

До § 11

Обчислення рН розчинів

Йонний добуток води

Вода є дуже слабким електролітом, проте, хоч і слабо, але вона піддається дисоціації:



Цей процес називають *автопротолізом* або *автоіонізацією* води. Процес дисоціації води (автопротолізу) є рівноважним і як будь-який рівноважний процес він характеризується константою рівноваги (за 25 °С):

$$K = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]} = 1,8 \cdot 10^{-16}$$

У розведених розчинах, якщо концентрація розчинених речовин незначна, рівноважну концентрацію води можна прийняти величиною сталою і помножити на неї праву й ліву частини рівняння:

$$\text{H}_2\text{O} = C(\text{H}_2\text{O}) = \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{V} = \frac{m(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{H}_2\text{O})}{m(\text{H}_2\text{O}) / \rho(\text{H}_2\text{O})} = \frac{\rho(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{1000 \text{ г/л}}{18 \text{ г/моль}} = 55,56 \text{ моль/л}$$

$$[\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1,8 \cdot 10^{-16} [\text{H}_2\text{O}] = 1,8 \cdot 10^{-16} \cdot 55,56 = 1 \cdot 10^{-14}$$

Добуток концентрацій йонів Гідрогену й Гідроксид-іонів називають **йонним добутком води** і позначають K_w . Йонний добуток води є величиною сталою і не залежить від природи й концентрації розчиненої речовини (за невеликих концентрацій), а залежить тільки від температури:

$$K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 1 \cdot 10^{-14}$$

Відповідно до рівняння дисоціації води на кожний йон гідрогену H^+ утворюється один йон OH^- , отже, у чистій воді концентрації цих йонів однакові: $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-]$. Використовуючи значення йонного добутку води одержуємо:

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7} \text{ моль/л}$$

Такими є концентрації йонів у чистій воді. Розглянемо, як зміняться концентрації у разі додавання інших речовин, наприклад, хлоридної кислоти, що дисоціює у воді на йони H^+ і Cl^- . Концентрація йонів Гідрогену в розчині стане збільшуватися, але йонний добуток води від концентрації не залежить, отже зменшується концентрація йонів OH^- . Навпаки, у разі додавання до води лугу, збільшується концентрація гідроксид-іонів, отже концентрація йонів H^+ зменшиться.

Водневий показник рН дорівнює від'ємному логарифму концентрації йонів Гідрогену (для обчислення логарифму числа користуйтеся калькулятором, кнопка «lg»):

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$$

Оскільки в нейтральних розчинах $[\text{H}^+] = 10^{-7}$ моль/л, то в таких розчинах $\text{pH} = 7$, у кислих розчинах $\text{pH} < 7$ ($[\text{H}^+] > 10^{-7}$ моль/л), а в лужних — $\text{pH} > 7$ ($[\text{H}^+] < 10^{-7}$ моль/л).

Якщо прологарифмувати рівняння для йонного добутку води, то ми отримуємо:

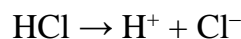
$$\text{pK}_w = \text{pH} + \text{pOH} = 14$$

Обчислення рН у розчинах сильних електролітів

У розчинах сильних кислот і основ можна обчислити значення рН за молярною концентрацією електроліту. Розгляньмо кілька прикладів.

Задача 1. Обчисліть рН у розчині хлоридної кислоти з концентрацією $C = 0,1$ М.

Хлоридна кислота в розчині дисоціює повністю, оскільки є сильним електролітом:



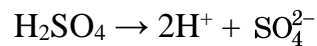
Унаслідок повної дисоціації рівноважна концентрація йонів Гідрогену дорівнює початковій концентрації кислоти, отже рН розчину дорівнює 1:

$$[\text{H}^+] = C(\text{HCl}) \qquad \text{pH} = -\lg [\text{H}^+] = -\lg 0,1 = 1$$

Відповідь: у розчині хлоридної кислоти з концентрацією 0,1 моль/л рН дорівнює 1.

Задача 2. Обчисліть рН у розчині сульфатної кислоти з концентрацією 0,001 М.

У розведених розчинах сульфатна кислота також дисоціює повністю:



Але під час дисоціації сульфатної кислоти з однієї молекули кислоти утворюється два йони Гідрогену, отже:

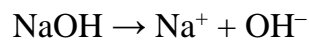
$$[\text{H}^+] = 2 \cdot C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,002 \text{ моль/л}$$

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+] = -\lg 0,002 = 2,7$$

Відповідь: у розчині сульфатної кислоти з концентрацією 0,001 моль/л pH дорівнює 2,7.

Задача 3. Обчисліть pH у розчині натрій гідроксиду з концентрацією 0,01 М.

