

## ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВИХ ЗАДАЧ до теми 1 ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ І ЗАКОНИ ХІМІЇ

Всі посилання в тексті на математичні вирази законів відносяться до теми 1.

**Приклад 1.1.** Розрахуйте відносну молекулярну масу формульної одиниці  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ .

**Розв'язок.** Формульна одиниця – це, інакше кажучи, умовна формула сполуки, яка за допомогою символів хімічних елементів відображає якісний склад, а за допомогою індексів – кількісний склад речовини. Одночасно формульна одиниця може зазначити як одну молекулу, так і один моль даної сполуки. Відносна молекулярна маса  $M_r$  обчислюється як сума відносних атомних мас елементів  $A_r$  з урахуванням кількості атомів кожного елемента:

$$M_r(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 2 \cdot A_r(\text{Al}) + 3 \cdot A_r(\text{S}) + 12 \cdot A_r(\text{O}) = 2 \cdot 27 + 3 \cdot 32 + 12 \cdot 16 = 342 \text{ а.о.м.}$$

**Приклад 1.2.** Визначте абсолютну масу молекули води.

**Розв'язок.** Для обчислення маси однієї молекули речовини необхідно пам'ятати, що відносна молекулярна маса виражає масу однієї молекули, виміряну в а.о.м. Для води:

$$M_r(\text{H}_2\text{O}) = 2 A_r(\text{H}) + A_r(\text{O}) = 2 \cdot 1 + 16 = 18 \text{ а.о.м.}$$

З іншого боку, абсолютна маса (в метричних одиницях вимірювання) однієї атомної одиниці маси (тобто  $1/12 m_{\text{ат}}^{12\text{C}}$ ) складає:

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

Простіший спосіб обчислення абсолютної маси молекули ( $m_{\text{мол-ли}}$ ) – метод пропорцій:

$$\begin{array}{l} 1 \text{ а.о.м.} \text{ ————— } 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г} \\ 18 \text{ а.о.м.} \text{ ————— } x = m \text{ (молекули } \text{H}_2\text{O}), \end{array}$$

звідки:

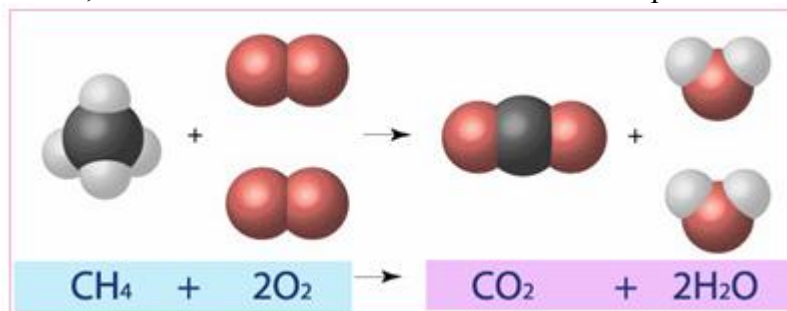
$$m(\text{молекули } \text{H}_2\text{O}) = \frac{18 \text{ а.о.м.} \cdot 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ г}}{1 \text{ а.о.м.}} = 29,9 \cdot 10^{-24} \text{ г} = 2,99 \cdot 10^{-26} \text{ кг.}$$

Легко помітити, що на основі метода пропорцій ми одержали формулу для обчислення абсолютної маси однієї молекули води:

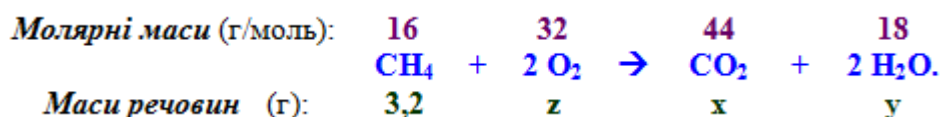
$$m_{\text{мол-ли}}(\text{H}_2\text{O}) = M_r(\text{H}_2\text{O}) \cdot 1/12 m_{\text{ат}}^{12\text{C}}.$$

**Приклад 1.3.** На підставі розрахунків загальних мас вихідних речовин і продуктів реакції підтвердити справедливість закону збереження маси на прикладі згоряння метану  $\text{CH}_4$  масою 3,2 г.

**Розв'язок.** При згорянні метану кількості атомів кожного елемента до і після реакції залишаються незмінними, як це видно з наведеної на схемі моделі реакції:



Для розрахунку мас вихідних речовин і одержаних продуктів запишемо рівняння хімічної реакції, на якій зазначимо молярні маси вихідних сполук і одержаних продуктів, а також маси речовин, позначивши невідомі маси:  $m(\text{CO}_2) = x$ ,  $m(\text{H}_2\text{O}) = y$ ,  $m(\text{O}_2) = z$ .



