

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ О.О.БОГОМОЛЬЦЯ

**Кафедра медичної та загальної хімії**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ПО ВИВЧЕННЮ КУРСУ  
“МЕДИЧНОЇ ХІМІЇ”**

Для студентів стоматологічного факультету

КИЇВ 2018

Укладачі: доцент Олена Олегівна Костирко, асистент Ірина Анатоліївна Одарич, професор Валентина Олександрівна Калібабчук

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

на засіданні циклової методичної  
комісії з фізико-хімічних дисциплін НМУ  
протокол № 3 від 13.12.2018р.

## ЗМІСТ

|  |     |
|--|-----|
| 1. Біогенні елементи; біологічна роль, застосування в медицині.....                                    | 4   |
| 2. Величини, що характеризують кількісний склад розчинів.<br>Приготування розчинів                     | 14  |
| 3. Кислотно-основна рівновага в організмі. Водневий показник<br>біологічних рідин .....                | 25  |
| 4. Основи титриметричного аналізу  | 37  |
| 5. Буферні системи, їх біологічна роль<br>.....  | 43  |
| 6. Колігативні властивості розчинів.....   | 53  |
| 7. Теплові ефекти хімічних реакцій в розчинах. Направленість<br>процесів. Кінетика біохімічних реакцій | 70  |
| 8. Комплексоутворення в біологічних системах<br>Хімічна рівновага. Добуток розчинності.....            | 85  |
| 9. Визначення окисно-відновного потенціалу.....  | 100 |
| 10. Сорбція біологічно-активних речовин. Іонний обмін.<br>Хроматографія.....                           | 111 |
| 11. Одержання, очистка та властивості колоїдних<br>розчинів.....                                       | 121 |
| 12. Коагуляція колоїдних розчинів. Властивості розчинів<br>біополімерів.....                           | 128 |
| Додаток  | 135 |

## 1. Біогенні елементи; біологічна роль, застосування в медицині.

**Таблиця 1. Перелік основних термінів, параметрів, характеристик до теми «Біогенні елементи; біологічна роль, застосування в медицині».**

| Термін                        | Змістове значення   |
|-------------------------------|---|
| Електронна конфігурація атома | Запис розподілу електронів по енергетичним рівням та підрівням в атомі. Електрони заселяють атомні орбіталі, починаючи з підрівня, що має найнижчу енергію. Послідовність в зростанні енергії підрівнів така:<br>$1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s \leq 3d < 4p < 5s \leq 4d < 5p < 6s \leq 5d \leq 4f$ і так далі.  |
| Валентні електрони            | Електрони, що приймають участь в утворенні хімічних зв'язків. У s- та p- елементів валентними є електрони орбіталей зовнішнього рівня, а у d-елементів – електрони s-орбіталі зовнішнього рівня та d-орбіталей передзовнішнього рівня.  |
| Хімічний зв'язок              | Сукупність взаємодій, що зв'язує окремі атоми в молекули, іони, радикали, кристали. В залежності від характеру розподілу електронної густини між взаємодіючими атомами розрізняють ковалентний, іонний, металічний зв'язки.   |
| Електронегативність           | Відносна здатність атомів елемента притягувати до себе спільні електронні пари.   |
| Ступінь окиснення             | Умовний заряд, який мав би атом, коли б електрони всіх його зв'язків з іншими атомами були зміщені до більш електронегативного атома.   |
| Окисно-відновні реакції       | Хімічні реакції, що протікають зі зміною ступенів окиснення атомів, які входять до складу реагуючих речовин. Зміна ступенів окиснення відбувається шляхом перерозподілу електронів між атомом-окисником та атомом-відновником.  |
| Відновник                     | Речовина, молекули або іони якої містять атоми, що здатні віддавати електрони, наприклад:<br>1.Метали у вільному стані, особливо лужні та лужноземельні.<br>2.Водень, карбон.<br>3.Сполуки неметалів у найнижчих ступенях окиснення<br>$\overset{-2}{S}, \overset{-2}{Se}, \overset{-3}{N}, \overset{-3}{P}, \overset{-1}{I}, \overset{-1}{Cl}, \overset{-1}{Br}$ .<br>4.Сполуки деяких металів у нижчих ступенях |

|                           |   |
|---------------------------|---|
|                           | <p>окиснення (<math>Mn^{+2}, Cr^{+3}, Pb^{+2}</math>).</p> <p>5. Гідриди металів (<math>NaH, CaH_2</math>).</p> <p>6. Пероксид водню.</p>   |
| Окисник                   | <p>Речовина, молекули або іони якої містять атоми, що здатні приєднувати електрони, наприклад:</p> <p>1. Вільні галогени (<math>F_2, Cl_2, Br_2, I_2</math>), кисень.</p> <p>2. Азотна кислота <math>HNO_3</math> та оксиди нітрогену (<math>N_2O_5^{+5}, NO_2^{+4}, N_2O^{+1}</math>), концентрована сульфатна кислота <math>H_2SO_4^{+6}</math>.</p> <p>3. Сполуки галогенів з позитивним ступенем окиснення (<math>HClO^{+1}, HClO_2^{+3}, HClO_3^{+5}, HClO_4^{+7}</math>).</p> <p>4. Сполуки деяких металів у вищому ступені окиснення (<math>Mn^{+7}, Mn^{+6}, Cr^{+6}, Pb^{+4}</math>, тощо).</p> <p>5. Пероксиди водню (<math>H_2O_2</math>), металів (<math>Na_2O_2, KO_2, BaO_2</math>) тощо.</p> |
| Окиснення                 | <p>Процес віддавання атомом електронів, наприклад:</p> $Fe^0 - 3e \rightarrow Fe^{+3}$  |
| Відновлення               | <p>Процес приєднання електронів, наприклад:</p> $Cu^{+2} + 2e \rightarrow Cu^0$   |
| Електролітична дисоціація | <p>Процес розпаду речовини на іони при розчиненні її у воді (та інших розчинниках) або при плавленні.</p>   |
| Електроліти               | <p>Речовини, розплави або розчини яких, проводять електричний струм внаслідок дисоціації на іони. Прикладами електролітів можуть служити кислоти, солі та основи.</p>   |
| Ступінь дисоціації        | <p>Кількісна характеристика процесу дисоціації, що дорівнює відношенню кількості електроліту, який розпався на іони <math>n_i</math> до загальної кількості електроліту в розчині <math>n_0</math>:</p> $\alpha = \frac{n_i}{n_0}$ <p>Ступінь дисоціації залежить від природи речовини, природи розчинника, концентрації речовини та температури.</p>   |
| Сильні електроліти        | <p>Електроліти, що у розведених водних розчинах практично цілком дисоціюють (розпадаються) на іони. Сильними електролітами є розчинні основи (луги), сильні мінеральні кислоти і усі розчинні солі.</p>   |

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Слабкі електроліти               | Електроліти, що навіть у розведених водних розчинах не дисоціюють цілком на іони. До слабких електролітів належать малорозчинні основи, амфотерні гідроксиди, слабкі мінеральні кислоти і малорозчинні солі. До слабких електролітів належать майже усі органічні кислоти, вода, амонію гідроксид.   |
| Кислотність та лужність розчинів | У воді (та у водних розчинах) завжди присутня деяка кількість іонів $H^+$ та $OH^-$ , які утворюються внаслідок оборотної дисоціації:<br>$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^- ; K_d = 1,8 \cdot 10^{-16} \text{ моль/л}$ <u>Нейтральними</u> називають розчини, в яких концентрації іонів $H^+$ та $OH^-$ рівні.<br><u>Кислими</u> називають розчини, в яких концентрація іонів $H^+$ більша за концентрацію іонів $OH^-$ .<br><u>Лужними</u> називають розчини, в яких концентрація іонів $H^+$ менша за концентрацію іонів $OH^-$ . |
| Кислота                          | Електроліт, при дисоціації якого з катіонів утворюються лише $H^+$ , наприклад:<br>$H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$ $CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3COO^-$  |
| Сильні кислоти                   | Кислоти, що є сильними електролітами та дисоціюють у водних розчинах практично повністю. До сильних кислот відносяться такі:<br>$H_2SO_4, HNO_3, HCl, HBr, HI, HMnO_4, HClO_4, H_2CrO_4$   |
| Основи                           | Електроліт, при дисоціації якого з аніонів утворюються лише $OH^-$ , наприклад:<br>$Ba(OH)_2 \rightarrow Ba^{2+} + 2OH^-$ $NH_3 \cdot H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$ Більшість основ у воді нерозчинні або малорозчинні.   |
| Сильні основи (луги)             | Основи, що є сильними електролітами та дисоціюють у водних розчинах практично повністю. До сильних основ відносяться основи, утворені лужними та лужноземельними металами:<br>$LiOH, NaOH, KOH, RbOH, CsOH, FrOH$<br>$Ca(OH)_2, Sr(OH)_2, Ba(OH)_2$  |
| Реакція нейтралізації            | Реакція між основою та кислотою, продуктом якої є сіль та вода, наприклад:<br>$H_2SO_4 + 2KOH \rightarrow K_2SO_4 + 2H_2O$ $H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$   |
| Солі                             | Солі – речовини, до складу яких, входять кислотні залишки (аніони), поєднані з катіонами різного походження (іони металів, металоподобні групи, як $NH_4^+$ , та ін.). Солі, які розчинні у воді, є сильними електролітами.  |

|   |   |
|---|---|
| Гідроліз солей  | Взаємодія іонів солі з водою, при якій відбувається утворення малодисоційованих сполук, порушується рівновага дисоціації води, і, як правило, змінюється реакція середовища. Гідролізу зазнають солі, утворені:<br>1) катіоном слабкої основи та аніоном сильної кислоти;<br>2) катіоном сильної основи та аніоном слабкої кислоти;<br>3) катіоном слабкої основи та аніоном слабкої кислоти. |
| Ступінь гідролізу   | Кількісна характеристика процесу гідролізу, що дорівнює відношенню кількості частинок, які зазнали гідролізу $n_{\Gamma}$ , до їх кількості перед початком гідролізу $n_0$ :<br>$\alpha_{\Gamma} = \frac{n_{\Gamma}}{n_0}$  |
| <p><b>Алгоритм виконання вправ за темою «Гідроліз солей»</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Визначити розчинність солі за таблицею розчинності.</li> <li>2. Вказати силу основи та кислоти, які утворюють сіль. Зробити висновок про можливість гідролізу.</li> <li>3. Записати рівняння дисоціації солі. Вказати який іон солі буде реагувати з водою.</li> <li>4. Записати іонне та молекулярне рівняння реакції гідролізу. У випадку багатозарядних іонів лише для першої стадії.</li> <li>5. Визначити реакцію середовища розчину солі, яке буде <ol style="list-style-type: none"> <li>а) кислим, якщо сіль утворена сильною кислотою та слабкою основою;</li> <li>б) лужним, якщо сіль утворена сильною основою та слабкою кислотою;</li> <li>в) нейтральним (або близьким до нейтрального – слабкокислим, слабколужним), якщо сіль утворена слабкою основою та слабкою кислотою.</li> </ol> </li> </ol> |   |

### Приклади виконання вправ

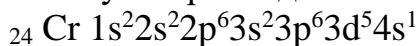
#### Приклад 1

Написати електронну формулу атома хрому та іона  $\text{Cr}^{3+}$ .

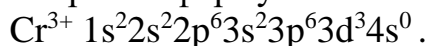
*Розв'язок:*

Порядковий номер хрому в періодичній системі елементів Д.І.Менделєєва вказує на кількість електронів в атомі (24).

Записуємо розподіл електронів по рівням та підрівням атома хрому:



електронна формула іона  $\text{Cr}^{3+}$ :



#### Приклад 2

Електронна конфігурація  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 2p^6 4s^2$  відповідає атому:

- а) натрію                      б) кальцію                      в) літію                      г) берилію

*Розв'язок:*

Порядковий номер елемента в періодичній системі елементів Д.І.Менделєєва вказує на кількість електронів в атомі. Електронна конфігурація  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 2p^6 4s^2$  відповідає атому з порядковим номером 20 ( $2+2+6+2+6+2=20$ ), це кальцій.

### Приклад 3

Визначте ступінь окиснення нітрогену у речовинах: а)  $N_2O_4$ , б)  $HNO_3$ , в)  $(NH_4)_2CO_3$ .

*Розв'язок:*

а) Ступінь окиснення нітрогену  $x$ , кисню -2. Виходячи з нейтральності молекули, складаємо рівняння:  $2x + 4(-2) = 0$ , звідси  $x = +4$ , тобто ступінь окиснення нітрогену в  $N_2O_4$  дорівнює +4.

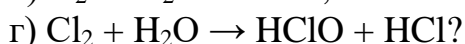
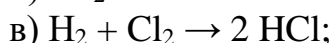
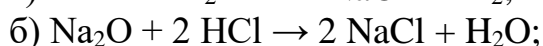
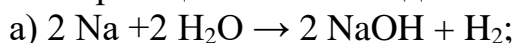
б) Ступінь окиснення нітрогену  $x$ , гідрогену +1, кисню -2. Виходячи з нейтральності молекули, складаємо рівняння:  $(+1) + x + 3(-2) = 0$ , звідси  $x = +5$ , тобто ступінь окиснення нітрогену в  $HNO_3$  дорівнює +5.

в) Ступінь окиснення гідрогену +1, кисню -2, карбону в карбонатах (солях вугільної кислоти  $H_2CO_3$ ) +4, нітрогену  $x$ . Складаємо рівняння:

$2x + 2 \cdot 4(+1) + (+4) + 3(-2) = 0$ , звідси  $x = -3$ , тобто ступінь окиснення нітрогену в  $(NH_4)_2CO_3$  дорівнює -3.

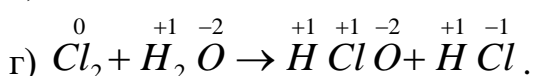
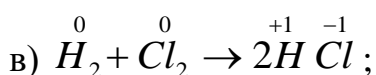
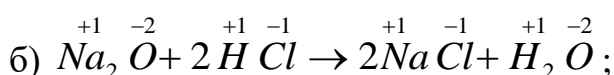
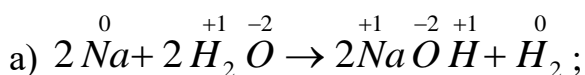
### Приклад 4

Які з реакцій є окисно-відновними:



*Розв'язок:*

Визначаємо, в яких із зазначених рівнянь реакцій змінюються ступені окиснення атомів:

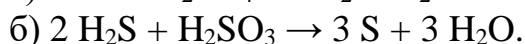
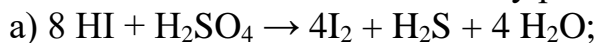


Ступені окиснення атомів змінюються в реакціях а, в, г, отже, вони є окисно-відновними.

