

## § 86. Хімічна рівновага. Константа рівноваги

### Обчислення рівноважних концентрацій і констант рівноваги

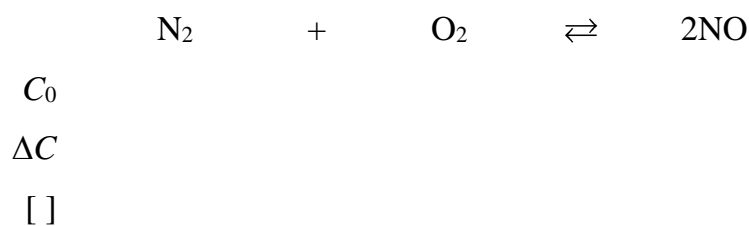
Під час обчислень рівноважних концентрацій, тобто концентрацій у системі, в якій встановилася хімічна рівновага, зручно користуватися так званою схемою Комаря. Її назвали на честь відомого хіміка-аналітика, засновника хімічної метрології, який тривалий час працював у Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна.

Під час складання цієї схеми під рівнянням реакції підписують три ряди концентрацій. Перший —  $C_0$  — початкова концентрація речовин (моль/л). Під нею розуміють концентрацію речовин, яка утворюється в момент змішування реагентів. Другий рядок —  $\Delta C$  — зміна концентрації речовин, що відбувається за досягнення стану хімічної рівноваги. Третій рядок позначають  $[\ ]$ , що означає рівноважні концентрації, тобто концентрації у стані хімічної рівноваги.

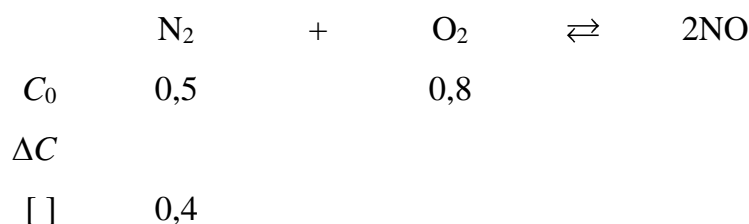
**Задача 1.** Початкові концентрації азоту й кисню становлять 0,5 та 0,8 моль/л відповідно. Визначте рівноважні концентрації кисню й нітроген(II) оксиду, якщо рівноважна концентрація азоту постійна 0,4 моль/л.

**Розв'язання:**

Складемо схему Комаря для цієї реакції:



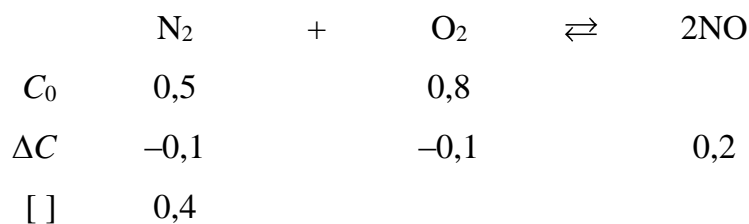
Запишемо в ній усі відомі дані, тобто концентрації реагентів і рівноважну концентрацію азоту (розмірності не вказуємо, щоб не нагромаджувати зайві символи):



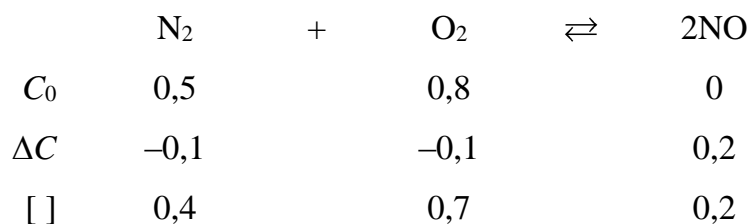
Зважаємо на те, що концентрація азоту за встановлення рівноваги зменшилася від 0,5 до 0,4 моль/л.

Це означає, що в реакцію вступило 0,1 моль/л азоту ( $\Delta C_{\text{азоту}} = -0,1$  моль/л).