Для розв'язку скористаємося простішим методом пропорцій – окремо для кожної речовини.

а) Обчислюємо масу вуглекислого газу CO<sub>2</sub>, що утворився внаслідок згоряння 3,2 г метану CH<sub>4</sub>:

$$\frac{16\text{г/моль CH}_4}{3,2\text{г CH}_4} = \frac{44\text{г/моль CO}_2}{x\text{г CO}_2},$$

$$x = \frac{3,2 \cdot 44}{16} = 8,8\text{г CO}_2;$$

$$x = m(\text{CO}_2) = 8,8\text{ г};$$

б) Обчислюємо масу води H<sub>2</sub>O, що утворилася внаслідок згоряння 3,2 г метану CH<sub>4</sub>:

$$\frac{16\text{г/моль CH}_4}{3,2\text{г CH}_4} = \frac{2 \cdot 18\text{г/моль H}_2\text{O}}{y\text{г H}_2\text{O}},$$

$$y = \frac{3,2 \cdot 2 \cdot 18}{16} = 7,2\text{г H}_2\text{O};$$

$$y = m(\text{H}_2\text{O}) = 7,2\text{ г};$$

в) Обчислюємо масу кисню O<sub>2</sub>, необхідного для спалювання 3,2 г метану CH<sub>4</sub>:

$$\frac{16\text{г/моль CH}_4}{3,2\text{г CH}_4} = \frac{2 \cdot 32\text{г/моль O}_2}{z\text{г O}_2},$$

$$z = \frac{3,2 \cdot 2 \cdot 32}{16} = 12,8\text{г O}_2.$$

$$z = m(\text{O}_2) = 12,8\text{ г}.$$

Перевіряємо сумарні маси вихідних речовин і продуктів реакції:

$$m_{\text{вих.речовин}} = m(\text{CH}_4) + m(\text{O}_2) = 3,2 + 12,8 = 16,0\text{ г},$$

$$m_{\text{продуктів}} = m(\text{CO}_2) + m(\text{H}_2\text{O}) = 8,8 + 7,2 = 16,0\text{ г}.$$

$$m_{\text{вих.речовин}} = m_{\text{продуктів}} = 16,0\text{ г}.$$

Отже, хімічні реакції підлягають закону збереження маси.

**Приклад 1.4.** Обчислити об'єм кисню, якого достатньо для повного спалювання 3 л газу етану C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>.

**Розв'язок.** Запишемо рівняння реакції:



З закону об'ємних співвідношень Гей-Люссака випливає, що об'єми газів, які взаємодіють між собою чи утворюються внаслідок реакції, прямо пропорційні коефіцієнтам у рівнянні реакції перед формулами цих газів, тому:

$$V(\text{C}_2\text{H}_6) : V(\text{O}_2) = 2 : 7.$$

З одержаної пропорції знайдемо об'єм кисню, необхідний для спалювання 3 л етану:

$$V(\text{O}_2) = 7/2 \cdot V(\text{C}_2\text{H}_6) = 7/2 \cdot 3\text{л} = 10,5\text{л}.$$

**Приклад 1.5.** Для спалювання 5 л невідомого газу витрачено 10 л кисню. Внаслідок цього утворюється 9 л вуглекислого газу і 5 л азоту. Встановити формулу газу, вважаючи, що всі об'єми виміряні за однакових умов.

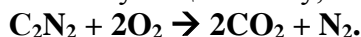
**Розв'язок.** Співвідношення об'ємів газів дає стехіометричні коефіцієнти:

$$V(\text{газу}) : V(\text{O}_2) : V(\text{CO}_2) : V(\text{N}_2) = 5 : 10 : 9 : 5 = \mathbf{1 : 2 : 2 : 1}.$$

Запишемо умовне рівняння, використовуючи одержані коефіцієнти:



Аналізуючи співвідношення коефіцієнтів та склад усіх газів, можна дійти висновку, що невідомий газ містить по два атоми вуглецю і азоту, звідки:



**Приклад 1.6.** Розрахувати кількість речовини сульфатної (сірчаної) кислоти і число молекул  $\text{H}_2\text{SO}_4$  у зразку масою 49 г.