### Приклад 5

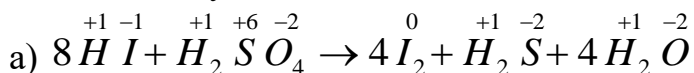


Зазначити відновник і окисник у реакціях:

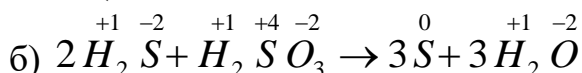


*Розв'язок:*

Відновник в ході окисно-відновних реакцій віддає електрони, підвищуючи свій ступінь окиснення. Окисник приєднує електрони, знижуючи свій ступінь окиснення. Тому необхідно визначити, які атоми в зазначених рівняннях змінюють ступені окиснення:



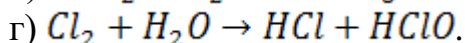
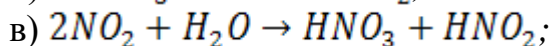
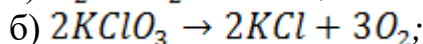
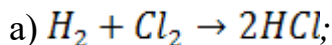
$\text{HI}$  (йодид-іон  $\text{I}^-$ ) – відновник,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (сульфат іон  $\text{SO}_4^{2-}$  або  $\overset{+6}{\text{S}}$ ) – окисник.



$\text{H}_2\text{S}$  ( $\overset{-2}{\text{S}}$ ) – відновник,  $\text{H}_2\text{SO}_3$  (іон  $\text{SO}_3^{2-}$  або  $\overset{+4}{\text{S}}$ ) – окисник.

### Приклад 6

Визначити типи окисно-відновних реакцій:

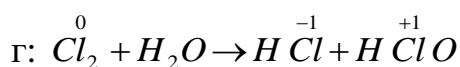


*Розв'язок:*

У реакції а:  $\overset{0}{\text{H}_2} + \overset{0}{\text{Cl}_2} \rightarrow 2 \overset{+1}{\text{H}} \overset{-1}{\text{Cl}}$  окисником і відновником є елементи різних молекул тому тип окисно-відновної реакції міжмолекулярний.

У реакції б:  $2 \overset{+5}{\text{K}} \overset{-2}{\text{Cl}} \overset{0}{\text{O}_3} \rightarrow 2 \overset{-1}{\text{K}} \overset{0}{\text{Cl}} + 3 \overset{0}{\text{O}_2}$  окисником і відновником є елементи однієї сполуки тому тип окисно-відновної реакції внутрішньомолекулярний.

У реакціях в:  $2 \overset{+4}{\text{N}} \overset{0}{\text{O}_2} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \overset{+5}{\text{H}} \overset{+3}{\text{N}} \overset{0}{\text{O}_3} + \overset{+1}{\text{H}} \overset{+2}{\text{N}} \overset{0}{\text{O}_2}$ ,



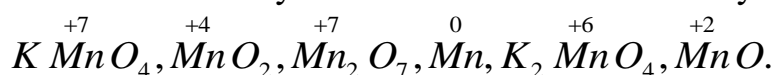
один і той же елемент виступає як окисник і як відновник тому тип окисно-відновної реакції диспропорціювання.

### Приклад 7

У яких із зазначених речовин манган може виявляти тільки окисні властивості, а в яких – тільки відновні:  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{K}_2\text{MnO}_4$ ,  $\text{MnO}$ ?

*Розв'язок:*

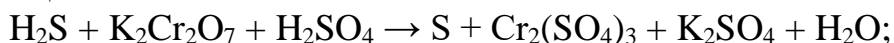
Визначаємо ступені окиснення мангану в зазначених сполуках:



Найвищий ступінь окиснення, характерний для мангану, +7 виявляється в сполуках  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{Mn}_2\text{O}_7$ . Отже, манган у цих сполуках може бути тільки окисником, тобто знижувати свій ступінь окиснення. Найменший ступінь окиснення  $\overset{0}{\text{Mn}}$  – у простій речовині. Отже, металічний марганець може бути тільки відновником, підвищуючи свій ступінь окиснення.

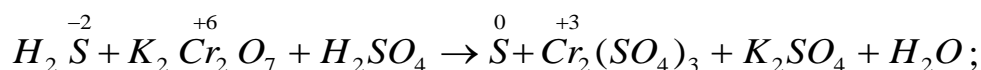
### Приклад 8

Методом електронного балансу підібрати коефіцієнти в окисно-відновній реакції:



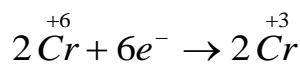
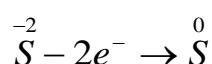
*Розв'язок:*

Записуємо схему реакції із зазначенням ступенів окиснення елементів, котрі їх змінюють:

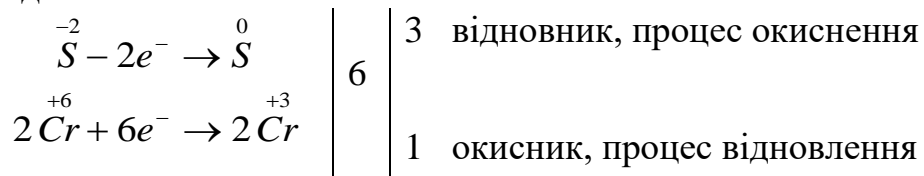


Тут  $\text{H}_2\text{S}$ - відновник, а  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  – окисник.

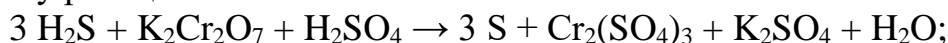
Складаємо електронні рівняння, враховуючи, що  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  і  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  кількістю речовини 1 моль містять 2 моль хрому:



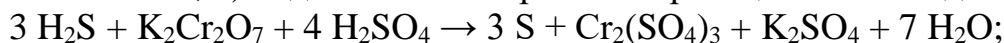
Знаходимо коефіцієнти біля відновника, окисника і продуктів їх окиснення і відновлення:



Одержані коефіцієнти біля відновника  $\text{H}_2\text{S}$  і продукту його окиснення  $\text{S}$ , окисника  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  і продукту його відновлення  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  підставляємо в схему реакції:



Решту коефіцієнтів підбираємо в такій послідовності: 1) сіль  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , 2) кислота  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , 3) вода. Остаточне рівняння реакції має вигляд:



Для перевірки правильності підбору коефіцієнтів обчислюємо кількість речовини кисню в лівій і правій частинах рівняння.

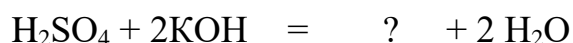
У лівій частині:  $(7 + 4 \cdot 4)\text{моль} = 23\text{моль}$

У правій частині:  $(3 \cdot 4 + 4 + 7)\text{моль} = 23\text{моль}$

Отже, рівняння написане правильно.

### Приклад 9

В рівнянні нейтралізації пропущена формула. Допишіть її



*Розв'язок:*

Реакція нейтралізації – це взаємодія кислоти з основою, в результаті якої утворюється сіль і вода. Отже в рівнянні пропущена формула солі. Кількість речовин у лівій частині рівняння повинна дорівнювати кількості речовин у правій частині рівняння, таким чином у правій частині рівняння не вистачає  $2\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ . В рівнянні нейтралізації пропущена формула  $\text{K}_2\text{SO}_4$  (калій сульфат).

### Приклад 10

Визначити, в розчинах яких з наведених солей відбувається гідроліз:

|                     |                  |                   |
|---------------------|------------------|-------------------|
| ферум (III) нітрат; | натрій сульфат;  | барій сульфат;    |
| калій нітрат;       | натрій сульфід;  | амоній карбонат;  |
| кальцій хлорид;     | аргентум бромід; | кальцій карбонат. |

*Розв'язок:*

Аналіз можливості протікання гідролізу проводимо у відповідності до алгоритму, наведеного в таблиці 1.

- 1) За таблицею розчинності визначити які з солей розчинні у воді, а які нерозчинні.

*Розчинні у воді солі:*

ферум (III) нітрат  $\text{Fe}(\text{NO})_3$

калій нітрат  $\text{KNO}_3$

кальцій хлорид  $\text{CaCl}_2$

натрій сульфат  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

натрій сульфід  $\text{Na}_2\text{S}_3$

амоній карбонат  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$

*Нерозчинні у воді солі:*

аргентум бромід  $\text{AgBr}$

барій сульфат  $\text{BaSO}_4$

кальцій карбонат  $\text{CaCO}_3$

---

Оскільки ці солі нерозчинні у воді, то і гідролізу у водних розчинах не зазнають.

- 2) Визначити чи входить до складу розчинних солей катіон слабкої основи або аніон слабкої кислоти.

$\text{Fe}(\text{NO})_3$  – сіль утворена сильною кислотою  $\text{HNO}_3$  та слабкою основою  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . Гідроліз відбувається за катіоном.

$\text{KNO}_3$  – сіль утворена сильною кислотою  $\text{HNO}_3$  та сильною основою  $\text{KOH}$ . Гідроліз не відбувається.

$\text{CaCl}_2$  – сіль утворена сильною кислотою  $\text{HCl}$  та сильною основою  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Гідроліз не відбувається.

$\text{Na}_2\text{SO}_4$  – сіль утворена сильною кислотою  $\text{H}_2\text{SO}_4$  та сильною основою  $\text{NaOH}$ . Гідроліз не відбувається.

$\text{Na}_2\text{S}_3$  – сіль утворена слабкою кислотою  $\text{H}_2\text{S}_3$  та сильною основою  $\text{NaOH}$ . Гідроліз відбувається за аніоном.

$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  – сіль утворена слабкою кислотою  $\text{H}_2\text{CO}_3$  та слабкою основою  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Гідроліз відбувається за аніоном та за катіоном одночасно.

*Відповідь:* гідроліз відбувається в розчинах ферум(III) нітрату, натрій

сульфіту, амоній карбонату.

### Приклад 11

Яка реакція середовища в водному розчині барій хлориду? Відповідь аргументувати.

*Розв'язок:*

Середовище водного розчину солі може відрізнитись від нейтрального в тому випадку, коли в розчині відбувається гідроліз цієї солі.

$BaCl_2$  – це розчинна сіль, утворена сильною кислотою  $HCl$  та сильною основою  $Ba(OH)_2$ . Гідроліз не відбувається, отже середовище в розчині барій хлориду нейтральне.

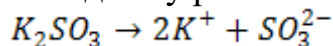
### Приклад 12

Яка реакція середовища в водному розчині калій сульфіту? Відповідь аргументувати.

*Розв'язок:*

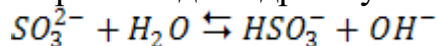
1)  $K_2SO_3$  – це розчинна сіль, утворена слабкою кислотою  $H_2SO_3$  та сильною основою  $KOH$ . Дана сіль зазнає гідролізу.

2) У водному розчині сіль дисоціює на іони:

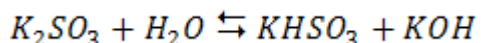


З водою буде реагувати аніон  $SO_3^{2-}$ , оскільки саме йому відповідає слабкий електроліт.

3) Перша стадія гідролізу:



скорочене іонне рівняння



молекулярне рівняння

*Відповідь:* середовище розчину калій сульфіту лужне, оскільки в результаті гідролізу солі в розчині збільшується кількість іонів  $OH^-$ .

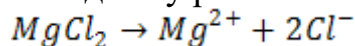
### Приклад 13

Яка реакція середовища в водному розчині магній хлориду? Відповідь аргументувати.

*Розв'язок:*

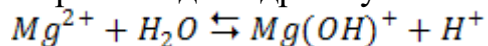
1)  $MgCl_2$  – це розчинна сіль, утворена сильною кислотою  $HCl$  та слабкою основою  $Mg(OH)_2$ . Дана сіль зазнає гідролізу.

2) У водному розчині сіль дисоціює на іони:

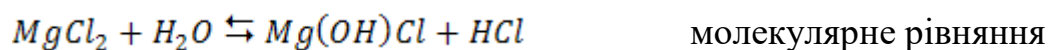


З водою буде реагувати катіон  $Mg^{2+}$ , оскільки саме йому відповідає слабкий електроліт.

3) Перша стадія гідролізу



скорочене іонне  
рівняння



*Відповідь:* Середовище розчину магній хлориду кисле, оскільки в результаті гідролізу солі в розчині збільшується кількість іонів  $H^+$ .

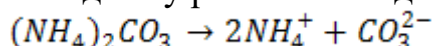
### Приклад 14

Яка реакція середовища в водному розчині амоній карбонату? Відповідь аргументувати.

*Розв'язок:*

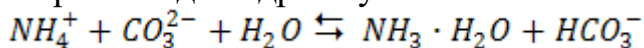
1)  $(NH_4)_2CO_3$  – це розчинна сіль, утворена слабкою кислотою  $H_2CO_3$  та слабкою основою  $NH_3 \cdot H_2O$ . Дана сіль зазнає гідролізу.

2) У водному розчині сіль дисоціює на іони:

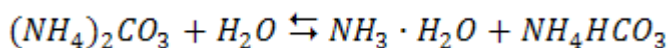


З водою будуть реагувати обидва іони.

3) Перша стадія гідролізу



скорочене іонне  
рівняння



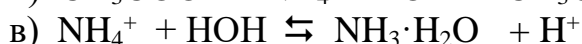
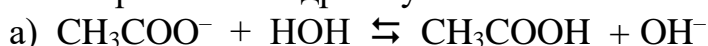
молекулярне рівняння

*Відповідь:* середовище розчину амоній карбонату близьке до нейтрального, оскільки в результаті гідролізу утворюється два слабких електроліта. Для більш точного визначення реакції середовища розчину необхідне кількісне порівняння сили продуктів гідролізу.

