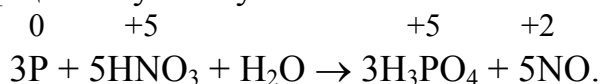
Для знаходження основних коефіцієнтів застосовують схему електронного балансу. В її основу покладене твердження про те, що кількість електронів, яку віддає відновник, повинна дорівнювати кількості електронів, приєднаних окисником.

Схему електронного балансу записують так:



Щоб кількість електронів, які приєднує окисник, дорівнювала кількості електронів, що віддає відновник, треба знайти найменше спільне кратне цих двох чисел (для 5 і 3 – це 15, а основними коефіцієнтами будуть 3 для Фосфору і 5 для Нітрогену).

Підставимо коефіцієнти у схему:



Тепер треба підрахувати кількість атомів Гідрогену в лівій і правій частинах схеми реакції. Ця кількість неоднакова, але не можна змінювати коефіцієнти перед окисником чи відновником, бо це порушить електронний баланс. Тому

кількість атомів Гідрогену треба зробити однаковою, поставивши коефіцієнт 2 перед формулою води. Остаточно рівняння реакції матиме такий вигляд:



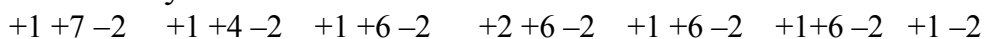
Правильність написання рівняння перевіряють підрахунком кількості атомів Оксигену: у лівій частині рівняння їх  $5 \cdot 3 + 2 \cdot 1 = 17$ ; у правій –  $3 \cdot 4 + 5 \cdot 1 = 17$ . Отже, рівняння складене правильно.

**Приклад 9.2.** Підібрати коефіцієнти у схемі окисно-відновної реакції:



Розв'язання

Визначимо ступені окиснення всіх елементів:



Ступінь окиснення змінили Манган та Сульфур. Манган приймає 5 електронів, змінюючи ступінь окиснення з (+7) до (+2).  $KMnO_4$  – окисник. Сульфур віддає 2 електрони, ступінь його окиснення підвищується з (+4) до (+6).  $Na_2SO_3$  – відновник.

Підпишемо під рівнянням кількість прийнятих та відданих електронів та складемо електронний баланс:



10

2

5

Підставимо коефіцієнти у схему:



Після виставлення коефіцієнтів перед атомами Сульфуру, Калію та Гідрогену рівняння має такий вигляд:



У лівій частині рівняння  $2 \cdot 4 + 5 \cdot 3 + 3 \cdot 4 = 35$  атомів Оксигену; у правій –  $2 \cdot 4 + 5 \cdot 4 + 1 \cdot 4 + 3 \cdot 1 = 35$ . Отже, рівняння складене правильно.

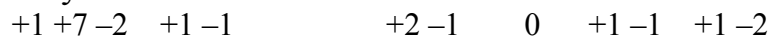
**Приклад 9.3.** Підібрати коефіцієнти у схемі окисно-відновної реакції:



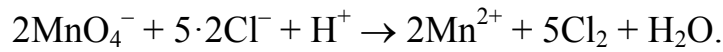
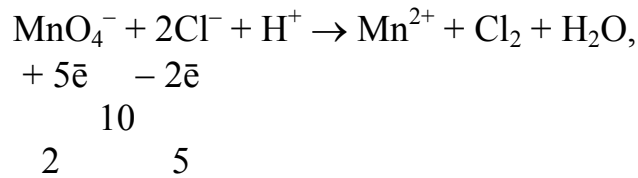
Розв'язання

Це рівняння – приклад міжмолекулярної окисно-відновної реакції, де відновник відіграє ще й роль солеутворювача.