**Розв'язок.** Відносна молекулярна маса сульфатної кислоти дорівнює:

$$M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot A_r(\text{H}) + A_r(\text{S}) + 4 \cdot A_r(\text{O}) = 2 \cdot 1 + 32 + 4 \cdot 16 = 98 \text{ а.о.м.},$$

а молярна маса має таке ж чисельне значення, хоча характеризує вже не масу однієї молекули, а масу одного моля речовини (тобто  $6,02 \cdot 10^{23}$  молекул):

$$M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ г/моль}.$$

Перетворивши рівняння (1.6:  $M = m / \nu$ ) і (1.5:  $\nu = N / N_A$ ), розраховуємо кількість речовини  $\nu$  і число молекул  $N$  у зразку  $\text{H}_2\text{SO}_4$  масою 49 г:

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m}{M} = \frac{49 \text{ г}}{98 \text{ г/моль}} = 0,5 \text{ моль},$$

$$N_{\text{молекул}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \nu \cdot N_A = 0,5 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ молекул/моль} = 3,01 \cdot 10^{23} \text{ молекул}.$$

**Приклад 1.7.** За н.у. об'єм газу складає 112 мл. Чому дорівнюють кількість речовини і число молекул?

**Розв'язок.** Об'єм газу  $V = 112 \text{ мл} = 0,112 \text{ л}$ . Тоді на підставі рівнянь ( $\nu = V / V_M$ ) і ( $\nu = N / N_A$ ) знаходимо кількість речовини  $\nu$  число молекул  $N$  газу в заданому об'ємі:

$$\nu_{\text{газу}} = \frac{V}{V_M} = \frac{0,112}{22,4} = 0,05 \text{ моль},$$

$$N = \nu \cdot N_A = 0,05 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 3,01 \cdot 10^{22} \text{ молекул}.$$

**Приклад 1.8.** Маса зразка азоту становить 14 г. Обчислити: а) кількість речовини азоту; б) об'єм, який займає азот за нормальних умов (н.у.); в) число молекул і атомів, що містяться у зразку азоту вказаної маси.

**Розв'язок.** Для розв'язування задач цього типу зручно користуватися готовими формулами.

**а)** На основі базисної формули визначення молярної маси ( $M = m/\nu$ ) знайдемо кількість речовини азоту:

$$\nu(\text{N}_2) = m(\text{N}_2) / M(\text{N}_2) = 14 \text{ г} / 28 \text{ г/моль} = 0,5 \text{ моль}.$$

**б)** Об'єм  $V$  пов'язаний з молярним об'ємом  $V_M$  і кількістю речовини  $\nu$  залежністю  $\nu = V / V_M$ , тоді об'єм зразку азоту за н.у.:

$$V(\text{N}_2) = \nu(\text{N}_2) \cdot V_M = 0,5 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ л/моль} = 11,2 \text{ л}.$$

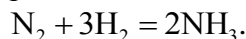
**в)** Число молекул азоту можна визначити, перетворивши формулу, що зв'язує кількість речовини  $\nu$ , число молекул  $N$  і сталу Авогадро ( $\nu = N/N_A$ ), звідки обчислимо кількість молекул азоту, що містяться у зразку масою 14 г:

$$N(\text{молекул } \text{N}_2) = \nu(\text{N}_2) \cdot N_A = 0,5 \text{ моль} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ молекул/моль} = 3,01 \cdot 10^{23} \text{ молекул}.$$

Знайдемо загальну кількість атомів азоту, врахувавши, що одна молекула складається з двох атомів. Отже, в  $3,01 \cdot 10^{23}$  молекул азоту міститься  $6,02 \cdot 10^{23}$  атомів.

**Приклад 1.9.** Який об'єм займатиме амоніак, якщо відомо, що об'єм водню, з якого утворився  $\text{NH}_3$ , становить  $450 \text{ м}^3$ ? Об'єми газів виміряні за однакових умов.

**Розв'язок.** Складаємо рівняння хімічної реакції:



За рівнянням реакції визначаємо об'ємні співвідношення газів у реакції:

$$V(\text{H}_2) : V(\text{NH}_3) = 3 : 2 = 1,5 : 1.$$

Отже, об'єм утвореного амоніаку в 1,5 рази менший за об'єм водню. Розраховуємо об'єм утвореного амоніаку:

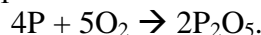
$$V(\text{NH}_3) = \frac{V(\text{H}_2)}{1,5} = \frac{450}{1,5} = 300 \text{ м}^3.$$

**Приклад 1.10.** Розрахувати, яка кількість фосфор (V) оксиду утвориться при горінні у надлишку кисню а) 8 моль фосфору; б) 248 г фосфору.