### Приклад 15

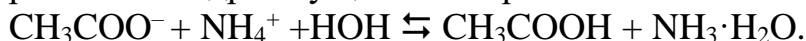
Встановити відповідність між формулою солі та іонним рівнянням гідролізу цієї солі. Сіль  $NH_4CH_3COO$

Іонне рівняння гідролізу:



*Розв'язок:*

Амоній ацетат  $NH_4CH_3COO$  – сіль, утворена слабкою основою  $NH_3 \cdot H_2O$  і слабкою кислотою  $CH_3COOH$ . Тому гідролізу підлягають як катіон ( $NH_4^+$ ), так і аніон ( $CH_3COO^-$ ) солі з утворенням малодисоційованих сполук. Іонним рівнянням гідролізу цієї солі є рівняння б:



### Вправи для самостійного виконання

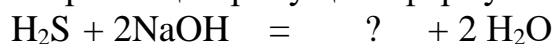
- 1.1 Написати електронні формули атомів карбону, нітрогену, хлору, калію, алюмінію, феруму, купруму.
- 1.2 Визначити ступені окиснення атому хлору в сполуках  $HCl$ ,  $Cl_2$ ,  $NaClO$ ,  $KClO_3$ ,  $HClO_4$ . Які з цих речовин можуть бути

- а) тільки окисниками;  
б) тільки відновниками?

1.3 Скільки електронів приймає окисник в результаті перетворень:

- а)  $HNO_3 \rightarrow NO_2$                       е)  $H_2SO_4 \rightarrow SO_2$   
 б)  $HNO_3 \rightarrow NO$                       ж)  $H_2SO_4 \rightarrow S$   
 в)  $HNO_3 \rightarrow N_2O$                       з)  $H_2SO_4 \rightarrow H_2S$   
 г)  $HNO_3 \rightarrow N_2$                       и)  $KMnO_4 \rightarrow MnO_2$   
 д)  $HNO_3 \rightarrow NH_4$                       к)  $KMnO_4 \rightarrow MnSO_4$ ?

1.4 В рівнянні нейтралізації пропущена формула солі. Допишіть її



- 1.5 Яка реакція середовища в водному розчині натрій фосфату? Відповідь аргументувати  
 1.6 Яка реакція середовища в водному розчині натрій ацетату? Відповідь аргументувати.  
 1.7 Яка реакція середовища в водному розчині магній ацетату? Відповідь аргументувати.  
 1.8 Яка реакція середовища в водному розчині алюміній хлориду? Відповідь аргументувати.  
 1.9 Яка реакція середовища в водному розчині калій карбонату? Відповідь аргументувати  
 1.10 Яка реакція середовища в водному розчині натрій сульфіді? Відповідь аргументувати.

## 2. Величини, що характеризують кількісний склад розчинів.

### Приготування розчинів

Таблиця 2 . Способи вираження вмісту речовин в розчині

| Назва величини                    | Позначення   | формула   | Одиниці виміру                   | Змістове значення                                       |
|-----------------------------------|--------------|---|----------------------------------|---|
| Масова частка речовини в розчині  | $\omega(X)$  | $\omega(X) = \frac{m(X)}{m(p - ну)} \cdot 100\%$<br>або<br>$\omega(X) = \frac{m(X)}{m(p - ну)}$   | %<br>або<br>безрозмірна величина | Відношення маси розчиненої речовини до маси розчину     |
| Об'ємна частка речовини в розчині | $\varphi(X)$ | $\varphi(X) = \frac{V(X)}{V(p - ну)} \cdot 100\%$<br>або<br>$\varphi(X) = \frac{V(X)}{V(p - ну)}$ | %<br>або<br>безрозмірна величина | Відношення об'єму розчиненої речовини до об'єму розчину |
| Молярна частка речовини в розчині | $\chi(X)$    | $\chi(X) = \frac{n(X)}{\sum n_i} \cdot 100\%$<br>або  | %<br>або<br>безрозмірна величина | Відношення кількості речовини компонента X              |

|                                  |                              |   |   |   |
|----------------------------------|------------------------------|---|---|---|
|                                  |                              | $\chi(X) = \frac{n(X)}{\sum n_i}$   |   | до загальної кількості всіх речовин в системі                                       |
| Масова концентрація              | $\rho(X)$                    | $\rho(X) = \frac{m(X)}{V(p - ну)}$  | $\frac{г}{л},$<br>$\frac{г}{м^3},$<br>$\frac{кг}{м^3},$<br>$\frac{г}{мл}$ | Відношення маси речовини $X$ , що міститься в розчині, до об'єму цього розчину      |
| Молярна концентрація             | $c(X)$                       | $c(X) = \frac{n(X)}{V(p - ну)} = \frac{M(X)}{M(X) \cdot V(p - ну)}$   | $\frac{моль}{л}$  | Відношення кількості речовини $X$ , що міститься в розчині, до об'єму цього розчину |
| Молярна концентрація еквівалента | $c\left(\frac{1}{z}X\right)$ | $c\left(\frac{1}{z}X\right) = \frac{n\left(\frac{1}{z}X\right)}{V(p - ну)} = \frac{M\left(\frac{1}{z}X\right)}{M\left(\frac{1}{z}X\right) \cdot V(p - ну)}$ | $\frac{моль}{л}$  | Відношення кількості речовини еквівалента в розчині до об'єму цього розчину         |
| Моляльність                      | $b(x)$                       | $b(x) = \frac{n(x)}{m(p - ка)} = \frac{M(x)}{M(x) \cdot m(p - ка)}$   | $\frac{моль}{кг}$   | Відношення кількості речовини $X$ , що міститься в розчині, до маси розчинника      |

де:

$m(X)$  – маса розчиненої речовини (г, кг);

$m(p - ну)$  – маса розчину (дорівнює сумі мас всіх компонентів розчину) (г, кг);

$m(p - ка)$  – маса розчинника (г, кг);

$V(X)$  – об'єм розчиненої речовини (л, мл);

$V(p - ну)$  – об'єм розчину (л, мл);

$M(X)$  – молярна маса речовини (г/моль);

$M\left(\frac{1}{z}X\right)$  – молярна маса еквівалента речовини (г/моль);

$n(X)$  – кількість речовини (моль);



$n\left(\frac{1}{z}X\right)$  – кількість речовини еквівалента (моль).

**Еквівалент** – це умовна або реальна частинка, яка є еквівалентною одному іону гідрогену в кислотно-основних реакціях або одному електрону в окисно-відновних реакціях.

**Фактор еквівалентності**  $f_{\text{екв}} = \frac{1}{z}$  - це число, що показує яка саме частина реальної частинки речовини еквівалентна одному іону гідрогену в кислотно-основних реакціях або одному електрону в окисно-відновних реакціях.

**Z** - число молів еквівалентів речовини, що містяться в 1 моль цієї речовини.

**Молярна маса еквівалента речовини** дорівнює молярній масі цієї речовини, помноженій на фактор еквівалентності:

$$M\left(\frac{1}{z}X\right) = f_{\text{екв}} \cdot M(X) = \frac{M(X)}{z}$$

**Кількість речовини** дорівнює відношенню маси речовини до її молярної маси:

$$n(X) = \frac{m(X)}{M(X)}$$

**Кількість речовини еквівалента**, тобто речовини, умовною структурною одиницею якої є еквівалент, дорівнює відношенню маси речовини до молярної маси еквівалента речовини:

$$n\left(\frac{1}{z}X\right) = \frac{m(X)}{M\left(\frac{1}{z}X\right)}$$

**Таблиця 3. Зв'язки між способами вираження вмісту речовини в розчині**

|  |   |
|--|---|
| Масова частка  | $\omega(X) = \frac{\rho(X)}{\rho(p - \text{ну})} \cdot 100\% = \frac{c(X) \cdot M(X)}{\rho(p - \text{ну})} \cdot 100\% = \frac{c\left(\frac{1}{z}X\right) \cdot M\left(\frac{1}{z}X\right)}{\rho(p - \text{ну})} \cdot 100\%$ |
| Масова концентрація  | $\rho(X) = \frac{\omega(X) \cdot \rho(p - \text{ну})}{100\%} = M(X) \cdot c(X) = M\left(\frac{1}{z}X\right) \cdot c\left(\frac{1}{z}X\right)$   |
| Молярна концентрація   | $c(X) = \frac{\omega(X) \cdot \rho(p - \text{ну})}{M(X) \cdot 100\%} = \frac{\rho(X)}{M(X)} = \frac{c\left(\frac{1}{z}X\right)}{z}$   |
| Молярна концентрація еквівалента   | $c\left(\frac{1}{z}X\right) = \frac{\omega(X) \cdot \rho(p - \text{ну})}{M\left(\frac{1}{z}X\right) \cdot 100\%} = \frac{\rho(X)}{M\left(\frac{1}{z}X\right)} = z \cdot c(X)$   |
| Моляльність  | Якщо масова частка безрозмірна величина:<br>$b(X) = \frac{\omega(X)}{M(X) \cdot (1 - \omega(X))}$<br>Якщо масова частка виражена у відсотках:<br>$b(X) = \frac{\omega(X)}{M(X) \cdot (100\% - \omega(X))}$                    |
| де: $\rho(p - \text{ну})$ – густина розчину ( $\text{г/мл}$ , $\text{г/см}^3$ , $\text{кг/м}^3$ ). |   |



## Приклади розв'язання задач

### Приклад 1

В медичній практиці застосовують водні розчини калій перманганату різної концентрації. Розрахуйте масу калій перманганату та об'єм води (в л), необхідні для приготування 200 г розчину с масовою часткою  $KMnO_4$  2%.

|                               |                 |
|-------------------------------|-----------------|
| <b>Дано:</b>                  | <b>Знайти:</b>  |
| $m(p - ну) = 200 \text{ г}$   | $m(KMnO_4) - ?$ |
| $\omega(KMnO_4) = 2\%$        | $V(H_2O) - ?$   |
| $\rho(H_2O) = 1 \text{ г/мл}$ |                 |

### Розв'язок:

- 1) Визначити масу калій перманганату в розчині:

$$\omega(KMnO_4) = \frac{m(KMnO_4)}{m(p - ну)} \cdot 100\% \Rightarrow m(KMnO_4) = \frac{\omega(KMnO_4) \cdot m(p - ну)}{100\%}$$
$$m(KMnO_4) = \frac{2\% \cdot 200\text{г}}{100\%} = 4\text{г}$$

- 2) Визначити масу води в розчині, враховуючи, що маса розчину дорівнює сумі мас калій перманганату та води:

$$m(p - ну) = m(H_2O) + m(KMnO_4) \Rightarrow m(H_2O) = m(p - ну) - m(KMnO_4)$$
$$m(H_2O) = 200\text{г} - 4\text{г} = 196\text{г}$$

- 3) Розрахувати об'єм води:

$$V(H_2O) = \frac{m(H_2O)}{\rho(H_2O)} = \frac{196\text{г}}{1\text{г/мл}} = 196\text{мл} = 0,196\text{л}$$

**Відповідь:**  $m(KMnO_4) = 4\text{г}$  ;  $V(H_2O) = 0,196\text{л}$

### Приклад 2

До 500 г розчину калій хлориду з масовою часткою  $KCl$  5% додали 300г води. Визначити масову частку калій хлориду в отриманому розчині.

|                                |                     |
|--------------------------------|---------------------|
| <b>Дано:</b>                   | <b>Знайти:</b>      |
| $\omega_1(KCl) = 5\%$          | $\omega_2(KCl) - ?$ |
| $m_1(p - ну) = 500 \text{ г}$  |                     |
| $\Delta m(H_2O) = 300\text{г}$ |                     |

### Розв'язок:

- 1) Визначити масу калій хлориду, що міститься у вихідному розчині:

$$\omega(KCl) = \frac{m(KCl)}{m(p - ну)} \cdot 100\% \Rightarrow m(KCl) = \frac{\omega_1(KCl) \cdot m_1(p - ну)}{100\%}$$
$$m(KCl) = \frac{5\% \cdot 500\text{г}}{100\%} = 25\text{г}$$

- 2) Визначити масу розчину, отриманого після додавання води до вихідного

розчину:

$$m_2(\text{р - ну}) = m_1(\text{р - ну}) + \Delta m(\text{H}_2\text{O}) = 500\text{г} + 300\text{г} = 800\text{г}$$

- 3) Визначити масову частку калій хлориду в отриманому розчині:

$$\omega_2(\text{KCl}) = \frac{m(\text{KCl})}{m_2(\text{р - ну})} \cdot 100\% = \frac{25\text{г}}{800\text{г}} \cdot 100\% = 3,125\%$$

**Відповідь:**  $\omega_2(\text{KCl}) = 3,125\%$

### Приклад 3

До 150 г спиртового розчину йоду з масовою часткою йоду 3% додали 5 г кристалічного йоду. Розрахувати масову частку йоду в отриманому розчині.

**Дано:**

$$m_1(\text{р - ну}) = 150 \text{ г}$$

$$\omega_1(\text{I}_2) = 3\%$$

$$\Delta m(\text{I}_2) = 5 \text{ г}$$

**Знайти:**

$$\omega_2(\text{I}_2) - ?$$

#### Розв'язок:

- 1) Визначити масу йоду, що міститься у вихідному розчині:

$$\omega(\text{I}_2) = \frac{m(\text{I}_2)}{m(\text{р - ну})} \cdot 100\% \quad \Leftrightarrow \quad m_1(\text{I}_2) = \frac{\omega_1(\text{I}_2) \cdot m_1(\text{р - ну})}{100\%}$$

$$m_1(\text{I}_2) = \frac{3\% \cdot 150\text{г}}{100\%} = 4,5\text{г}$$

- 2) Визначити масу йоду після додавання додаткової порції йоду:

$$m_2(\text{I}_2) = m_1(\text{I}_2) + \Delta m(\text{I}_2) = 4,5\text{г} + 5\text{г} = 9,5\text{г}$$

- 3) Визначити масу розчину після додавання додаткової порції йоду:

$$m_2(\text{р - ну}) = m_1(\text{р - ну}) + \Delta m(\text{I}_2) = 150\text{г} + 5\text{г} = 155\text{г}$$

- 4) Розраховувати масову частку йоду в кінцевому розчині:

$$\omega_2(\text{I}_2) = \frac{m_2(\text{I}_2)}{m_2(\text{р - ну})} \cdot 100\% = \frac{9,5\text{г}}{155\text{г}} \cdot 100\% = 6,1\%$$

**Відповідь:**  $\omega_2(\text{I}_2) = 6,1\%$

### Приклад 4

Розрахувати масу води, яку необхідно додати до 50г розчину калій перманганату з масовою часткою  $\text{KMnO}_4$  5%, щоб отримати розчин з масовою часткою калій перманганату 1%.