Луги є сильними електролітами і повністю дисоціюють на йони:



Отже, концентрація гідроксид-іонів дорівнює початковій концентрації лугу. Але в цьому випадку обчислити pH ми можемо, використовуючи йонний добуток води:

$$[\text{OH}^-] = C(\text{NaOH}) = 0,01 \text{ М}$$

$$\text{pOH} = -\lg [\text{OH}^-] = -\lg 0,01 = 2$$

$$\text{pH} + \text{pOH} = 14$$

$$\text{отже pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 2 = 12$$

Відповідь: у розчині натрій гідроксиду з концентрацією 0,01 моль/л pH дорівнює 12.

Задача 4. Обчисліть pH у суміші двох сильних кислот. У розчині міститься хлоридна кислота з концентрацією 0,05 моль/л, нітратна кислота з концентрацією 0,01 моль/л та сульфатна кислота з концентрацією 0,005 моль/л. Обчисліть pH у цьому розчині.

Кислотність у суміші кислот визначається йонами Гідрогену і не має значення, звідки вони беруться. Отже, для обчислення pH необхідно визначити загальну концентрацію йонів Гідрогену, що утворюються внаслідок дисоціації всіх кислот.

Спочатку обчислимо концентрацію йонів Гідрогену, що утворюються у разі дисоціації кожної кислоти. Під час дисоціації хлоридної кислоти з концентрацією 0,05 моль/л утворюється стільки ж йонів Гідрогену:

$$[\text{H}^+]_1 = C(\text{HCl}) = 0,05 \text{ моль/л}$$

Так само і з йонами Гідрогену, що дорівнюють концентрації нітратної кислоти:

$$[\text{H}^+]_2 = C(\text{HNO}_3) = 0,01 \text{ моль/л}$$

Під час дисоціації сульфатної кислоти утворюється йонів Гідрогену у два рази більше за концентрацію кислоти:

$$[\text{H}^+]_3 = 2 \cdot C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot 0,005 = 0,01 \text{ моль/л}$$

Отже, сумарна концентрація йонів Гідрогену:

$$[\text{H}^+] = [\text{H}^+]_1 + [\text{H}^+]_2 + [\text{H}^+]_3 = 0,05 + 0,01 + 0,01 = 0,07 \text{ моль/л}$$

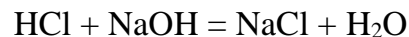
Тепер можна обчислити рН:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+] = -\lg 0,07 = 1,15$$

Відповідь: у зазначеній суміші кислот рН дорівнює 1,15.

Задача 5. Злили два розчини однакових об'ємів. Перший містив хлоридну кислоту з концентрацією 0,05 моль/л, другий — натрій гідроксид з концентрацією 0,07 моль/л. Обчисліть рН в отриманому розчині.

Під час зливання розчинів кислота взаємодіє з лугом. Але хлоридна кислота і натрій гідроксид взаємодіють у співвідношенні 1 : 1 згідно з рівнянням:



Утворений натрій хлорид під час дисоціації не утворює ані йонів Гідрогену, ані гідроксид-іонів, тому рН визначатиметься тільки за надлишком кислоти або лугу. У нашому випадку в надлишку натрій гідроксид. Із 0,07 моль/л натрій гідроксиду 0,05 моль/л його взаємодіє з кислотою, а 0,02 моль/л лишається в розчині. Оскільки у разі зливання двох розчинів сумарний об'єм збільшується в два рази, то концентрація лугу зменшиться також у два рази. Таким чином,

$$[\text{OH}^-] = C(\text{NaOH}) = 0,02 / 2 = 0,01 \text{ моль/л,}$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - (-\lg 0,01) = 14 - 2 = 12$$

Відповідь: у новому розчині рН стане 12.

Додаткові завдання:

1. Обчисліть рН у розчинах: а) 0,03 М хлоридна кислота; б) 0,02 М сульфатна кислота; в) 0,006 М калій гідроксид; г) 0,008 М барій гідроксид.

2. Злили два розчини однакових об'ємів. Перший містив нітратну кислоту з концентрацією 0,035 моль/л, другий — калій гідроксид з концентрацією 0,075 моль/л. Обчисліть рН в отриманому розчині.

Цікавий експеримент

«Вивчення кислотно-основних властивостей природних барвників»

Вам знадобиться: тонкий пензлик, розчин лимонної кислоти, пелюстки яскраво забарвлених рослин.

За допомогою тонкого пензлика, змоченого в розчині лимонної кислоти, зробіть напис на великих пелюстках квіток. Доберіть таку концентрацію кислоти і таке забарвлення квітки, за яких напис видний найбільш ефектно. Поясніть, чому при потраплянні розчину кислоти на пелюстки змінюється їхнє забарвлення.