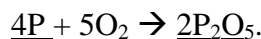
**Розв'язок.** Це типова задача на знаходження маси (об'єму, кількості) однієї із взаємодіючих речовин за відомою масою (об'ємом, кількістю) іншої речовини. Задачі такого типу розв'язують згідно з певним алгоритмом:

а) Відома кількість однієї речовини  $\nu_1 \rightarrow$  невідома кількість іншої речовини  $\nu_2$ :

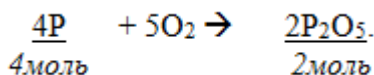
1. Складаємо рівняння хімічної реакції:



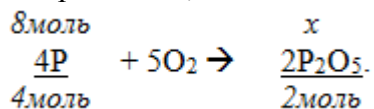
2. Встановлюємо речовину, кількість якої відома, і речовину, кількість якої необхідно розрахувати. Підкреслюємо формули цих речовин у рівнянні хімічної реакції:



3. Під формулами речовин, які встановили, записуємо їх кількості відповідно до коефіцієнтів, які стоять перед їх формулами у рівнянні хімічної реакції:



4. Над формулою однієї речовини, кількість якої відома за умовою, записуємо її кількість, а над формулою іншої речовини, кількість якої необхідно знайти, –  $x$ :



5. Складаємо пропорцію і визначаємо  $x$ .

$$\frac{8 \text{ моль (P)}}{4 \text{ моль (P)}} \text{ утворює } \frac{x \text{ моль (P}_2\text{O}_5)}{2 \text{ моль (P}_2\text{O}_5)}$$

$$x = \frac{8 \text{ моль} \cdot 2 \text{ моль}}{4 \text{ моль}} = 4 \text{ моль}.$$

б) Відома маса однієї речовини  $m_1 \rightarrow$  невідома маса іншої речовини  $m_2$ :

1. За відомою формулою ( $\nu = m / M$ ) знаходимо кількість речовини, маса якої дана за умовою задачі:

$$\nu(\text{P}) = m(\text{P}) / M(\text{P}) = 248\text{г} / 31 \text{ г/моль} = 8 \text{ моль}.$$

2. Виконуємо дії за наведеним вище алгоритмом і встановлюємо шукану кількість речовини:

$$\nu(\text{P}_2\text{O}_5) = 4 \text{ моль}.$$

3. За відомою формулою ( $m = \nu \cdot M$ ) розраховуємо масу речовини, яка була невідома.

$$m(\text{P}_2\text{O}_5) = \nu(\text{P}_2\text{O}_5) \cdot M(\text{P}_2\text{O}_5) = 4\text{моль} \cdot 142\text{г/моль} = 568\text{г}.$$

**Приклад 1.11.** Встановити формулу газу, який складається з двохатомних гомоядерних молекул, а його відносна густина за гелієм дорівнює 7.

**Розв'язок.** Гомоядерний – це газ, молекули якого складається з атомів одного елемента. Для зручності позначимо формулу газу через  $X_2$ , а його відносну густина за гелієм –  $d_{\text{He}}(X_2) = 7$ . Тоді відносна молекулярна маса дорівнює:

$$M_r(X_2) = d_{\text{He}}(X_2) \cdot M_r(\text{He}) = 7 \cdot 4 = 28.$$

Газ є гомоядерним і двохатомним, тому молекула цього газу складається з двох однакових атомів, а відносна атомна маса складає:

$$A_r(X) = M_r(X_2) / 2 = 28 / 2 = 14 \text{ а.о.м.}$$

За таблицею Менделєєва знаходимо елемент, для якого  $A_r = 14$ . Це нітроген N, а шуканий газ – азот N<sub>2</sub>.

**Приклад 1.12.** Визначити молярну масу газу, якщо його відносна густина за повітрям становить 2.

**Розв'язок.** Відносна густина газу за повітрям  $d_{\text{пов}}$  показує, у скільки разів газ легше чи важче за повітря, і визначається одним із співвідношень:

$$d_{\text{пов}} = M_{\text{газу}} / M_{\text{пов}} = \rho_{\text{газу}} / \rho_{\text{пов}}$$

Беручи до уваги молярну масу повітря ( $M_{\text{пов}} = 29 \text{ г/моль}$ ), обчислимо молярну масу невідомого газу:

$$M_{\text{газу}} = d_{\text{пов}} \cdot M_{\text{пов}} = 2 \cdot 29 \text{ г/моль} = 58 \text{ г/моль.}$$

**Приклад 1.13.** Об'єм газу при 23<sup>0</sup>С і тиску 103,3 кПа дорівнює 250 л. Визначте об'єм газу за: а) нормальних умов; б) стандартних умов (ст.у.).