**Дано:**

$$m_1(\text{р - ну}) = 50 \text{ г}$$

$$\omega_1(\text{KMnO}_4) = 5\% = 0,05$$

$$\omega_2(\text{KMnO}_4) = 1\% = 0,01$$

**Знайти:**

$$\Delta m(\text{H}_2\text{O}) - ?$$

#### Розв'язок:

- 1) Визначити масу калій перманганату, що міститься у вихідному розчині:

$$\omega(KMnO_4) = \frac{m(KMnO_4)}{m(p - ну)} \cdot 100\% \Rightarrow m(KMnO_4) = \frac{\omega_1(KMnO_4) \cdot m_1(p - ну)}{100\%}$$

$$m(KMnO_4) = \frac{5\% \cdot 50г}{100\%} = 2,5г$$

- 2) Визначити масу розчину, в якому 2,5 г калій перманганату мають масову частку 1%:

$$m_2(p - ну) = \frac{m(KMnO_4)}{\omega_2(KMnO_4)} \cdot 100\% = \frac{2,5г}{1\%} \cdot 100\% = 250г$$

- 3) Розраховувати масу води, яку необхідно додати до вихідного розчину:

$$\Delta m(H_2O) = m_2(p - ну) - m_1(p - ну) = 250г - 50г = 200г$$

**Відповідь:**  $\Delta m(H_2O) = 200г$

### Приклад 5

Обчислити масу глюкози, яку необхідно додати до 200 г водного розчину з масовою часткою глюкози 2%, щоб отримати розчин з масовою часткою глюкози 5%.

**Дано:**

$$m_1(p - ну) = 200 г$$

$$\omega_1(C_6H_{12}O_6) = 2\%$$

$$\omega_2(C_6H_{12}O_6) = 5\%$$

**Знайти:**

$$\Delta m(C_6H_{12}O_6) - ?$$

**Розв'язок:**

- 1) Визначити масу глюкози, що міститься у вихідному розчині:

$$\omega(C_6H_{12}O_6) = \frac{m(C_6H_{12}O_6)}{m(p - ну)} \cdot 100\%$$

$$m_1(C_6H_{12}O_6) = \frac{\omega_1(C_6H_{12}O_6) \cdot m_1(p - ну)}{100\%}$$

$$m_1(C_6H_{12}O_6) = \frac{2\% \cdot 200г}{100\%} = 4г$$

- 2) Визначити масу додаткової порції глюкози:

$$m_2(C_6H_{12}O_6) = m_1(C_6H_{12}O_6) + \Delta m(C_6H_{12}O_6)$$

$$m_2(p - ну) = m_1(p - ну) + \Delta m(C_6H_{12}O_6)$$

$$\omega_2(C_6H_{12}O_6) = \frac{m_2(C_6H_{12}O_6)}{m_2(p - ну)} \cdot 100\% = \frac{m_1(C_6H_{12}O_6) + \Delta m(C_6H_{12}O_6)}{m_1(p - ну) + \Delta m(C_6H_{12}O_6)} \cdot 100\%$$

$$\frac{\omega_2(C_6H_{12}O_6)}{100\%} = \frac{m_1(C_6H_{12}O_6) + \Delta m(C_6H_{12}O_6)}{m_1(p - ну) + \Delta m(C_6H_{12}O_6)}$$

позначимо  $\Delta m(C_6H_{12}O_6) = x$

$$\frac{5\%}{100\%} = \frac{4 + x}{200 + x}$$

$$0,05(200 + x) = 4 + x$$

$$10 + 0,05x = 4 + x$$

$$x - 0,05x = 10 - 4$$

$$0,95x = 6$$

$$x = 6,32 \Rightarrow \Delta m(C_6H_{12}O_6) = 6,32\text{г}$$

**Відповідь:**  $\Delta m(C_6H_{12}O_6) = 6,32\text{г}$

### Приклад 6

В 200мл розчину міститься 8,55г барій гідроксиду. Розрахувати масову концентрацію  $\rho(Ba(OH)_2)$ , молярну концентрацію  $c(Ba(OH)_2)$  та молярну концентрацію еквівалента  $c(\frac{1}{2}Ba(OH)_2)$ .  $M(Ba(OH)_2) = 171 \text{ г/моль}$ .

**Дано:**

$$m(Ba(OH)_2) = 8,55 \text{ г}$$

$$V(\text{р - ну}) = 200 \text{ мл} = 0,2 \text{ л}$$

$$M(Ba(OH)_2) = 171 \text{ г/моль}$$

**Знайти:**

$$\rho(Ba(OH)_2) - ?$$

$$c(Ba(OH)_2) - ?$$

$$c(\frac{1}{2}Ba(OH)_2) - ?$$

**Розв'язок:**

Необхідні для розрахунків формули наведені в Таблиці 4:

1) масова концентрація:

$$\rho(Ba(OH)_2) = \frac{m(Ba(OH)_2)}{V(\text{р - ну})} = \frac{8,55 \text{ г}}{0,2 \text{ л}} = 42,75 \text{ г/л}$$

2) молярна концентрація:

$$c(Ba(OH)_2) = \frac{m(Ba(OH)_2)}{M(Ba(OH)_2) \cdot V(\text{р - ну})} = \frac{8,55 \text{ г}}{171 \text{ г/моль} \cdot 0,2 \text{ л}} = 0,25 \text{ моль/л}$$

3) молярна концентрація еквівалента:

$$c(\frac{1}{2}Ba(OH)_2) = \frac{m(Ba(OH)_2)}{M(\frac{1}{2}Ba(OH)_2) \cdot V(\text{р - ну})} = \frac{8,55 \text{ г}}{(\frac{171}{2}) \text{ г/моль} \cdot 0,2 \text{ л}} = 0,5 \text{ моль/л}$$

**Відповідь:**  $\rho(Ba(OH)_2) = 42,75 \text{ г/л}$ ;  
 $c(Ba(OH)_2) = 0,25 \text{ моль/л}$ ;  
 $c(\frac{1}{2}Ba(OH)_2) = 0,5 \text{ моль/л}$

### Приклад 7

Розчини калій перманганату широко використовуються в аналітичній практиці. Обчисліть масу калій перманганату, необхідну для приготування 600мл розчину з молярною концентрацією еквівалента

$$c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right) = 0,75 \text{ моль/л. } M(KMnO_4) = 158 \text{ г/моль}$$

**Дано:**

$$V(p - ну) = 600 \text{ мл} = 0,6 \text{ л}$$

$$c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right) = 0,75 \text{ моль/л}$$

$$M(KMnO_4) = 158 \text{ г/моль}$$

**Знайти:**

$$m(KMnO_4) - ?$$

**Розв'язок:**

$$c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right) = \frac{n\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right)}{V(p - ну)} = \frac{m(KMnO_4)}{M\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right) \cdot V(p - ну)}$$

$$m(KMnO_4) = c\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right) \cdot M\left(\frac{1}{5}KMnO_4\right) \cdot V(p - ну)$$

$$m(KMnO_4) = 0,75 \text{ моль/л} \cdot \frac{158}{5} \text{ г/моль} \cdot 0,6 \text{ л} = 14,22 \text{ г}$$

**Відповідь:**  $m(KMnO_4) = 14,22 \text{ г}$

### Приклад 8

Яка маса калій карбонату міститься в 200мл розчину з масовою концентрацією  $K_2CO_3$  24,3 г/л?

**Дано:**

$$V(p - ну) = 200 \text{ мл} = 0,2 \text{ л}$$

$$\rho(K_2CO_3) = 24,3 \text{ г/л}$$

**Знайти:**

$$m(K_2CO_3) - ?$$

**Розв'язок:**

Записати формулу для розрахунку масової концентрації та виразити з неї масу калій карбонату:

$$\rho(K_2CO_3) = \frac{m(K_2CO_3)}{V(p - ну)} \Rightarrow m(K_2CO_3) = \rho(K_2CO_3) \cdot V(p - ну)$$

$$m(K_2CO_3) = 24,3 \text{ г/л} \cdot 0,2 \text{ л} = 4,86 \text{ г}$$

**Відповідь:**  $m(K_2CO_3) = 4,86 \text{ г}$

### Приклад 9

Розрахувати молярну концентрацію  $HCl$  в 36%-му розчині хлоридної кислоти, якщо густина розчину 1,18 г/мл.

**Дано:**

$$c(HCl) = 36\%$$

$$\rho(p - ну) = 1,18 \text{ г/мл}$$

**Знайти:**

$$c(HCl) - ?$$

**Розв'язок:**

Формула, що зв'язує молярну концентрацію з масовою часткою, наведена в Таблиці 5:

$$c(\text{HCl}) = \frac{\omega(\text{HCl}) \cdot \rho(\text{p} - \text{ну})}{M(\text{HCl}) \cdot 100\%}$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{36\% \cdot 1,18 \text{ г/мл}}{36,5 \text{ г/моль} \cdot 100\%} = 0,0116 \text{ моль/мл} = 11,6 \text{ моль/л}$$

**Відповідь:**  $c(\text{HCl}) = 11,6 \text{ моль/л}$

### Приклад 10

Обчислити масову концентрацію, молярну концентрацію та молярну концентрацію еквівалента натрій карбонату в розчині з масовою часткою  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  11,6%, якщо густина розчину  $1,12 \text{ г/мл}$ .  $M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль}$

**Дано:**

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 11,6\% = 0,116$$

$$\rho(\text{p} - \text{ну}) = 1,12 \text{ г/мл}$$

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль}$$

**Знайти:**

$$\rho(\text{Na}_2\text{CO}_3) - ?$$

$$c(\text{Na}_2\text{CO}_3) - ?$$

$$c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3\right) - ?$$

**Розв'язок:**

Формули, що зв'язують масову частку з масовою концентрацією, молярною концентрацією та молярною концентрацією еквівалента, наведені в Таблиці 5:

1) масова концентрація:

$$\rho(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot \rho(\text{p} - \text{ну})$$

$$\rho(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,116 \cdot 1,12 \text{ г/мл} = 0,13 \text{ г/мл} = 130 \text{ г/л}$$

2) молярна концентрація:

$$c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot \rho(\text{p} - \text{ну})}{M(\text{Na}_2\text{CO}_3)}$$

$$c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{0,116 \cdot 1,12 \text{ г/мл}}{106 \text{ г/моль}} = 1,225 \cdot 10^{-3} \text{ моль/мл} = 1,225 \text{ моль/л}$$

3) молярна концентрація еквівалента:

$$c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3\right) = \frac{\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot \rho(\text{p} - \text{ну})}{M\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3\right)}$$

$$c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3\right) = \frac{0,116 \cdot 1,12 \text{ г/мл}}{\left(\frac{106}{2}\right) \text{ г/моль}} = 2,45 \cdot 10^{-3} \text{ моль/мл} = 2,45 \text{ моль/л}$$

**Відповідь:**

$$\rho(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 130 \text{ г/л}$$

$$c(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1,225 \text{ моль/л}$$

$$c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3\right) = 2,45 \text{ моль/л}$$

### Задачі для самостійного розв'язання.

**3.1** Харчова сода (натрій гідрокарбонат) входить до складу багатьох кулінарних рецептів, а також використовується для полоскання горла у



вигляді 2%-го розчину. Розрахувати масу харчової соди та об'єм води, необхідні для приготування 250г такого розчину.

$$\text{Відповідь: } m(\text{NaHCO}_3) = 5\text{г}; V(\text{H}_2\text{O}) = 0,245\text{л}$$

**3.2** Розчин з масовою часткою глюкози 5% в медицині застосовують для поповнення об'єму рідини в організмі та як джерело легкозасвоюваного цінного поживного матеріалу. Розрахувати масу глюкози, введеної в організм при вливанні 250мл даного розчину. Густина розчину  $1,02 \text{ г/мл}$ .

$$\text{Відповідь: } m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 12,75\text{г}$$

**3.3** Водний розчин натрій гіпохлориту ( $\text{NaClO}$ ) відзначається потужною бактерицидною активністю та окислювальною дією і використовується в стоматології для медикаментозної обробки кореневих каналів і дезінфекції порожнини зуба. Обчислити масу натрій гіпохлориту, що міститься в 30мл розчину з масовою часткою  $\text{NaClO}$  10%. Густина розчину  $1,07 \text{ г/мл}$ .

$$\text{Відповідь: } m(\text{NaClO}) = 3,21\text{г}$$

**3.4** Водний розчин фурациліну з масовою часткою 0,02% застосовують зовнішньо як антибактеріальний препарат. Який об'єм такого розчину можна приготувати з однієї таблетки, що містить 0,1г фурациліну? Густина розчину  $1 \text{ г/мл}$ .

$$\text{Відповідь: } V(x - ну) = 500\text{мл}$$

**3.5** В медичній практиці часто користуються 0,9%-вим розчином натрій хлориду. Розрахувати масу води, яку потрібно додати до 200г розчину з масовою часткою  $\text{NaCl}$  5%, щоб отримати розчин з масовою часткою 0,9%.

$$\text{Відповідь: } \Delta m(\text{H}_2\text{O}) = 911,1\text{г}$$

**3.6** Обчислити масу кальцій хлориду, яку потрібно додати до 250г розчину з масовою часткою  $\text{CaCl}_2$  3%, щоб отримати розчин з масовою часткою  $\text{CaCl}_2$  10%.

$$\text{Відповідь: } m(\text{CaCl}_2) = 19,44\text{г}$$

**3.7** При опіках лугами уражену ділянку шкіри протягом 5-10хв промивають водою, а потім нейтралізують розчином оцтової кислоти с масовою часткою  $\text{CH}_3\text{COOH}$  1%. Який об'єм оцтової есенції з масовою часткою  $\text{CH}_3\text{COOH}$  80% (густина есенції  $1,07 \text{ г/мл}$ ) потрібно взяти для приготування 1л 1%-го розчину оцтової кислоти (густина розчину  $1 \text{ г/мл}$ )?

$$\text{Відповідь: } V(\text{есенции}) = 11,68\text{мл}$$

**3.8** В медичній практиці використовуються 3%-вий та 30%-вий розчини пероксиду водню. Який об'єм води потрібно додати до 5мл розчину з масовою часткою  $\text{H}_2\text{O}_2$  30%, щоб приготувати розчин з масовою часткою  $\text{H}_2\text{O}_2$  3%? Густина розчинів  $1 \text{ г/мл}$ .