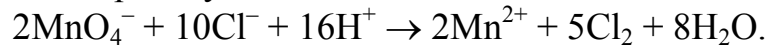
Визначимо ступені окиснення всіх елементів:



У кислотному середовищі Манган відновлюється до ступеня окиснення (+2), утворюючи мангану хлорид, а хлорид-іон кислоти окиснюється до вільного хлору.  $HCl$  – відновник,  $KMnO_4$  – окисник. Запишемо схему іонно-електронного балансу (у схемі залишаються іони та молекули, що містять елементи, які змінили ступінь окиснення та відповідають за характер середовища):



Після розставлення коефіцієнтів біля окисника та відновника визначимо сумарний заряд частинок у лівій та правій частині рівняння: у лівій (без урахування іонів середовища)  $q = -12$ , а в правій  $q = +4$ . Ставимо коефіцієнт перед іонами  $\text{H}^+$ , який дозволить зрівняти заряди лівої та правої частин, а потім зрівнюємо всі атоми Гідрогену:



У правій і лівій частинах рівняння маємо по 8 атомів Оксигену, отже, воно складене правильно. Переносимо коефіцієнти в молекулярне рівняння, перед  $\text{HCl}$  ставимо 16 і таким чином враховуємо атоми Хлору, що не змінили ступінь окиснення:

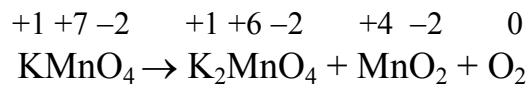


**Приклад 9.4.** Підібрати коефіцієнти у схемі окисно-відновної реакції:



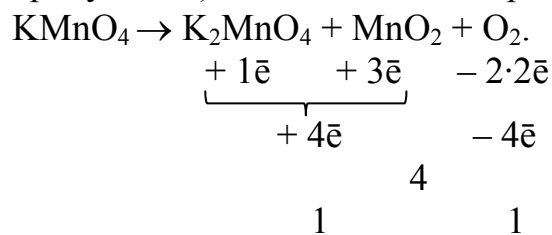
Розв'язання

Це рівняння – приклад окисно-відновної реакції, яка проходить у твердій фазі. Визначимо ступені окиснення всіх елементів:



Ступінь окиснення змінили атоми Мангану та Оксигену, які є елементами однієї сполуки, причому продукти реакції містять атоми Мангану з різними ступенями окиснення.

Підпишемо під рівнянням кількість прийнятих та відданих електронів (зручніше підписати під продуктами) та складемо електронний баланс:



Як бачимо, коефіцієнти перед окисником та відновником у правій частині дорівнюють одиниці.



Підрахуємо кількість атомів Мангану та Оксигену в правій частині й поставимо в лівій перед калій тетраоксоманганатом коефіцієнт 2.

Рівняння має такий вигляд:



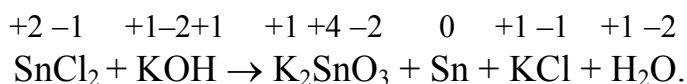
У правій і лівій частинах рівняння маємо по 8 атомів Оксигену. Отже, рівняння складене правильно.

**Приклад 9.5.** Підібрати коефіцієнти у схемі окисно-відновної реакції:

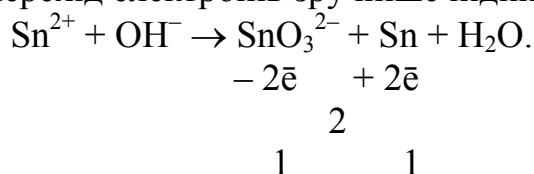


Розв'язання

Дане рівняння – приклад реакції диспропорціювання, у якій один і той самий елемент і окисник, і відновник. У таких випадках речовина з проміжним ступенем окиснення наче розкладається на дві сполуки, в одній із яких ступінь окиснення вищий, а в другій – нижчий. Позначимо ступені окиснення всіх елементів:



Ступінь окиснення змінив Станум. Цей елемент як окисник прийме два електрони, а як відновник віддає також два електрони. Запишемо схему іонно-електронного балансу (перехід електронів зручніше підписати під продуктами):



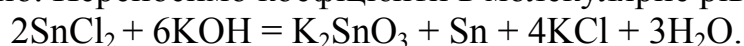
Як бачимо, коефіцієнти перед окисником та відновником у правій частині дорівнюють одиниці:



Після розставлення коефіцієнтів біля окисника та відновника підрахуємо сумарний заряд частинок у лівій та правій частині рівняння: у лівій (без урахування іонів середовища)  $q = +4$ , а у правій  $q = -2$ . Ставимо коефіцієнт перед іонами  $\text{OH}^-$ , який дозволить зрівняти заряди лівої та правої частин, а потім зрівнюємо всі атоми Гідрогену:



У правій і лівій частинах рівняння маємо по 6 атомів Оксигену, отже, воно складене правильно. Переносимо коефіцієнти в молекулярне рівняння:



### Контрольні завдання

У завданнях 241–270 методом іонно-електронного балансу розставте коефіцієнти в окисно-відновних реакціях.