**Розв'язок.** Завдання такого типу потребують точного використання одиниць вимірювання всіх величин. При застосуванні об'єднаного газового закону необхідно слідкувати, щоб, по-перше, одиниці вимірювання відповідних величин в лівій та правій частинах рівняння збігалися, а по-друге – температуру виражати у кельвінах: ( $t_{\text{н.у.}} = 0^0\text{С}$ , або  $T_{\text{н.у.}} = 273 \text{ К}$ );

а) За рівнянням (1.15) об'єднаного газового закону розраховуємо об'єм газу за н.у.:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_n V_n}{T_n} \Rightarrow V_n = \frac{PVT_n}{TP_n} = \frac{101,3 \text{ кПа} \cdot 250 \text{ л} \cdot 273 \text{ К}}{296 \text{ К} \cdot 101,3 \text{ кПа}} = 235 \text{ л.}$$

б) Стандартними вважаються такі умови:  $T_0 = 298 \text{ К}$  ( $t_0 = 25^0\text{С}$ ),  $P_0 = 101,3 \text{ кПа}$ . Тоді об'єм газу за ст.у. становить:

$$V_0 = \frac{PVT_0}{TP_0} = \frac{103,3 \text{ кПа} \cdot 250 \text{ л} \cdot 298 \text{ К}}{296 \text{ К} \cdot 101,3 \text{ кПа}} = 257 \text{ л.}$$

**Приклад 1.14.** Об'єм газу H<sub>2</sub>S, виміряний при температурі 17<sup>0</sup>С та тиску 98,64 кПа, становить 1,8 л. Розрахуйте густину H<sub>2</sub>S за н.у. і за вказаних умов.

**Розв'язок.** Задачі такого типу зручніше розв'язувати за рівнянням Менделєєва-Клапейрона (1.17), обов'язково беручи до уваги необхідність застосування відповідних одиниць вимірювання. Оскільки ми обираємо величину універсальної газової сталої  $R = 8,314 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$ , то слід попередньо перевести й усі вихідні дані у міжнародні одиниці вимірювання СІ. Маємо:

Температура:	$T = 17 + 273 = 290 \text{ К,}$
Тиск	$P = 98,64 \text{ кПа} = 98640 \text{ Па,}$
Об'єм	$V = 1,8 \text{ л} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$

При цьому шукана маса газу H<sub>2</sub>S буде виражатися у кг.

Перетворимо рівняння Менделєєва-Клапейрона:

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

Маса газу сірководню:

$$m(\text{H}_2\text{S}) = \frac{98640 \text{ Па} \cdot 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 34 \cdot 10^{-3} \text{ кг}}{290 \text{ К} \cdot 8,314 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}} = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 2,5 \text{ г.}$$

Розраховуємо густину за н.у.  $\rho(\text{H}_2\text{S})_{\text{н.у.}}$  і за вказаних умов  $\rho(\text{H}_2\text{S})$ :

$$\rho(\text{H}_2\text{S})_{\text{н.у.}} = \frac{M}{V_M} = \frac{34 \text{ г/моль}}{22,4 \text{ л/моль}} = 1,52 \text{ г/л.}$$

$$\rho(\text{H}_2\text{S}) = \frac{m}{V} = \frac{2,5\text{ г}}{1,8\text{ л}} = 1,39\text{ г/л.}$$

За іншим способом розрахунок густини  $\text{H}_2\text{S}$  можна також провести на підставі рівняння Менделєєва-Клапейрона:

$$PV = \frac{m}{M}RT \Rightarrow P = \frac{m}{V}RT \Rightarrow P = \frac{\rho RT}{M} \Rightarrow$$

$$\rho(\text{H}_2\text{S}) = \frac{PM}{RT} = \frac{98640\text{ Па} \cdot 34 \cdot 10^{-3}\text{ кг/моль}}{8,314\text{ Дж/моль} \cdot \text{К} \cdot 290\text{ К}} = 1,39\text{ кг/м}^3.$$

**Приклад 1.15.** Суміш газів  $\text{C}_2\text{H}_2$  і  $\text{C}_2\text{H}_6$ , відносна густина якої за воднем  $d_{\text{H}_2}(\text{газ. сум.}) = 14,5$ , при 15 атм і температурі  $-10^\circ\text{C}$  займає об'єм 10 л. Визначити масу суміші.

**Розв'язок.** На підставі другого наслідку закону Авогадро обчислимо молярну масу газової суміші:

$$M_{\text{газ. сум.}} = d_{\text{H}_2}(\text{суміші}) \cdot M(\text{H}_2) = 14,5 \cdot 2 = 29\text{ г/моль.}$$

Масу суміші знайдемо шляхом перетворення рівняння Менделєєва-Клапейрона (формула 1.17):

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

На відміну від **прикладу 1.13** не будемо дотримуватися одиниць вимірювання СІ, тому необхідно обрати відповідну величину універсальної газової сталої (табл. 1.7):

$$R = 0,082\text{ л} \cdot \text{атм} / \text{моль} \cdot \text{К.}$$

Обчислюємо масу газової суміші:

$$m(\text{суміші}) = \frac{PVM}{RT} = \frac{15\text{ атм} \cdot 10\text{ л} \cdot 29\text{ г/моль}}{0,082\text{ л} \cdot \text{атм/моль} \cdot \text{К} \cdot 263\text{ К}} = 205,1\text{ г.}$$

**Приклад 1.16.** Визначити парціальний тиск газів у суміші, яка утворилася при змішуванні 2 л  $\text{N}_2$  і 4 л  $\text{CO}_2$ , що знаходилися при однаковому тиску 750 мм.рт.ст.