$$\text{Відповідь: } V(\text{H}_2\text{O}) = 45\text{мл}$$

**3.9** Яка маса калій дихромату необхідна для приготування 500мл розчину з

молярною концентрацією еквівалента  $c\left(\frac{1}{6}K_2Cr_2O_7\right) = 0,6 \text{ МОЛЬ/Л?}$

$$M(K_2Cr_2O_7) = 294 \text{ Г/МОЛЬ.}$$

$$\text{Відповідь: } m(K_2Cr_2O_7) = 14,7$$

**3.10** Яка маса калій гідроксиду необхідна для приготування 500мл розчину з молярною концентрацією  $0,975 \text{ МОЛЬ/Л?}$   $M(KOH) = 56 \text{ Г/МОЛЬ.}$

$$\text{Відповідь: } m(KOH) = 27,3\text{г}$$

**3.11** Яка маса фосфатної кислоти міститься в 300мл розчину

а) з молярною концентрацією  $c(H_3PO_4) = 0,2 \text{ МОЛЬ/Л;}$

б) з молярною концентрацією еквівалента  $c\left(\frac{1}{3}H_3PO_4\right) = 0,2 \text{ МОЛЬ/Л?}$

$$M(H_3PO_4) = 98 \text{ Г/МОЛЬ}$$

$$\text{Відповідь: а) } m(H_3PO_4) = 5,88\text{г;}$$

$$\text{б) } m(H_3PO_4) = 1,96\text{г}$$

**3.12** Розрахувати масову частку хлорної кислоти в розчині, якщо молярна концентрація  $HClO_4$   $1,233 \text{ МОЛЬ/Л.}$

Густина розчину  $1,07 \text{ Г/МЛ; } M(HClO_4) = 100,5 \text{ Г/МОЛЬ.}$

$$\text{Відповідь: } \omega(HClO_4) = 11,58\%$$

**3.13** Розрахувати молярну концентрацію розчину нітратної кислоти з масовою часткою  $HNO_3$  30%. Густина розчину  $1,18 \text{ Г/МЛ; } M(HNO_3) = 63 \text{ Г/МОЛЬ.}$

$$\text{Відповідь: } c(HNO_3) = 5,619 \text{ МОЛЬ/Л}$$

**3.14** Розрахувати молярну концентрацію еквівалента фосфатної кислоти  $c\left(\frac{1}{3}H_3PO_4\right)$  в розчині з масовою часткою  $H_3PO_4$  10,32%. Густина розчину  $1,055 \text{ Г/МЛ; } M(H_3PO_4) = 98 \text{ Г/МОЛЬ.}$

$$\text{Відповідь: } c\left(\frac{1}{3}H_3PO_4\right) = 3,333 \text{ МОЛЬ/Л}$$

**3.15** Для отримання нашатирного спирту в 500г води розчинили 54,75г амоніаку. Обчислити масову частку, масову концентрацію та молярну концентрацію  $NH_3$  в отриманому розчині. Густина розчину  $0,958 \text{ Г/МЛ.}$

$$\text{Відповідь: } \omega(NH_3) = 9,87\%;$$

$$\rho(NH_3) = 94,54 \text{ Г/Л;}$$

$$c(NH_3) = 5,561 \text{ МОЛЬ/Л}$$

**3.16** Розчин кальцій хлориду з масовою часткою  $CaCl_2$  10% застосовується в медицині як протиалергійний та протизапальний засіб. Розрахувати масову та молярну концентрації цього розчину. Густина розчину  $1,083 \text{ Г/МЛ, } M(CaCl_2) = 111 \text{ Г/МОЛЬ.}$

$$\text{Відповідь: } \rho(CaCl_2) = 108,3 \text{ Г/Л;}$$

$$c(CaCl_2) = 0,975 \text{ МОЛЬ/Л}$$



### 3. Кисотно-основна рівновага в організмі. Водневий показник біологічних рідин

**Таблиця 4. Основні параметри та характеристики, що використовуються для опису кислотно-основної рівноваги в розчині.**

| Параметр                   | Позначення   | Змістове значення   |
|----------------------------|--|---|
| Константа дисоціації       | $K_a = \frac{[H^+] \cdot [An^-]}{[HAn]} \quad (1)$ $K_b = \frac{[OH^-] \cdot [Kt^+]}{[KtOH]} \quad (2)$  | Константа рівноваги процесу дисоціації. Дорівнює відношенню добутку рівноважних молярних концентрацій продуктів дисоціації до рівноважної молярної концентрації вихідного компонента. Для кислоти $HAn$ , дисоціація якої у воді дає катіон $H^+$ та аніон $An^-$ , константа дисоціації $K_a$ виражається рівнянням (1). Для основи $KtOH$ , при дисоціації якої утворюється аніон $OH^-$ та катіон $Kt^+$ , константа дисоціації $K_b$ виражається рівнянням (2). |
| Ступінь дисоціації         | $\alpha = \frac{c_i}{c_0},$ <p>де <math>c_i</math> – концентрація молекул, що розпались на іони; <math>c_0</math> – загальна концентрація розчинених молекул.</p>  | Кількісна характеристика процесу дисоціації, що дорівнює відношенню кількості електроліту, що розклався на іони, до загальної кількості електроліту в розчині. Ступінь дисоціації зростає при розведенні розчину, при підвищенні температури розчину.   |
| Закон розведення Оствальда | $K_d = \frac{c(X) \cdot \alpha^2}{1 - \alpha},$ <p>при <math>\alpha \ll 1</math></p> $\alpha \approx \sqrt{\frac{K_d}{c(X)}}$ <p>або</p> $\alpha \approx \sqrt{K_d \cdot V},$ <p>де <math>V = \frac{1}{c(X)}</math> - величина, що називається розведенням</p> | Ступінь дисоціації слабого бінарного електроліту обернено пропорційний кореню квадратному з молярної концентрації або прямо пропорційний кореню квадратному з розведення. При зменшенні концентрації розчину ступінь дисоціації слабого електроліту зростає.  |
| Активність                 | $a(x_i), \text{ моль/л}$<br>$a(x_i) = f(x_i) \cdot c(x_i)$   | Ефективна концентрація іона $x_i$ ,   |

|                            |   |  |
|----------------------------|---|--|
| іона                       |   | відповідно до якої він приймає участь у взаємодіях, що протікає в розчинах сильних електролітів.   |
| Коефіцієнт активності іона | $f(x_i)$<br>при $f(x_i) = 1$<br>$a(x_i) = c(x_i)$   | Характеризує електростатичну зв'язаність іонів і показує, у скільки разів активність іона відрізняється від його істинної концентрації в розчині. Величина коефіцієнта активності залежить від іонної сили розчину. Чим вища іонна сила розчину, тим меншого значення набуває коефіцієнт активності, і тим сильніше активність іона відрізняється від істинної концентрації. |
| Іонна сила розчину         | $\mu = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (z_i^2 b_i)$  | Характеризує інтенсивність електростатичного поля всіх іонів в розчині. Дорівнює напівсумі добутків молярності кожного з іонів ( $b(X)$ ) на квадрат його елементарного заряду ( $Z^2$ ).  |
| Іонний добуток води        | $K_{H_2O} = [H^+][OH^-] = const,$<br>$[H^+][OH^-] = 1 \cdot 10^{-14} \text{ моль}^2/\text{л}^2$<br>(при $T=298K$ )<br>$pH + pOH = 14$ | Величина стала при даній температурі для води та будь-яких водних розчинів, рівна добутку концентрації іонів гідрогену та гідроксид-іонів  |
| Водневий показник          | $pH = -lg[H^+]$<br>$pH = -lga(H^+)$   | Кількісна характеристика кислотності середовища, що дорівнює від'ємному десятковому логарифму активної концентрації <u>вільних іонів гідрогену</u> в розчині   |
| Гідроксидний показник      | $pOH = -lg[OH^-]$   | Кількісна характеристика лужності середовища, що дорівнює від'ємному десятковому логарифму активної концентрації <u>вільних іонів <math>OH^-</math></u> в розчині.   |
| Ступінь гідролізу          | $\alpha_r = \frac{n_r}{n_0}$<br>або<br>$\alpha_r = \frac{c_r}{c_0}$   | Кількісна характеристика процесу гідролізу, що дорівнює відношенню кількості частинок, які зазнали гідролізу $n_r$ , до їх кількості перед початком гідролізу $n_0$ . Ступінь гідролізу зростає при розведенні розчину та  |

|                     |   |   |
|---------------------|---|---|
|                     |   | при підвищенні температури.               |
| Константа гідролізу | гідроліз за аніоном:<br>$K_r = \frac{[HAn][OH^-]}{[An^-]} = \frac{K_{H_2O}}{K_a}$ гідроліз за катіоном:<br>$K_r = \frac{[KtOH][H^+]}{[Kt^+]} = \frac{K_{H_2O}}{K_b}$ гідроліз за катіоном та аніоном одночасно:<br>$K_r = \frac{K_{H_2O}}{K_b K_a}$ | Характеризує стан рівноваги при гідролізі |

## Приклади розв'язання задач

### Приклад 1

Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $H^+$  та  $OH^-$  при температурі  $25^\circ C$ :

- а) в розчині сульфатної кислоти з молярною концентрацією  $0,04 \text{ моль/л}$ , якщо ступінь дисоціації електроліту  $100\%$  ;  
б) в розчині ацетатної кислоти з молярною концентрацією  $0,04 \text{ моль/л}$ , якщо ступінь дисоціації електроліту  $2,1\%$  .

Дано:

$$\begin{aligned} c(H_2SO_4) &= 0,04 \text{ моль/л} \\ \alpha &= 100\% = 1 \\ c(CH_3COOH) &= 0,04 \text{ моль/л} \\ \alpha &= 2,1\% = 0,021 \end{aligned}$$

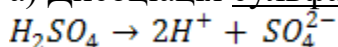
Знайти:

$$\begin{aligned} [H^+] &-? \\ [OH^-] &-? \end{aligned}$$

### Розв'язок:

Кількість вільних іонів водню, що утворюються при дисоціації кислоти в розчині, залежить від ступеню дисоціації та кількості «кислих» протонів в молекулі кислоти.

а) Дисоціація сульфатної кислоти відбувається за схемою:



При ступені дисоціації  $100\%$  на іони розпадається кожна молекула  $H_2SO_4$ , причому з кожної молекули утворюється два вільних іони  $H^+$ .

1) Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $H^+$ :

$$[H^+] = c(H_2SO_4) \cdot n \cdot \alpha = 0,04 \text{ моль/л} \cdot 2 \cdot 1 = 0,08 \text{ моль/л}$$

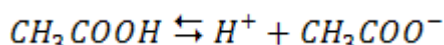
де  $n$  – кількість протонів в молекулі кислоти;

$\alpha$  - ступінь дисоціації кислоти.

2) Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $OH^-$ , використовуючи іонний добуток води:

$$[OH^-] = \frac{K_{H_2O}}{[H^+]} = \frac{10^{-14} \text{ моль}^2/\text{л}^2}{0,08 \text{ моль/л}} = 1,25 \cdot 10^{-13} \text{ моль/л}$$

б) Дисоціація ацетатної кислоти відбувається за схемою:



З однієї молекули при дисоціації утворюється один вільний іон  $H^+$ , але на іони при даній концентрації кислоти розпадається лише 0,021 частина від усіх молекул, присутніх в розчині.

1) Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $H^+$ :

$$[H^+] = c(CH_3COOH) \cdot n \cdot \alpha = 0,04 \text{ моль/л} \cdot 1 \cdot 0,021 = 8,4 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

2) Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $OH^-$ , використовуючи іонний добуток води:

$$[OH^-] = \frac{K_{H_2O}}{[H^+]} = \frac{10^{-14} \text{ моль}^2/\text{л}^2}{8,4 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}} = 1,19 \cdot 10^{-11} \text{ моль/л}$$

**Відповідь:** а)  $[H^+] = 0,08 \text{ моль/л}$ ;  $[OH^-] = 1,25 \cdot 10^{-13} \text{ моль/л}$   
 б)  $[H^+] = 8,4 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$ ;  $[OH^-] = 1,19 \cdot 10^{-11} \text{ моль/л}$

### Приклад 2

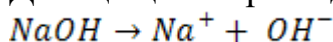
Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $H^+$  та  $OH^-$  при температурі  $25^\circ\text{C}$  в розчині натрій гідроксиду с молярною концентрацією  $0,005 \text{ моль/л}$ , якщо ступінь дисоціації електроліту 100% .

|                                  |                |
|----------------------------------|----------------|
| <b>Дано:</b>                     | <b>Знайти:</b> |
| $c(NaOH) = 0,005 \text{ моль/л}$ |                |
| $\alpha = 100\% = 1$             |                |

$[H^+] - ?$   
 $[OH^-] - ?$

#### Розв'язок:

Дисоціація натрій гідроксиду відбувається за схемою:



При ступені дисоціації 100% молярна концентрація вільних іонів  $OH^-$  дорівнює молярній концентрації  $NaOH$ .

1) Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $OH^-$ :

$$[OH^-] = c(NaOH) \cdot n \cdot \alpha = 0,005 \text{ моль/л} \cdot 1 \cdot 1 = 0,005 \text{ моль/л}$$

де

$n$  – кількість  $OH$ -груп в основі,

$\alpha$  - ступінь дисоціації основи.

2) Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $H^+$ , використовуючи іонний добуток води:

$$[H^+] = \frac{K_{H_2O}}{[OH^-]} = \frac{10^{-14} \text{ моль}^2/\text{л}^2}{0,005 \text{ моль/л}} = 2 \cdot 10^{-12} \text{ моль/л}$$

**Відповідь:**  $[H^+] = 2 \cdot 10^{-12} \text{ моль/л}$ ;  $[OH^-] = 5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$

### Приклад 3

Молярна концентрація вільних іонів  $H^+$  у венозній крові дорівнює  $4,365 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л}$ . Розрахувати а) концентрацію вільних іонів  $OH^-$ ; б)  $pH$  та  $pOH$  венозної крові.

|  |                |
|--|----------------|
| <b>Дано:</b>                                 | <b>Знайти:</b> |
| $[H^+] = 4,365 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л}$ |                |
|  |                |

а)  $[OH^-] - ?$   
 б)  $pH - ?$

|  $pOH$ —?