241. а)  $\text{KMnO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ;  
 б)  $\text{C} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{HBr} \rightarrow \text{Br}_2 + \text{KBr} + \text{CrBr}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .
242. а)  $\text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KClO}_3 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{KNO}_2 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NO} + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{KMnO}_4 + \text{NaBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{Br}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
243. а)  $\text{SO}_2 + \text{Br}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HBr}$ ;  
 б)  $\text{CrCl}_3 + \text{NaClO} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{Si} + \text{KOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2$ .
244. а)  $\text{Ca} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{KMnO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;



- б)  $\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$ .  
 245. а)  $\text{Na}_2\text{SnO}_2 + \text{Cl}_2 + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6] + \text{NaCl}$ ;  
 б)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{CO} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{CO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{Sn} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SnO}_3 + \text{NO}$ .  
 246. а)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{NaNO}_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{MnO}_2 + \text{KBr} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Br}_2 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{I}_2 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ba}(\text{IO}_3)_2 + \text{BaI}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .  
 247. а)  $\text{N}_2\text{H}_4 \rightarrow \text{N}_2 + \text{NH}_3$ ;  
 б)  $\text{SnCl}_2 + \text{HgCl}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{Hg} + \text{H}_2[\text{SnCl}_6]$ ;  
 в)  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + \text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{NO}_2 + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ .  
 248. а)  $\text{S} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ;  
 б)  $\text{KMnO}_4 + \text{K}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{MnO}_2 + \text{O}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .  
 249. а)  $\text{Zn} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Zn}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{PH}_3 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .  
 250. а)  $\text{ClO}_2 + \text{Ba}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{Ba}(\text{ClO}_2)_2 + \text{Ba}(\text{ClO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{K}_2[\text{Sn}(\text{OH})_4] + \text{Bi}(\text{NO}_3)_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6] + \text{Bi} + \text{KNO}_3$ ;  
 в)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{O}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .  
 251. а)  $\text{KMnO}_4 + \text{K}_2\text{HPO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{K}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{HClO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$ .  
 252. а)  $\text{KBrO} \rightarrow \text{KBrO}_3 + \text{KBr}$ ;  
 б)  $\text{S} + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{Na}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{Mn}(\text{OH})_2 + \text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ .  
 253. а)  $\text{CuS} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{KMnO}_4 + \text{Na}_3\text{AsO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{Na}_3\text{AsO}_4 + \text{KOH}$ ;  
 в)  $\text{HClO}_3 \rightarrow \text{HClO}_4 + \text{ClO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .  
 254. а)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + (\text{NH}_4)_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{S} + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{SO}_2 + \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$ ;  
 в)  $\text{MnO}_2 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnSO}_4 + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .  
 255. а)  $\text{MnSO}_4 + \text{KClO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{KCl} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{NaNO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{P} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NO}$ .  
 256. а)  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Br}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{CrO}_4 + \text{NaBr} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{HNO}_2 \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{KMnO}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{MnCl}_2 + \text{KCl} + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .  
 257. а)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{Al} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{P} + \text{HClO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HCl}$ ;  
 в)  $\text{KMnO}_4 + \text{KI} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MnO}_2 + \text{I}_2 + \text{KOH}$ .  
 258. а)  $\text{Au} + \text{H}_2\text{SeO}_4 \rightarrow \text{Au}_2(\text{SeO}_4)_3 + \text{SeO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{PbS} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{S} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{KClO} + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ .

259. a)  $\text{MnSO}_4 + \text{PbO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{HMnO}_4 + \text{PbSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4] + \text{Br}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KBr} + \text{H}_2\text{O}$ .
260. a)  $\text{KMnO}_4 + \text{K}_2\text{HPO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{K}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{CO}_2$ ;  
 в)  $\text{K}_2[\text{Sn}(\text{OH})_4] + \text{Br}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6] + \text{KBr}$ .
261. a)  $\text{FeSO}_4 + \text{KClO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{KIO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{I}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
262. a)  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Br}_2 \rightarrow \text{Ca}(\text{BrO}_3)_2 + \text{CaBr}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{Na}_2\text{MnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaMnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{NaOH}$ ;  
 в)  $\text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{KI} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2 + \text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ .
263. a)  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_3\text{PO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Mn}(\text{OH})_4 + \text{O}_2 + \text{KOH}$ ;  
 в)  $\text{Hg} + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$ .
264. a)  $\text{Br}_2 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NaBrO}_3 + \text{NaBr} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{KMnO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{KOH}$ ;  
 в)  $\text{CoCl}_2 + \text{NaNO}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{CoCl}_3 + \text{NO} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ .
265. a)  $\text{Cu} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{MnO}_2 + \text{KClO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{KNO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .
266. a)  $\text{H}_2\text{O}_2 + \text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{MnSO}_4 + \text{O}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{CuCl}_2 + \text{KI} \rightarrow \text{CuI} + \text{I}_2 + \text{KCl}$ ;  
 в)  $\text{Al} + \text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4] + \text{H}_2$ .
267. a)  $\text{KMnO}_4 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{K}_2\text{SO}_4$ ;  
 б)  $\text{As}_2\text{S}_3 + \text{HNO}_3 \rightarrow \text{H}_3\text{AsO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{PH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .
268. a)  $\text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{SbSI} + \text{Cl}_2 + \text{KOH} \rightarrow \text{K}[\text{Sb}(\text{OH})_6] + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{KIO}_3 + \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{Ni}(\text{OH})_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{NiCl}_2 + \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .
269. a)  $\text{KI} + \text{KClO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2 + \text{KCl} + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 б)  $\text{H}_2\text{S} + \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{S} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{Zn} + \text{H}_3\text{AsO}_3 + \text{HCl} \rightarrow \text{AsH}_3 + \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$ .
270. a)  $(\text{NH}_4)_2\text{S} + \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{S} + \text{Cr}(\text{OH})_3 + \text{KOH} + \text{NH}_3$ ;  
 б)  $\text{Mo} + \text{HNO}_3 + \text{HF} \rightarrow \text{H}_2[\text{MoF}_8] + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ ;  
 в)  $\text{AgNO}_3 + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Ag} + \text{O}_2 + \text{HNO}_3$ .

## Варіанти завдань

Варіант	Номер завдання																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
	1	16	31	46	61	76	91	106	121	136	151	166	181	196	211	226	241	256	2	17	32	47	62	77	92	107	122	137	152	167	182	197	212	227	242	257	3	18	33	48	63	78	93	108	123	138	153	168	183	198	213	228	243	258	4	19	34	49	64	79	94	109	124	139	154	169	184	199	214	229	244	259	5	20	35	50	65	80	95	110	125	140	155	170	185	200	215	230	245	260	6	21	36	51	66	81	96	111	126	141	156	171	186	201	216	231	246	261	7	22	37	52	67	82	97	112	127	142	157	172	187	202	217	232	247	262	8	23	38	53	68	83	98	113	128	143	158	173	188	203	218	233	248	263	9	24	39	54	69	84	99	114	129	144	159	174	189	204	219	234	249	264	10	25	40	55	70	85	100	115	130	145	160	175	190	205	220	235	250	265	11	26	41	56	71	86	101	116	131	146	161	176	191	206	221	236	251	266	12	27	42	57	72	87	102	117	132	147	162	177	192	207	222	237	252	267	13	28	43	58	73	88	103	118	133	148	163	178	193	208	223	238	253	268	14	29	44	59	74	89	104	119	134	149	164	179	194	209	224	239	254	269	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	16	1	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160	176	192	208	224	240	256	17	4	19	31	47	63	79	95	111	127	143	159	175	191	207	223	239	255	18	6	21	34	50	66	82	98	114	130	146	162	178	194	210	226	242	258	19	8	17	36	52	68	84	100	116	132	148	164	180	196	212	228	244	260	20	10	20	35	51	67	83	99	115	131	147	163	179	195	211	227	243	259	21	12	18	39	55	71	87	103	119	135	151	167	183	199	215	231	247	263	22	14	23	41	57	73	89	105	121	137	153	169	185	201	217	233	249	265	23	1	26	40	56	72	88	104	120	136	152	168	184	200	216	232	248	264	24	3	22	33	49	65	81	97	113	129	145	161	177	193	209	225	241	257	25	5	29	37	53	69	85	101	117	133	149	165	181	197	213	229	245	261	26	7	30	42	58	74	90	106	122	138	154	170	186	202	218	234	250	266	27	9	27	38	54	70	86	102	118	134	150	166	182	198	214	230	246	262	28	11	25	45	59	75	91	107	123	139	155	171	187	203	219	235	251	267	29	13	28	43	60	76	92	108	124	140	156	172	188	204	220	236	252