За рівнянням реакції, якщо в реакцію вступило 0,1 моль/л азоту, то й кисню також мало вступити 0,1 моль/л. А нітроген(II) оксиду мало утворитися вдвічі більше, тобто 0,2 моль/л. Отже:



Знаючи, що нітроген(II) оксиду спочатку не було, то можемо обчислити рівноважні концентрації всіх речовин:

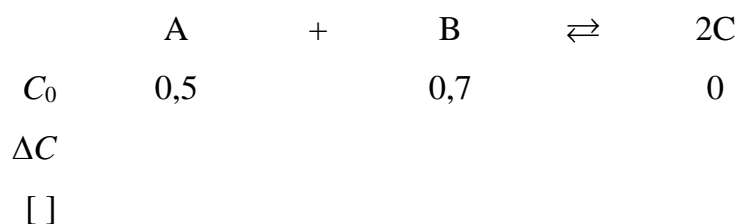


**Відповідь:** рівноважні концентрації кисню й нітроген(II) оксиду становлять, відповідно, 0,7 та 0,2 моль/л.

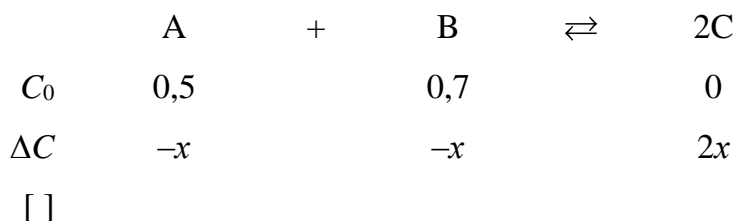
**Задача 2.** Реакція відбувається за рівнянням  $\text{A} + \text{B} \rightarrow 2\text{C}$ . Визначте рівноважні концентрації всіх речовин у системі, якщо початкові концентрації А і В дорівнюють, відповідно, 0,5 і 0,7 моль/л, а константа рівноваги — 50.

**Розв'язання:**

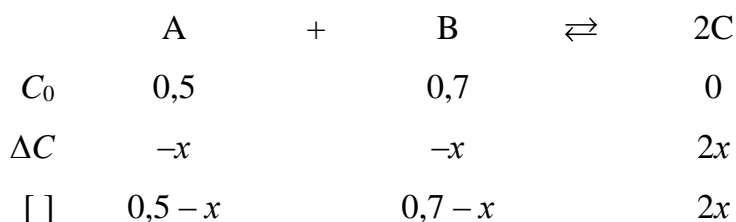
Складемо схему Комаля для реакції:



Скільки речовин витратилося до моменту встановлення рівноваги, не відомо, але ми можемо позначити зміну концентрації як  $x$ . Речовин А і В витрачається однаково (згідно з рівнянням реакції), тобто по  $x$  моль/л, а речовини С при цьому утворюється у 2 рази більше, тобто  $2x$  моль/л. Отже:



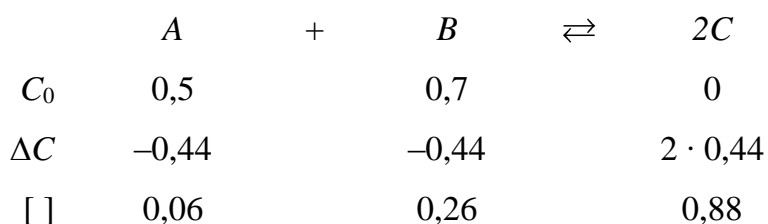
У цьому разі рівноважні концентрації для всіх речовин ми можемо виразити через величину  $x$ :



Використовуючи рівноважні концентрації, складемо формулу для константи хімічної рівноваги згідно із законом діючих мас:

$$K = \frac{C^2}{A \cdot B} = \frac{2x^2}{(0,5-x)(0,7-x)} = 50$$

Розкриваємо дужки і розв'язуємо квадратне рівняння. Отримуємо два корені:  $x_1 = 0,86$ ,  $x_2 = 0,44$ . Умові завдання відповідає лише друге значення, оскільки, якби провзаємодіяло 0,86 моль/л речовини А або В, то їх рівноважна концентрація мала б бути від'ємною. Отже, використовуючи значення  $x$ , отримуємо рівноважні концентрації всіх компонентів:



**Відповідь:**  $[A] = 0,06$  моль/л,  $[B] = 0,26$  моль/л,  $[C] = 0,88$  моль/л.

**Задача 3.** Хімічна рівновага реакції  $\text{CO}_2 + \text{H}_2 = \text{CO} + \text{H}_2\text{O}$  встановилася за таких рівноважних концентрацій (моль/л):  $[\text{CO}_2] = 7$ ,  $[\text{H}_2] = 5$ ,  $[\text{CO}] = 10$ ,  $[\text{H}_2\text{O}] = 14$ . Рівновагу було порушено зменшенням концентрації води до 11 моль/л. Обчисліть рівноважні концентрації речовин після зміщення рівноваги.