**Розв'язок:**

- а) Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $OH^-$ :

$$[OH^-] = \frac{K_{H_2O}}{[H^+]} = \frac{10^{-14} \text{ моль}^2/\text{л}^2}{4,365 \cdot 10^{-8} \text{ моль}/\text{л}} = 2,29 \cdot 10^{-7} \text{ моль}/\text{л}$$

- б) Розрахувати значення  $pH$ :

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg(4,365 \cdot 10^{-8}) = -(\lg 4,365 + \lg 10^{-8}) = \\ = -(0,640 - 8) = 7,36$$

Розрахувати значення  $pOH$  використовуючи значення концентрації іонів  $OH^-$ :

$$pOH = -\lg[OH^-] = -\lg(2,29 \cdot 10^{-7}) = -(\lg 2,29 + \lg 10^{-7}) = \\ = -(0,36 - 7) = 6,64$$

Якщо відомий показник  $pH$ , то  $pOH$  простіше знайти, використовуючи логарифмічну форму іонного добутку води:

$$pH + pOH = 14$$

$$pOH = 14 - pH = 14 - 7,36 = 6,64$$

**Відповідь:** а)  $[OH^-] = 2,29 \cdot 10^{-7} \text{ моль}/\text{л}$ ;

б)  $pH = 7,36$ ;  $pOH = 6,64$ .

#### Приклад 4

Масова частка сульфатної кислоти в розчині 0,049%. Обчислити  $pH$  та  $pOH$  розчину, якщо ступінь дисоціації електроліту 100% та густина розчину  $1 \text{ г}/\text{мл}$ . Як зміняться показники  $pH$  та  $pOH$ , якщо цей розчин розвести а) в 10 разів; б) в 100 разів?  $M(H_2SO_4) = 98 \text{ г}/\text{моль}$ .

**Дано:**

$$\omega(H_2SO_4) = 0,049\%$$

$$\rho(\text{р-ну}) = 1 \text{ г}/\text{мл}$$

$$\alpha = 100\% = 1$$

$$M(H_2SO_4) = 98 \text{ г}/\text{моль}$$

**Знайти:**

$$pH$$
—?

$$pOH$$
—?

**Розв'язок:**

- 1) Розрахувати молярну концентрацію сульфатної кислоти, використовуючи формулу, наведену в таблиці 5:

$$c(H_2SO_4) = \frac{\omega(H_2SO_4) \cdot \rho(\text{р-ну})}{M(H_2SO_4) \cdot 100\%} = \frac{0,049\% \cdot 1 \text{ г}/\text{мл}}{98 \text{ г}/\text{моль} \cdot 100\%} = 0,005 \text{ моль}/\text{л}$$

- 2) Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $H^+$ , враховуючи, що при дисоціації однієї молекули  $H_2SO_4$  утворюється два іони гідрогену:

$$[H^+] = c(H_2SO_4) \cdot n \cdot \alpha = 0,005 \text{ моль}/\text{л} \cdot 2 \cdot 1 = 0,01 \text{ моль}/\text{л}$$

- 3) Розрахувати  $pH$ :

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg 0,01 = 2$$

- 4) Розрахувати  $pOH$ :

$$pOH = 14 - pH = 14 - 2 = 12$$

- 5) При розведенні даного розчину в 10 разів молярні концентрації розчинених речовин зменшуються в 10 разів:

$$[H^+]_1 = \frac{[H^+]}{10} = \frac{10^{-2} \text{ моль/л}}{10} = 10^{-3} \text{ моль/л}$$

$$(pH)_1 = -\lg[H^+]_1 = -\lg 10^{-3} = 3$$

$$(pOH)_1 = 14 - pH_1 = 14 - 3 = 11$$

- 6) При розведенні даного розчину в 100 разів молярні концентрації розчинених речовин зменшуються в 100 разів:

$$[H^+]_2 = \frac{[H^+]}{100} = \frac{10^{-2} \text{ моль/л}}{100} = 10^{-4} \text{ моль/л}$$

$$(pH)_2 = -\lg[H^+]_2 = -\lg 10^{-4} = 4$$

$$(pOH)_2 = 14 - pH_2 = 14 - 4 = 10$$

**Відповідь:** у вихідному розчині  $pH = 2$ ,  $pOH = 12$ ;

при розведенні даного розчину в 10 разів  $pH$  підвищується на 1 і  $pOH$  зменшується на 1;

при розведенні даного розчину в 100 разів  $pH$  підвищується на 2 і  $pOH$  зменшується на 2.

### Приклад 5

Розрахувати  $pH$  1%-го розчину оцтової кислоти, враховуючи, що ступінь дисоціації кислоти 1,2% та густина розчину  $1 \text{ г/мл}$ .  $M(CH_3COOH) = 60 \text{ г/моль}$

**Дано:**

$$\omega(CH_3COOH) = 1\%$$

$$\rho(p - ну) = 1 \text{ г/мл}$$

$$\alpha = 1,2\% = 0,012$$

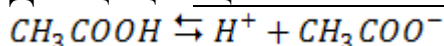
$$M(CH_3COOH) = 60 \text{ г/моль}$$

**Знайти:**

$$pH - ?$$

**Розв'язання:**

Дисоціація оцтової кислоти відбувається за схемою:



- 1) Обчислити молярну концентрацію оцтової кислоти:

$$c(CH_3COOH) = \frac{\omega(CH_3COOH) \cdot \rho(p - ну)}{M(CH_3COOH) \cdot 100\%} = \frac{1\% \cdot 1 \text{ г/мл}}{60 \text{ г/моль} \cdot 100\%} = 0,167 \text{ моль/л}$$

- 2) Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $H^+$  в розчині, враховуючи, що при дисоціації однієї молекули  $CH_3COOH$  утворюється один протон и лише 0,012 частина від усіх молекул кислоти розпадається на іони:

$$[H^+] = c(CH_3COOH) \cdot n \cdot \alpha = 0,167 \text{ моль/л} \cdot 1 \cdot 0,012 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

- 3) Розрахувати значення  $pH$ :

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg(2 \cdot 10^{-3}) = 2,7$$

**Відповідь:**  $pH = 2,7$



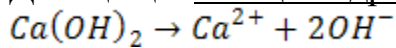
### Приклад 6

Масова концентрація кальцій гідроксиду в розчині дорівнює 0,037г/л. Обчислити показник  $pH$  розчину враховуючи, що ступінь дисоціації електроліту 100%.  $M(Ca(OH)_2) = 74 \text{ г/моль}$

|   |                            |
|---|----------------------------|
| <b>Дано:</b><br>$\rho(Ca(OH)_2) = 0,037 \text{ г/л}$<br>$\alpha = 100\% = 1$<br>$M(Ca(OH)_2) = 74 \text{ г/моль}$ | <b>Знайти:</b><br>$pH - ?$ |
|---|----------------------------|

### Розв'язок:

Дисоціація кальцій гідроксиду відбувається за схемою:



1) Розрахувати молярну концентрацію  $Ca(OH)_2$ :

$$c(Ca(OH)_2) = \frac{\rho(Ca(OH)_2)}{M(Ca(OH)_2)} = \frac{0,037 \text{ г/л}}{74 \text{ моль/л}} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

2) Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $OH^-$ :

$$[OH^-] = c(Ca(OH)_2) \cdot n \cdot \alpha = 5 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л} \cdot 2 \cdot 1 = 10^{-3} \text{ моль/л}$$

3) Розрахувати значення  $pOH$ :

$$pOH = -\lg[OH^-] = -\lg 10^{-3} = 3$$

4) Розрахувати значення  $pH$ :

$$pH = 14 - pOH = 14 - 3 = 11$$

**Відповідь:**  $pH = 11$

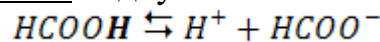
### Приклад 7

Водневий показник розчину мурашиної кислоти дорівнює 2,56. Визначити масову частку  $HCOOH$  в розчині, враховуючи, що ступінь дисоціації електроліту 6,1% та густина розчину  $1 \text{ г/мл}$ .  $M(HCOOH) = 46 \text{ г/моль}$ .

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| <b>Дано:</b><br>$pH = 2,56$<br>$\alpha = 6,1\% = 0,061$<br>$\rho(p - ну) = 1 \text{ г/мл}$<br>$M(HCOOH) = 46 \text{ г/моль}$ | <b>Знайти:</b><br>$c(HCOOH) - ?$ |
|--|----------------------------------|

### Розв'язок:

Дисоціація мурашиної кислоти відбувається за схемою:



1) Використовуючи значення  $pH$  розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $H^+$ :

$$[H^+] = 10^{-pH} = 10^{-2,56} = 2,754 \cdot 10^{-3} \text{ (моль/л)}$$

2) Враховуючи, що кількість вільних іонів  $H^+$  пов'язана з загальною концентрацією кислоти в розчині та залежить від ступеня дисоціації молекул кислоти, знайти молярну концентрацію  $HCOOH$ :

$$c(\text{HCOOH}) = \frac{[\text{H}^+]}{n \cdot \alpha} = \frac{2,754 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}}{1 \cdot 0,061} = 0,045 \text{ моль/л}$$

( $n$  – кількість в молекулі кислоти «кислих» протонів)

3) Розрахувати масову частку мурашиної кислоти:

$$\omega(\text{HCOOH}) = \frac{c(\text{HCOOH}) \cdot M(\text{HCOOH})}{\rho(\text{р-ну})} \cdot 100\%$$

$$\omega(\text{HCOOH}) = \frac{0,045 \text{ моль/л} \cdot 46 \text{ г/моль}}{1 \text{ г/мл}} \cdot 100\% = 0,2\%$$

**Відповідь:**  $\omega(\text{HCOOH}) = 0,2\%$

### Приклад 8

Яка маса сульфатної кислоти міститься в 400мл розчину, якщо значення показника  $pH$  цього розчину дорівнює 1. Ступінь дисоціації електроліту 100%.  $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ г/моль}$

**Дано:**

$$V(\text{р-ну}) = 400\text{мл} = 0,4\text{л}$$

$$pH = 1$$

$$\alpha = 100\% = 1$$

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

**Знайти:**

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) - ?$$

**Розв'язок:**

1) Використовуючи значення  $pH$  розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $\text{H}^+$ :

$$[\text{H}^+] = 10^{-pH} = 10^{-1} \text{ моль/л}$$

2) Розрахувати молярну концентрацію  $\text{H}_2\text{SO}_4$ :

$$c(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{[\text{H}^+]}{n \cdot \alpha} = \frac{10^{-1} \text{ моль/л}}{2 \cdot 1} = 0,05 \text{ моль/л}$$

3) Знайти масу  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , що міститься в 400мл даного розчину:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = M(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot c(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot V(\text{р-ну})$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ г/моль} \cdot 0,05 \text{ моль/л} \cdot 0,4\text{л} = 1,96\text{г}$$

**Відповідь:**  $m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1,96\text{г}$

### Приклад 9

Розрахувати масу калій гідроксиду, необхідну для приготування 250мл розчину з  $pH = 13$ , враховуючи, що ступінь дисоціації електроліту 100%.

$$M(\text{KOH}) = 56 \text{ г/моль}$$

**Дано:**

$$V(\text{р-ну}) = 250\text{мл} = 0,25\text{л}$$

$$pH = 13$$

$$\alpha = 100\% = 1$$

$$M(\text{KOH}) = 56 \text{ г/моль}$$

**Знайти:**

$$m(\text{KOH}) - ?$$



### Розв'язок:

- 1) Від показника  $pH$  перейти до  $pOH$ :  
 $pOH = 14 - pH = 14 - 13 = 1$
- 2) Знайти молярну концентрацію вільних іонів  $OH^-$ :  
 $[OH^-] = 10^{-pOH} = 10^{-1} \text{ моль/л}$
- 3) Знайти загальну молярну концентрацію  $KOH$ , використовуючи її зв'язок з молярною концентрацією вільних іонів  $OH^-$ :  
$$c(KOH) = \frac{[OH^-]}{n \cdot \alpha} = \frac{10^{-1} \text{ моль/л}}{1 \cdot 1} = 10^{-1} \text{ моль/л}$$
- 4) Розрахувати масу наважки  $KOH$ , необхідну для приготування даного розчину:  
 $m(KOH) = M(KOH) \cdot c(KOH) \cdot V(p - ну)$   
 $m(KOH) = 56 \text{ г/моль} \cdot 10^{-1} \text{ моль/л} \cdot 0,25 \text{ л} = 1,4 \text{ г}$

**Відповідь:**  $m(KOH) = 1,4 \text{ г}$

### Приклад 10

Водневий показник розчину барій гідроксиду дорівнює 13. Визначити масову частку  $Ba(OH)_2$  в розчині, враховуючи, що ступінь дисоціації електроліту 100%, а густина розчину  $1 \text{ г/мл}$ .  $M(Ba(OH)_2) = 171 \text{ г/моль}$

**Дано:**

$$pH = 13$$

$$\alpha = 100\% = 1$$

$$M(Ba(OH)_2) = 171 \text{ г/моль}$$

$$\rho(p - ну) = 1 \text{ г/мл}$$

**Знайти:**

$$\omega(Ba(OH)_2) - ?$$

### Розв'язок:

- 1) Від показника  $pH$  перейти до  $pOH$ :  
 $pOH = 14 - pH = 14 - 13 = 1$
- 2) Знайти молярну концентрацію вільних іонів  $OH^-$ :  
 $[OH^-] = 10^{-pOH} = 10^{-1} \text{ моль/л}$
- 3) Розрахувати загальну молярну концентрацію  $Ba(OH)_2$ :  
$$c(Ba(OH)_2) = \frac{[OH^-]}{n \cdot \alpha} = \frac{10^{-1} \text{ моль/л}}{2 \cdot 1} = 0,05 \text{ моль/л}$$
  
( $n = 2$  – кількість  $OH$ -груп)
- 4) Формула, що зв'яже масову частку з молярною концентрацією, наведена в Таблиці 5:  
$$\omega(Ba(OH)_2) = \frac{c(Ba(OH)_2) \cdot M(Ba(OH)_2) \cdot 100\%}{\rho(p - ну)}$$
  
$$\omega(Ba(OH)_2) = \frac{0,05 \text{ моль/л} \cdot 171 \text{ г/моль} \cdot 100\%}{1 \text{ г/мл}} = 0,855\%$$

**Відповідь:**  $\omega(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,855\%$

### Приклад 11

Написати рівняння реакції першої стадії гідролізу та обчислити константу гідролізу для наступних солей:

- а)  $\text{AlCl}_3$ ,  $K_{\text{д}_3}(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1,38 \cdot 10^{-9}$  моль/л;  
б)  $\text{HCOONa}$ ,  $K_{\text{д}}(\text{HCOOH}) = 1,77 \cdot 10^{-4}$  моль/л;  
в)  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ,  $K_{\text{д}_2}(\text{H}_2\text{CO}_3) = 4,69 \cdot 10^{-11}$  моль/л,  
 $K_{\text{д}}(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1,75 \cdot 10^{-5}$  моль/л.