Закінчення таблиці

Варіант	Номер завдання																	
	15	24	39	46	61	77	91	106	126	142	153	168	183	198	213	240	255	270
<b>30</b>	5	18	44	52	66	82	98	113	124	144	154	169	184	199	214	227	241	256
<b>31</b>	12	22	32	55	62	85	92	109	130	141	155	170	185	200	215	228	242	257
<b>32</b>	1	16	42	47	71	77	101	118	123	146	156	171	186	201	216	229	243	258
<b>33</b>	9	30	45	58	64	89	97	112	133	149	157	172	187	202	217	230	244	259
<b>34</b>	4	27	34	51	74	81	99	117	127	150	158	173	188	203	218	231	245	260
<b>35</b>	10	17	41	54	68	88	91	110	135	140	159	174	189	204	219	232	246	261
<b>36</b>	7	20	31	46	61	83	104	116	122	147	160	175	190	205	220	233	247	262
<b>37</b>	2	21	39	53	72	80	96	107	129	137	161	176	191	206	221	234	248	263
<b>38</b>	15	19	36	49	75	86	102	114	131	139	162	177	192	207	222	235	249	264
<b>39</b>	13	23	43	56	67	76	105	120	126	142	163	178	193	208	223	236	250	265
<b>40</b>	8	25	37	59	69	90	95	108	132	148	164	179	194	209	224	237	251	266
<b>41</b>	14	28	33	50	63	87	93	119	121	136	165	180	195	210	225	238	252	267
<b>42</b>	6	29	40	48	73	78	100	111	128	143	151	169	181	199	211	239	253	268
<b>43</b>	3	24	35	57	70	84	103	115	125	145	152	170	182	200	212	240	254	269
<b>44</b>	11	26	38	60	65	79	94	106	134	138	153	171	183	201	213	226	255	270
<b>45</b>	3	16	33	47	61	76	102	117	133	137	154	172	184	202	214	227	242	256
<b>46</b>	10	22	45	56	68	81	91	107	127	150	155	173	185	203	215	228	243	257
<b>47</b>	8	29	31	54	75	85	105	112	131	142	156	174	186	204	216	229	244	258
<b>48</b>	1	18	39	51	62	90	104	109	135	146	157	175	187	205	217	230	245	259
<b>49</b>	12	23	43	60	73	88	99	120	124	144	158	176	188	206	218	231	246	260
<b>50</b>	2	18	34	50	66	82	98	114	130	147	162	178	194	210	226	232	247	263
<b>51</b>	3	19	35	51	67	83	100	115	131	148	163	179	195	211	227	233	248	264
<b>52</b>	4	20	36	52	68	84	101	116	132	149	164	180	196	212	228	234	249	265
<b>53</b>	5	21	37	53	69	85	102	117	133	150	165	181	197	213	229	235	250	266
<b>54</b>	6	22	38	54	70	86	103	118	134	151	166	182	198	214	230	236	251	267
<b>55</b>	7	23	39	55	71	87	104	119	135	152	167	183	199	215	231	237	252	267
<b>56</b>	1	17	33	49	65	81	97	113	129	145	161	177	193	209	225	230	246	262

## Зміст

Вступ	3
1. Основні хімічні поняття. Кількісні відношення в хімії	3
2. Основні газові закони	8
3. Будова атома. Періодичний закон та періодична система хімічних елементів	10
4. Хімічний зв'язок	15
5. Основні класи неорганічних сполук	18
6. Основні закономірності перебігу хімічних реакцій	22
7. Розчини. Способи вираження концентрації розчинів. Фізико-хімічні властивості розчинів неелектролітів	30
8. Властивості розчинів електролітів	38
9. Окисно-відновні реакції	44
Варіанти завдань	50