**Розв'язок.** Після змішування газів (2 л  $\text{N}_2$  і 4 л  $\text{CO}_2$ ) загальний об'єм суміші становить:

$$V_{\text{сум}} = V(\text{N}_2)_{\text{поч}} + V(\text{CO}_2)_{\text{поч}} = 2 + 4 = 6\text{ л.}$$

Оскільки гази  $\text{N}_2$  і  $\text{CO}_2$  хімічно не взаємодіють один з одним, то кожний з них після змішування займає весь об'єм, тобто

$$V(\text{N}_2)_{\text{кінц}} = 6\text{ л}, V(\text{CO}_2)_{\text{кінц}} = 6\text{ л.}$$

Тоді об'єми газів  $\text{N}_2$  і  $\text{CO}_2$  збільшилися відповідно у:

$$V(\text{N}_2)_{\text{кінц}} / V(\text{N}_2)_{\text{поч}} = 6/2 = 3\text{ рази,}$$

$$V(\text{CO}_2)_{\text{кінц}} / V(\text{CO}_2)_{\text{поч}} = 6/4 = 1,5\text{ рази.}$$

У стільки ж разів зменшився парціальний тиск кожного газу:

$$P'(\text{N}_2) = 750 / 3 = 250\text{ мм.рт.ст.,}$$

$$P'(\text{CO}_2) = 750 / 1,5 = 500\text{ мм.рт.ст.}$$

**Приклад 1.17.** Визначити фактор еквівалентності та еквівалентну масу нітрогену в сполуках: а)  $\text{NH}_3$ ; б)  $\text{NO}_2$ ; в)  $\text{N}_2\text{O}_5$ ; г)  $\text{N}_2\text{O}$ .

**Розв'язок.** З урахуванням валентності нітрогену в кожній сполуці обчислимо фактори еквівалентності ( $f_E = 1/V$ ) та еквівалентні маси  $m_{\text{екв}}$  за формулою (3.15):

$$\text{а) } \text{NH}_3: \quad f_E(\text{N}) = 1/3, \quad m_{\text{екв}} = 14/3 = 4,3\text{ г/моль,}$$

$$\text{б) } \text{NO}_2: \quad f_E(\text{N}) = 1/4, \quad m_{\text{екв}} = 14/4 = 3,5\text{ г/моль,}$$

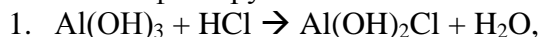
$$\text{в) } \text{N}_2\text{O}_5: \quad f_E(\text{N}) = 1/5, \quad m_{\text{екв}} = 14/5 = 2,8\text{ г/моль,}$$

$$\text{г) } \text{N}_2\text{O}: \quad f_E(\text{N}) = 1, \quad m_{\text{екв}} = 14/1 = 14\text{ г/моль.}$$



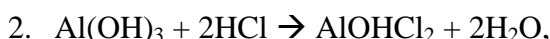
**Приклад 1.18.** Визначити фактор еквівалентності та еквівалентну масу алюміній гідроксиду у реакціях із гідрогенхлоридом (соляною) кислотою в різних стехіометричних співвідношеннях.

**Розв'язок.** Алюміній гідроксид містить три гідроксильні групи, тому в реакцію нейтралізації з кислотою може вступати в різних стехіометричних співвідношеннях залежно від співвідношення кількостей речовин  $\text{Al}(\text{OH})_3$  і кислоти  $\text{HCl}$ , що позначається на величинах фактору еквівалентності та еквівалентної маси.



В реакції (1) алюміній гідроксид поводить себе як однокислотна основа, оскільки відбувається заміщення тільки однієї гідроксильної групи  $\text{OH}$ , тому фактор еквівалентності  $f_E$  і еквівалентна маса  $m_{\text{екв}}$  набувають значень:

$$f_E(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1, \quad m_{\text{екв}}(\text{Al}(\text{OH})_3) = M/1 = 78 \text{ г/моль.}$$



В реакції (2) в алюміній гідроксиді заміщуються вже дві гідроксильні групи  $\text{OH}$  (двохкислотна основа), тому фактор еквівалентності  $f_E$  і еквівалентна маса  $m_{\text{екв}}$  дорівнюють:

$$f_E(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1/2, \quad m_{\text{екв}}(\text{Al}(\text{OH})_3) = M/2 = 78/2 = 39 \text{ г/моль.}$$



В реакції (3) алюміній гідроксид – трикислотна основа, тому величини фактору еквівалентності  $f_E$  і еквівалентної маси  $m_{\text{екв}}$  є такими:

$$f_E(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1/3, \quad m_{\text{екв}}(\text{Al}(\text{OH})_3) = M/3 = 78/3 = 26 \text{ г/моль.}$$

**Приклад 1.19.** Внаслідок взаємодії карбонату двовалентного металу масою 3,00 г з надлишком сульфатної (сірчаної) кислоти утворилось 4,08 г сульфату цього металу. Визначити метал. Який об'єм газу виділився?