**Дано:**

$$K_{\text{д}_3}(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1,38 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л}$$

$$K_{\text{д}}(\text{HCOOH}) = 1,77 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

$$K_{\text{д}_2}(\text{H}_2\text{CO}_3) = 4,69 \cdot 10^{-11} \text{ моль/л}$$

$$K_{\text{д}}(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

**Знайти:**

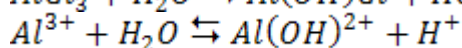
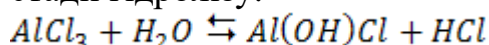
$$K_{\text{г}_1}(\text{AlCl}_3) - ?$$

$$K_{\text{г}_1}(\text{HCOONa}) - ?$$

$$K_{\text{г}_1}((\text{NH}_4)_2\text{CO}_3) - ?$$

**Розв'язок:**

- а)  $\text{AlCl}_3$  - це розчинна сіль, утворена слабкою основою  $\text{Al}(\text{OH})_3$  та сильною кислотою  $\text{HCl}$ . Гідроліз відбувається за катіоном. Рівняння I стадії гідролізу:



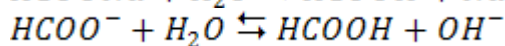
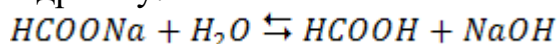
Константа гідролізу розраховується за формулою :

$$K_{\text{г}} = \frac{K_{\text{H}_2\text{O}}}{K_{\text{б}}},$$

де  $K_{\text{H}_2\text{O}}$  іонний добуток води,  $K_{\text{б}}$  - константа дисоціації слабкої основи

$$K_{\text{г}_1}(\text{AlCl}_3) = \frac{K_{\text{H}_2\text{O}}}{K_{\text{д}_3}(\text{Al}(\text{OH})_3)} = \frac{10^{-14} \text{ моль}^2/\text{л}^2}{1,38 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л}} = 7,25 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}$$

- б)  $\text{HCOONa}$  - це розчинна сіль, утворена сильною основою  $\text{NaOH}$  та слабкою кислотою  $\text{HCOOH}$ . Гідроліз відбувається за аніоном. Рівняння гідролізу:



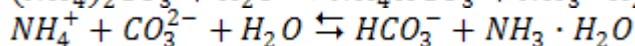
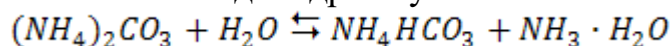
Константа гідролізу розраховується за формулою

$$K_{\text{г}} = \frac{K_{\text{H}_2\text{O}}}{K_{\text{а}}},$$

де  $K_{\text{H}_2\text{O}}$  іонний добуток води,  $K_{\text{а}}$  - константа дисоціації слабкої кислоти

$$K_{\text{г}}(\text{HCOONa}) = \frac{K_{\text{H}_2\text{O}}}{K_{\text{д}}(\text{HCOOH})} = \frac{10^{-14} \text{ моль}^2/\text{л}^2}{1,77 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}} = 5,65 \cdot 10^{-11} \text{ моль/л}$$

- в)  $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$  - це розчинна сіль, утворена слабкою основою  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  та слабкою кислотою  $\text{H}_2\text{CO}_3$ . Гідроліз відбувається за катіоном та аніоном. Рівняння I стадії гідролізу:



Константа гідролізу розраховується за формулою

$$K_{\Gamma} = \frac{K_{H_2O}}{K_a K_b},$$

де  $K_{H_2O}$  іонний добуток води,  $K_a$  - константа дисоціації слабкої кислоти;  
 $K_b$  - константа дисоціації слабкої основи

$$K_{\Gamma 1}((NH_4)_2CO_3) = \frac{K_{H_2O}}{K_{d2}(H_2CO_3) \cdot K_d(NH_3 \cdot H_2O)} =$$

$$= \frac{10^{-14} \text{ моль}^2/\text{л}^2}{4,69 \cdot 10^{-11} \text{ моль}/\text{л} \cdot 1,75 \cdot 10^{-5}} = 12,2$$

**Відповідь:**  $K_{\Gamma 1}(AlCl_3) = 7,25 \cdot 10^{-6} \text{ моль}/\text{л};$   
 $K_{\Gamma}(HCOONa) = 5,65 \cdot 10^{-11} \text{ моль}/\text{л};$   
 $K_{\Gamma 1}((NH_4)_2CO_3) = 12,2.$

### Задачі для самостійного розв'язання

**4.1** Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $H^+$  та  $OH^-$  при температурі  $25^{\circ}C$ :

- в розчині трихлороцтової кислоти ( $Cl_3CCOOH$ ) з молярною концентрацією  $0,003 \text{ моль}/\text{л}$ , якщо ступінь дисоціації електроліту 89%;
- в розчині ціанідної кислоти ( $HCN$ ) з молярною концентрацією  $0,003 \text{ моль}/\text{л}$ , якщо ступінь дисоціації електроліту 0,5%;
- в розчині барій гідроксиду ( $Ba(OH)_2$ ) з молярною концентрацією  $0,003 \text{ моль}/\text{л}$ , якщо ступінь дисоціації електроліту 100%;
- в розчині амоніаку ( $NH_3 \cdot H_2O$ ) з молярною концентрацією  $NH_3$   $0,003 \text{ моль}/\text{л}$ , якщо ступінь дисоціації електроліту 7,5% .

**Відповідь:** а)  $[H^+] = 2,67 \cdot 10^{-3} \text{ моль}/\text{л}; [OH^-] = 3,745 \cdot 10^{-12} \text{ моль}/\text{л};$   
 б)  $[H^+] = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ моль}/\text{л}; [OH^-] = 6,67 \cdot 10^{-9} \text{ моль}/\text{л};$   
 в)  $[H^+] = 1,67 \cdot 10^{-12} \text{ моль}/\text{л}; [OH^-] = 6 \cdot 10^{-3} \text{ моль}/\text{л};$   
 г)  $[H^+] = 4,44 \cdot 10^{-11} \text{ моль}/\text{л}; [OH^-] = 2,25 \cdot 10^{-4} \text{ моль}/\text{л}.$

**4.2** Обчислити показники  $pH$  та  $pOH$  для розчинів:

- з молярною концентрацією вільних іонів  $H^+$   $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ моль}/\text{л};$
- з молярною концентрацією вільних іонів  $OH^-$   $5,4 \cdot 10^{-2} \text{ моль}/\text{л}.$

**Відповідь:** а)  $pH = 2,46; pOH = 11,54;$   
 б)  $pH = 12,73; pOH = 1,27.$

**4.3** Обчислити показник  $pH$  для розчинів а) нітратної кислоти ( $HNO_3$ ) з молярною концентрацією  $10^{-3} \text{ моль}/\text{л};$  б) барій гідроксиду ( $Ba(OH)_2$ ) з молярною концентрацією  $0,5 \cdot 10^{-2} \text{ моль}/\text{л},$  якщо ступінь дисоціації електролітів 100%. Як зміниться  $pH$  цих розчинів при розведенні в 100 разів?

**Відповідь:** а)  $pH = 3,$  збільшиться на 2;  
 б)  $pH = 12,$  зменшиться на 2

**4.4** Розрахувати значення  $pH$  6%-го розчину оцтової кислоти, враховуючи, що ступінь дисоціації кислоти 0,5% та густина розчину  $1 \text{ г}/\text{мл}.$

$$M(CH_3COOH) = 60 \text{ г}/\text{моль}$$

Відповідь:  $pH = 2,3$

4.5 Обчислити показник  $pH$  розчину з масовою часткою барій гідроксиду 0,02% враховуючи, що ступінь дисоціації електроліту 100% та густина розчину  $1 \text{ г/мл}$ .  $M(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 171 \text{ г/моль}$

Відповідь:  $pH = 11,37$

4.6 Розрахувати молярну концентрацію вільних іонів  $H^+$  и  $OH^-$  в секреті підшлункової залози з  $pH$  7,7.

Відповідь:  $[H^+] = 2 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л}$ ;  
 $[OH^-] = 5 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}$

4.7 Обчислити масу хлоридної кислоти, яка міститься в 300мл розчину з  $pH = 2$ , враховуючи, що ступінь дисоціації електроліту 100%.

$M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ г/моль}$

Відповідь:  $m(\text{HCl}) = 0,1095 \text{ г}$

4.8 Обчислити масову частку сульфатної кислоти в розчині з  $pH = 2$ , якщо ступінь дисоціації електроліту 100%.

Густина розчину  $1 \text{ г/мл}$ ;  $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ г/моль}$

Відповідь:  $\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,049\%$

4.9 Розрахувати масу барій гідроксиду, необхідну для приготування 250мл розчину з  $pH = 13$ , враховуючи, що ступінь дисоціації електроліту 100%.

$M(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 171 \text{ г/моль}$ .

Відповідь:  $m(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 2,1375 \text{ г}$

4.10 Розрахувати масову частку амоніаку ( $\text{NH}_3$ ) в водному розчині, якщо значення  $pH$  цього розчину 11,8. Ступінь дисоціації  $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  23%; густина розчину  $0,998 \text{ г/мл}$ ;  $M(\text{NH}_3) = 17 \text{ г/моль}$

Відповідь:  $\omega(\text{NH}_3) = 0,047\%$

4.11 Водневий показник розчину барій гідроксиду дорівнює 12. Обчислити масову концентрацію  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  в розчині, враховуючи, що ступінь дисоціації електроліту 100%.  $M(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 171 \text{ г/моль}$ .

Відповідь:  $\rho(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,855 \text{ г/л}$

4.12 Написати рівняння реакції першої стадії гідролізу та обчислити константу гідролізу для наступних солей:

а)  $\text{MgCl}_2$ , якщо  $K_{д2}(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$ ;

б)  $\text{K}_3\text{PO}_4$ , якщо  $K_{д3}(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1,26 \cdot 10^{-12} \text{ моль/л}$ ;

в)  $\text{Mg}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  якщо  $K_{д2}(\text{Mg}(\text{OH})_2) = 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$ ,

$K_{д}(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$ .

Відповідь: а)  $K_{г1}(\text{MgCl}_2) = 4 \cdot 10^{-12} \text{ моль/л}$ ;

б)  $K_{г1}(\text{K}_3\text{PO}_4) = 7,94 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$ ;

в)  $K_{г1}(\text{Mg}(\text{CH}_3\text{COO})_2) = 2,28 \cdot 10^{-7}$ .

#### 4. Основи титриметричного аналізу

В основі титриметричного визначення лежить вимірювання об'єму розчину точно відомої молярної концентрації еквівалента речовини, витраченого на реакцію з речовиною, що аналізують, з подальшим розрахунком кількості визначуваної речовини за рівнянням реакції. Розчин реагенту, молярна концентрація якого встановлена з високою точністю, називають робочим, або стандартним, або титрованим розчином (розчином титранту). Розчин, в якому визначають молярну концентрацію еквівалента речовини, називають пробую (аналітом).

Обчислення в титриметричному аналізі ґрунтуються на законі еквівалентів:

***В хімічних реакціях кількість молей еквівалентів кожної з речовин, що вступили в реакцію та утворились в ній, завжди рівні між собою.***

Для довільної реакції між аналітом ( $A$ ) та титрантом ( $T$ ) закон еквівалентів має наступні математичні вираження:

- 1) Кількість молей еквівалентів аналіту і титранту, що вступили в реакцію рівні:

$$n\left(\frac{1}{z}A\right) = n\left(\frac{1}{z}T\right)$$

- 2) Щоб отримати формулу для розрахунку молярної концентрації еквівалента аналіту за результатами титрування, потрібно виразити кількості молей еквівалентів через молярні концентрації еквівалента та об'єми розчинів, що були введені в реакцію:

$$c\left(\frac{1}{z}A\right) \cdot V(A) = c\left(\frac{1}{z}T\right) \cdot V(T) \quad \Rightarrow \quad \boxed{c\left(\frac{1}{z}A\right) = \frac{c\left(\frac{1}{z}T\right) \cdot V(T)}{V(A)}}$$

- 3) Щоб отримати формулу для розрахунку маси аналіту, яка міститься в розчині, за результатами титрування потрібно у формулі

$$m(A) = c\left(\frac{1}{z}A\right) \cdot M\left(\frac{1}{z}A\right) \cdot V_{\text{заг.}}(A)$$

$$c\left(\frac{1}{z}A\right) \text{ замінити на } \frac{c\left(\frac{1}{z}T\right) \cdot V(T)}{V(A)}$$

$$\boxed{m(A) = \frac{c\left(\frac{1}{z}T\right) \cdot V(T)}{V_{\text{проби}}(A)} \cdot M\left(\frac{1}{z}A\right) \cdot V_{\text{заг.}}(A)}$$

де

$V_{\text{заг.}}(A)$  - загальний об'єм розчину, з якого відбиралась проба та вміст аналіту в якому потрібно визначити;

$V_{\text{проби}}(A)$  - об'єм розчину, який відбрали із загального об'єму для

титрування.

Якщо потрібно визначити масу аналіту, що міститься в тому об'ємі розчину, який взяли для титрування, тобто  $V_{\text{заг.}}(A) = V_{\text{проби}}(A)$ , розрахункова формула набуває вигляду:

$$m(A) = c\left(\frac{1}{z}T\right) \cdot V(T) \cdot M\left(\frac{1}{z}A\right)$$

## Приклади розв'язання задач

### Приклад 1

Визначити молярну концентрацію еквівалента сульфатної кислоти в розчині, якщо на титрування 10мл цього розчину пішло 12,4мл розчину калій гідроксиду з молярною концентрацією еквівалента 0,01моль/л.