**Розв'язання:**

Спочатку обчислимо значення константи рівноваги для цієї реакції:

$$K = \frac{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}_2][\text{H}_2]} = \frac{10 \cdot 14}{7 \cdot 5} = 4$$

З умови задачі видно, що за зменшення концентрації води рівновага має зміститися в бік продуктів реакції, тобто рівноважні концентрації реагентів зменшуються, а продуктів мають збільшитися. Після зміни концентрації води попередні рівноважні концентрації можна вважати початковими, а води — 11 моль/л:

	$\text{CO}_2$	+	$\text{H}_2$	$\rightleftharpoons$	$\text{CO}$	+	$\text{H}_2\text{O}$
$C_0$	7		5		10		11
$\Delta C$	-x		-x		x		x
[ ]	7-x		5-x		10+x		11+x

Підставляємо ці значення в рівняння для константи рівноваги:

$$K = \frac{[\text{CO}][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{CO}_2][\text{H}_2]} = \frac{10+x}{7-x} \cdot \frac{11+x}{5-x} = 4$$

Розв'язуємо це рівняння і отримуємо, що  $x_1 = 22,56$ ,  $x_2 = 0,44$ . Перше значення відкидаємо, оскільки зменшення концентрацій не може бути більше, ніж початкові концентрації, отже,  $x = 0,44$  моль/л. Підставляємо це значення і отримуємо рівноважні концентрації:

	$\text{CO}_2$	+	$\text{H}_2$	$\rightleftharpoons$	$\text{CO}$	+	$\text{H}_2\text{O}$
$C_0$	7		5		10		11
$\Delta C$	-0,44		-0,44		0,44		0,44
[ ]	6,56		4,56		10,44		11,44

**Відповідь:**  $[\text{CO}_2] = 6,56$ ,  $[\text{H}_2] = 4,56$ ,  $[\text{CO}] = 10,44$ ,  $[\text{H}_2\text{O}] = 11,44$ .

## Додаткові завдання до параграфа

### Завдання для засвоєння матеріалу

86.1. Запишіть вирази для константи хімічної рівноваги для оборотної хімічної реакції:  $2\text{CO} + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{CO}_2$

### Комплексні завдання

86.2. У реакторі для синтезу амоніаку за певної температури встановилися рівноважні концентрації (моль/л):  $[\text{N}_2] = 2,5$ ,  $[\text{H}_2] = 1,8$ ,  $[\text{NH}_3] = 3,6$ . Обчисліть константу хімічної рівноваги та початкові концентрації реагентів.

86.3. Константа рівноваги синтезу амоніаку з азоту й водню дорівнює 0,1. Рівноважні концентрації водню й амоніаку становлять 0,6 і 0,18 моль/л відповідно. Визначте початкову та рівноважну концентрації азоту.

86.4. За певної температури константа рівноваги термічної дисоціації динітрогентetraоксиду дорівнює 0,26. Рівноважна концентрація нітроген(IV) оксиду дорівнює 0,28 моль/л. Обчисліть рівноважну й початкову концентрації  $\text{N}_2\text{O}_4$ .

86.5. Обчисліть константу рівноваги системи  $\text{PCl}_5 \rightleftharpoons \text{PCl}_3 + \text{Cl}_2$ , якщо початкова концентрація фосфор(V) хлориду дорівнювала 1 моль/л, а в стані рівноваги розклалося 54 % реагенту.

86.6. Визначте рівноважні концентрації речовин із рівновагою  $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons 2\text{C}$ , якщо початкові концентрації реагентів становлять 0,5 і 0,7 моль/л відповідно, а константа рівноваги дорівнює 50.

86.7. Реакція відбувається за рівнянням  $2\text{A} \rightleftharpoons \text{B}$ . Початкова концентрація **A** дорівнює 0,2 моль/л. Константа рівноваги для цієї реакції дорівнює 0,5. Обчисліть рівноважні концентрації речовин **A** та **B**.

86.8. Хімічна рівновага реакції  $\text{A} + \text{B} \rightleftharpoons \text{C} + \text{D}$  встановилася з такими рівноважними концентраціями (моль/л):  $[\text{A}] = 18$ ,  $[\text{B}] = 16$ ,  $[\text{C}] = 12$ ,  $[\text{D}] = 24$ . Речовину **C** видалили повністю з рівноважної системи. Обчисліть рівноважні концентрації речовин після настання нового стану рівноваги.

### Завдання з розвитку критичного мислення

86.9. Як ви вважаєте, для чого важливо знати значення рівноважної концентрації компонентів?