**Розв'язок.** Запишемо умовне рівняння реакції



За законом еквівалентів маємо:

$$\frac{m_{\text{карбонату}}}{m_{\text{сульфату}}} = \frac{m_{\text{екв.карбонату}}}{m_{\text{екв.сульфату}}}.$$

З іншого боку еквівалентна маса складної сполуки дорівнює сумі еквівалентних мас складових частин, тобто:

$$\begin{aligned} m_{\text{екв.карбонату}} &= m_{\text{екв}}(\text{Me}) + m_{\text{екв}}(\text{CO}_3^{2-}), \\ m_{\text{екв.сульфату}} &= m_{\text{екв}}(\text{Me}) + m_{\text{екв}}(\text{SO}_4^{2-}), \end{aligned}$$

тому одержуємо:

$$\frac{m_{\text{карбонату}}}{m_{\text{сульфату}}} = \frac{m_{\text{екв.карбонату}}}{m_{\text{екв.сульфату}}} = \frac{m_{\text{екв}}(\text{Me}) + m_{\text{екв}}(\text{CO}_3^{2-})}{m_{\text{екв}}(\text{Me}) + m_{\text{екв}}(\text{SO}_4^{2-})}.$$

Еквівалентні маси карбонат- і сульфат-аніонів складають:

$$\begin{aligned} m_{\text{екв}}(\text{CO}_3^{2-}) &= M / |z| = 60 / 2 = 30 \text{ г/моль}, \\ m_{\text{екв}}(\text{SO}_4^{2-}) &= M / |z| = 96 / 2 = 48 \text{ г/моль}. \end{aligned}$$

Підставляємо відповідні значення у вираз закону еквівалентів:

$$\frac{3,00}{4,08} = \frac{m_{\text{екв}}(\text{Me}) + 30}{m_{\text{екв}}(\text{Me}) + 48}.$$

Розв'язуючи це рівняння відносно  $m_{\text{екв}}(\text{Me})$ , одержуємо

$$m_{\text{екв}}(\text{Me}) = 20 \text{ г/моль.}$$

Оскільки метал двохвалентний, то його молярна маса дорівнює

$$M(\text{Me}) = m_{\text{екв}}(\text{Me}) \cdot \nu = 20 \cdot 2 = 40 \text{ г/моль.}$$

Тоді відносна атомна маса  $A_r(\text{Me}) = 40$  а.о.м. Знаходимо метал за значенням  $A_r$  в періодичній системі елементів. Цей метал – кальцій.

Для розрахунків об'єму  $\text{CO}_2$ , що виділився внаслідок реакції, використовуємо закон еквівалентів у вигляді

$$\frac{m_{\text{карбонату}}}{m_{\text{екв. карбонату}}} = \frac{V(\text{CO}_2)}{V_{\text{екв}}(\text{CO}_2)}$$

Еквівалентну масу  $\text{CaCO}_3$  і еквівалентний об'єм  $\text{CO}_2$  розрахуємо за відповідними формулами:

$$m_{\text{екв}}(\text{CaCO}_3) = M / 2 = 100 / 2 = 50,00 \text{ г/моль},$$

$$V_{\text{екв}}(\text{CO}_2) = V_M / 2 \cdot 2 = 22,4 / 4 = 5,6 \text{ л/моль}.$$

Підставляємо дані у вираз закону еквівалентів:

$$\frac{3,00}{50,00} = \frac{V(\text{CO}_2)}{5,6}, \quad \text{звідки } V(\text{CO}_2) = 3,36 \text{ л}.$$

Записуємо рівняння реакції



**Приклад 1.20.** З оксиду металу масою 0,54 г можна одержати нітрат цього металу масою 1,26 г. Розрахуйте молярну масу еквівалента металу і визначте метал.

**Розв'язок.** За законом еквівалентів:

$$\frac{m(\text{Me}_x\text{O}_y)}{m(\text{Me}(\text{NO}_3)_y)} = \frac{m_{\text{екв}}(\text{Me}_x\text{O}_y)}{m_{\text{екв}}(\text{Me}(\text{NO}_3)_y)}.$$

Молярну масу еквівалента оксиду металу подаємо так:

$$m_{\text{екв}}(\text{Me}_x\text{O}_y) = m_{\text{екв}}(\text{Me}) + m_{\text{екв}}(\text{O}) = x + 8,$$

тоді молярна маса еквівалента нітрату металу дорівнює:

$$m_{\text{екв}}(\text{Me}(\text{NO}_3)_y) = m_{\text{екв}}(\text{Me}^{y+}) + m_{\text{екв}}(\text{NO}_3^-) = x + 62.$$

Підставляючи подані значення молярних мас еквівалентів оксиду та нітрату металу у вираз закону еквівалентів, отримуємо:

$$\frac{0,54}{1,26} = \frac{x + 8}{x + 62} \Rightarrow x = 32,5 \text{ г/моль}.$$

За формулою  $m_{\text{екв}}(\text{Me}) = M(\text{Me}) / V$  виводимо вираз для обчислення молярної маси металу:

$$M(\text{Me}) = m_{\text{екв}}(\text{Me}) \cdot V.$$

Методом перебору можливих валентностей металу  $V(\text{Me})$  відшукуємо підходяще значення молярної маси:

якщо $V = 1$ ,	то $M = V \cdot m_{\text{екв}} = 1 \cdot 32,5 = 32,5 \text{ г/моль};$
якщо $V = 2$ ,	то $M = V \cdot m_{\text{екв}} = 2 \cdot 32,5 = 65 \text{ г/моль};$
якщо $V = 3$ ,	то $M = V \cdot m_{\text{екв}} = 3 \cdot 32,5 = 96,5 \text{ г/моль}.$
якщо $V = 4$ ,	то $M = V \cdot m_{\text{екв}} = 4 \cdot 32,5 = 130 \text{ г/моль};$
якщо $V = 5$ ,	то $M = V \cdot m_{\text{екв}} = 5 \cdot 32,5 = 162,5 \text{ г/моль}.$

Перевіряємо значення молярних мас за таблицею Менделєєва. З усіх одержаних результатів для металу підходить тільки один:

$$M(\text{Me}) = 65 \text{ г/моль}.$$

Слід звернути увагу, що величина молярної маси 163,5 г/моль збігається з молярною масою елемента-лантаніду  ${}_{66}\text{Dy}$ , однак диспрозій розміщується у ШВ-групі періодичної системи, вища валентність для нього – III, тому Dy не здатний виявляти валентність, що дорівнює V. Розглядати більші значення валентностей недоречно, оскільки при цьому одержимо нереальну величину молярної маси. Але для загального випадку обов'язково слід зауважити, що при розв'язуванні подібних задач, необхідно послідовно підставляти можливі значення валентності елемента (від I до VIII), доки не буде визначено хімічний елемент.

Оскільки чисельне значення молярної маси металу збігається із значенням його відносної атомної маси, тому  $A_r(\text{Me}) = 65 \text{ а.о.м.}$  У періодичній системі хімічних елементів



знаходимо метал з таким значенням відносної атомної маси. Цей метал цинк, тому що  $A_r(\text{Zn}) = 65$  а.о.м.

**Приклад 1.21.** При взаємодії 1,215 г невідомого металу з сульфатною кислотою виділяється 1,12 л водню (н.у.). Розрахуйте молярну масу еквівалента металу і визначте метал.

**Розв'язок.** За законом еквівалентів розраховуємо молярну масу еквівалента металу:

$$\frac{m(\text{Me})}{V(\text{H}_2)} = \frac{m_{\text{екв}}(\text{Me})}{V_{\text{екв}}(\text{H}_2)} \Rightarrow$$
$$m_{\text{екв}}(\text{Me}) = \frac{m(\text{Me}) \cdot V_{\text{екв}}(\text{H}_2)}{V(\text{H}_2)} = \frac{1,215\text{г} \cdot 11,2\text{г/моль}}{1,12\text{л}} = 12,15\text{г/моль}.$$

Далі скористаємося методом перебору:

$$\text{якщо } V = 1, \text{ то } M = V \cdot m_{\text{екв}} = 1 \cdot 12,15 = 12,15 \text{ г/моль}.$$

Оскільки молярна маса чисельно збігається з відносною атомною масою, шукаємо у періодичній системі хімічних елементів одновалентний метал зі значенням  $A_r = 12$ . Такого металу не існує. Тоді припустимо, що валентність металу дорівнює II, одержуємо:

$$M(\text{Me}) = 12,15 \text{ г/моль} \cdot 2 = 24,3 \text{ г/моль}.$$

У періодичній системі елементів є двохвалентний метал зі значенням  $A_r = 24$  а.о.м. Цей метал – магній Mg.