**Дано:**

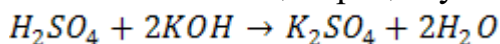
$$\begin{aligned} V(H_2SO_4) &= 10\text{мл} = 0,01\text{л} \\ V(KOH) &= 12,4\text{мл} = 0,0124\text{л} \\ c(KOH) &= 0,01 \text{ моль/л} \end{aligned}$$

**Знайти:**

$$c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right) - ?$$

**Розв'язок:**

Визначення концентрації сульфатної кислоти проводять за реакцією:



Молярну концентрацію еквівалента сульфатної кислоти розрахувати за рівнянням:

$$\begin{aligned} c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right) &= \frac{c(KOH) \cdot V(KOH)}{V(H_2SO_4)} \\ c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right) &= \frac{0,01 \text{ моль/л} \cdot 0,0124\text{л}}{0,01\text{л}} = 0,0124 \text{ моль/л} \end{aligned}$$

**Відповідь:**  $c\left(\frac{1}{2}H_2SO_4\right) = 0,0124 \text{ моль/л}$

### Приклад 2

Визначити точну молярну концентрацію еквівалента розчину хлоридної кислоти, якщо для його стандартизації використовувався розчин, для приготування 500мл якого взято наважку 0,8741г натрій тетраборату декагідрату  $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$  (бура). На титрування 10мл приготованого розчину  $Na_2B_4O_7$  витрачено 8,5мл розчину  $HCl$ .

$$M(Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O) = 381,27 \text{ г/моль}$$

**Дано:**

$$\begin{aligned} V(HCl) &= 8,5\text{мл} = 0,0085\text{л} \\ V_T(Na_2B_4O_7) &= 10\text{мл} = 0,01\text{л} \\ V_{\text{заг.}}(Na_2B_4O_7) &= 500\text{мл} = 0,5\text{л} \\ m(Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O) &= 0,8741\text{г} \\ M(Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O) &= 381,27 \text{ г/моль} \end{aligned}$$

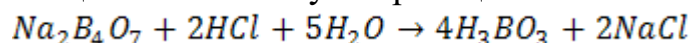
**Знайти:**

$$c(HCl) - ?$$

**Розв'язок:**



В основі стандартизації лежить наступна реакція:



- 1) Визначити молярну концентрацію еквівалента  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$  в приготованому стандартному розчині:

$$c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\right) = \frac{n\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\right)}{V_{\text{зар.}}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)}$$

$$n\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\right) = \frac{m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)}{M\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\right)} = \frac{m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})}{M\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}\right)}$$

$$c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\right) = \frac{m(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O})}{M\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}\right) \cdot V_{\text{зар.}}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)}$$

$$c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\right) = \frac{0,8741\text{г}}{\frac{381,27}{2}\text{г/моль} \cdot 0,5\text{л}} = 9,17 \cdot 10^{-3}\text{ моль/л}$$

- 2) Визначити точну молярну концентрацію еквівалента  $\text{HCl}$  в розчині за результатами титрування:

$$c(\text{HCl}) = \frac{c\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7\right) \cdot V_{\text{т}}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7)}{V(\text{HCl})}$$

$$c(\text{HCl}) = \frac{9,17 \cdot 10^{-3}\text{ моль/л} \cdot 0,01\text{л}}{0,0085\text{л}} = 1,079 \cdot 10^{-2}\text{ моль/л}$$

**Відповідь:**  $c(\text{HCl}) = 1,079 \cdot 10^{-2}\text{ моль/л}$

### Приклад 3

На титрування 10мл розчину барій гідроксиду витрачено 10,6мл розчину хлоридної кислоти з молярною концентрацією еквівалента  $1,082 \cdot 10^{-2}\text{ моль/л}$ . Визначити:

- а) масу барій гідроксиду в 10мл розчину;  
б) масу барій гідроксиду в 250мл розчину.

$$M(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 171\text{ г/моль}$$

**Дано:**

$$c(\text{HCl}) = 1,082 \cdot 10^{-2}\text{ моль/л}$$

$$V(\text{HCl}) = 10,6\text{мл} = 0,0106\text{л}$$

$$V_{\text{пр.}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 10\text{мл} = 0,01\text{л}$$

$$V_{\text{зар.}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 250\text{мл} = 0,25\text{л}$$

$$M(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 171\text{ г/моль}$$

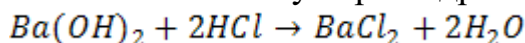
**Знайти:**

а)  $m_{\text{пр.}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) - ?$

б)  $m_{\text{зар.}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) - ?$

**Розв'язок:**

Визначення вмісту барій гідроксиду проводять за реакцією:



- а) Обчислити масу барій гідроксиду, що міститься в 10мл розчину, за результатами титрування:

$$m_{\text{пр.}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) = c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl}) \cdot M\left(\frac{1}{2}\text{Ba}(\text{OH})_2\right)$$

$$m_{\text{пр.}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 1,082 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л} \cdot 0,0106 \text{ л} \cdot \frac{171}{2} \text{ г/моль} = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ г}$$

- б) Обчислити масу барій гідроксиду, що міститься в 250мл розчину, за результатами титрування 10мл цього розчину:

$$m_{\text{заг.}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{V_{\text{пр.}}(\text{Ba}(\text{OH})_2)} \cdot M\left(\frac{1}{2}\text{Ba}(\text{OH})_2\right) \cdot V_{\text{заг.}}(\text{Ba}(\text{OH})_2)$$

$$m_{\text{заг.}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) = \frac{1,082 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л} \cdot 0,0106 \text{ л} \cdot \frac{171}{2} \text{ г/моль} \cdot 0,25 \text{ л}}{0,01 \text{ л}} = 0,2452 \text{ г}$$

**Відповідь:** а)  $m_{\text{пр.}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ г}$

б)  $m_{\text{заг.}}(\text{Ba}(\text{OH})_2) = 0,2452 \text{ г}$

#### Приклад 4

Визначити масу амоніаку, що міститься в 150мл нашатирного спирту, якщо на титрування 1мл цього розчину витрачено 11,1мл розчину сульфатної кислоти з молярною концентрацією еквівалента  $0,5 \text{ моль/л}$ .

$$M(\text{NH}_3) = 17 \text{ г/моль}$$

**Дано:**

$$V_{\text{заг.}}(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 150 \text{ мл} = 0,15 \text{ л}$$

$$V_{\text{пр.}}(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ мл} = 0,001 \text{ л}$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = 11,1 \text{ мл} = 0,0111 \text{ л}$$

$$c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 0,5 \text{ моль/л}$$

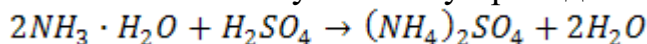
$$M(\text{NH}_3) = 17 \text{ г/моль}$$

**Знайти:**

$$m(\text{NH}_3) - ?$$

#### Розв'язок:

Визначення вмісту амоніаку проводять за реакцією:



Знайти масу амоніаку, що міститься в 150мл розчину, за результатами титрування 1мл цього розчину:

$$m(\text{NH}_3) = \frac{c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) \cdot V(\text{H}_2\text{SO}_4)}{V_{\text{пр.}}(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})} \cdot M(\text{NH}_3) \cdot V_{\text{заг.}}(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O})$$

$$m(\text{NH}_3) = \frac{0,5 \text{ моль/л} \cdot 0,0111 \text{ л}}{0,001 \text{ л}} \cdot 17 \text{ г/моль} \cdot 0,15 \text{ л} = 14,1525 \text{ г}$$

**Відповідь:**  $m(\text{NH}_3) = 14,1525 \text{ г}$

#### Приклад 5

Визначити масову частку оцтової кислоти в розчині, якщо на титрування 5мл цього розчину витрачено 12,9 мл розчину натрій гідроксиду з молярною концентрацією еквівалента  $0,521 \text{ моль/л}$ . Густина розчину оцтової кислоти  $1,01 \text{ г/мл}$ .

$$M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60 \text{ г/моль}$$

**Дано:**

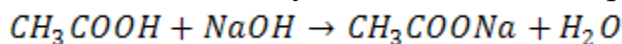
**Знайти:**



$$\begin{array}{l|l}
 V(\text{CH}_3\text{COOH}) = 5\text{мл} = 0,005\text{л} & \omega(\text{CH}_3\text{COOH})\text{-?} \\
 V(\text{NaOH}) = 12,9\text{мл} = 0,0129\text{л} & \\
 c(\text{NaOH}) = 0,521 \text{ моль/л} & \\
 M(\text{CH}_3\text{COOH}) = 60 \text{ г/моль} & \\
 \rho(\text{р - ну}) = 1,01 \text{ г/мл} &
 \end{array}$$

### Розв'язок:

Визначення вмісту оцтової кислоти проводять за реакцією:



- 1) Визначити молярну концентрацію оцтової кислоти за результатами титрування:

$$\begin{aligned}
 c(\text{CH}_3\text{COOH}) &= \frac{c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH})}{V(\text{CH}_3\text{COOH})} \\
 c(\text{CH}_3\text{COOH}) &= \frac{0,521 \text{ моль/л} \cdot 0,0129\text{л}}{0,005\text{л}} = 1,344 \text{ моль/л}
 \end{aligned}$$

- 2) Розрахувати масову частку оцтової кислоти в розчині, використовуючи формулу, наведену в таблиці 5:

$$\begin{aligned}
 \omega(\text{CH}_3\text{COOH}) &= \frac{c(\text{CH}_3\text{COOH}) \cdot M(\text{CH}_3\text{COOH})}{\rho(\text{р - ну})} \cdot 100\% \\
 \omega(\text{CH}_3\text{COOH}) &= \frac{1,344 \text{ моль/л} \cdot 60 \text{ г/моль}}{1,01 \text{ г/мл}} \cdot 100\% = 8\%
 \end{aligned}$$

**Відповідь:**  $\omega(\text{CH}_3\text{COOH}) = 8\%$

### Задачі для самостійного розв'язання

**5.1** Визначити молярну концентрацію еквівалента барій гідроксиду в розчині, якщо на титрування 10мл цього розчину використано 11,3мл розчину хлоридної кислоти з молярною концентрацією еквівалента 0,02моль/л.

$$\text{Відповідь: } c\left(\frac{1}{2}\text{Ba}(\text{OH})_2\right) = 0,0226 \text{ моль/л}$$

**5.2** Визначити молярну концентрацію еквівалента натрій гідроксиду в розчині, якщо на титрування 10мл цього розчину використано 11,3мл розчину сульфатної кислоти з молярною концентрацією 0,02моль/л.

$$\text{Відповідь: } c(\text{NaOH}) = 0,0452 \text{ моль/л}$$

**5.3** Визначити точну молярну концентрацію еквівалента сульфатної кислоти в розчині, якщо для його стандартизації використовувався розчин, для приготування 250мл якого взято наважку 0,3575г натрій карбонату декагідрату  $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . На титрування 10мл приготованого розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  використано 10,2мл розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .  $M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль}$

$$\text{Відповідь: } c\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = 9,8 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

**5.4** Визначити точну молярну концентрацію еквівалента калій гідроксиду в

розчині, якщо для його стандартизації використовувався розчин, для приготування 500мл якого взято наважку 0,315г дигідрату щавлевої кислоти  $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ . На титрування 10мл приготованого розчину  $H_2C_2O_4$  використано 11,1мл розчину  $KOH$ .  $M(H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O) = 126 \text{ г/моль}$

$$\text{Відповідь: } c(KOH) = 9 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

**5.5** На титрування 20мл розчину оцтової кислоти витрачено 14,8мл розчину калій гідроксиду з молярною концентрацією еквівалента  $0,01 \text{ моль/л}$ . Визначити:

а) масу оцтової кислоти, що міститься в 20мл розчину;

б) масу оцтової кислоти, що міститься в 1л розчину;

$$M(CH_3COOH) = 60 \text{ г/моль}$$

$$\text{Відповідь: а) } m_{\text{пр}}(CH_3COOH) = 8,88 \cdot 10^{-3} \text{ г}$$

$$\text{б) } m_{\text{заг}}(CH_3COOH) = 0,444 \text{ г}$$

**5.6** Визначити масову частку амоніаку в нашатирному спирті, якщо на титрування 1мл цього розчину витрачено 9,3мл розчину хлоридної кислоти с молярною концентрацією еквівалента  $0,597 \text{ моль/л}$ . Густина нашатирного спирту  $0,958 \text{ г/мл}$ ;  $M(NH_3) = 17 \text{ г/моль}$ .

$$\text{Відповідь: } \omega(NH_3) = 9,85\%$$

## 5. Буферні системи, їх біологічна роль.

**Таблиця 5. Основні параметри, що використовуються для характеристики буферних розчинів.**

| Параметр                             | Розрахункова формула  | Змістоє значення   |
|--------------------------------------|---|--|
| <i>pH</i> кислотної буферної системи | <p>Рівняння Гендерсона-Гассельбаха для кислотних буферних систем:</p> $pH = pK_d + \lg \frac{c(c)}{c(k)}$ <p>де <math>c(c)</math> та <math>c(k)</math>- молярні концентрації, відповідно, солі та кислоти в буферному розчині. Враховуючи, що</p> $c(x) = \frac{n(x)}{V(\text{буф.})} \quad \text{та} \quad n(x) = c_0(x) \cdot V_0(x),$ <p>молярні концентрації компонентів буферного розчину можна виразити через їх концентрації у вихідних розчинах <math>c_0(x)</math> та об'єми вихідних розчинів <math>V_0(x)</math>, використані для приготування даного буферного розчину:</p> $pH = pK_d + \lg \frac{c_0(c) \cdot V_0(c)}{c_0(k) \cdot V_0(k)}$ | Кислотний буферний розчин містить слабку кислоту та сіль, утворену цією кислотою і сильною основою. Значення <i>pH</i> залежить від величини константи дисоціації слабкої кислоти та співвідношення концентрацій солі і кислоти. |
| <i>pH</i> основної буферної системи  | <p>Рівняння Гендерсона-Гассельбаха для основних буферних систем</p> $pH = 14 - \left[ pK_d + \lg \frac{c(c)}{c(o)} \right],$ <p>або</p> $pH = 14 - \left[ pK_d + \lg \frac{c_0(c) \cdot V_0(c)}{c_0(o) \cdot V_0(o)} \right],$ <p><math>c(c)</math> та <math>c(o)</math>- молярні концентрації відповідно солі та основи в буферному розчині;<br/> <math>c_0(c)</math> та <math>c_0(o)</math>- молярні концентрації відповідно солі та основи у вихідних розчинах;<br/> <math>V_0(c)</math> та <math>V_0(o)</math>- об'єми вихідних розчинів, відповідно, солі та основи, використані для приготування даного буферного розчину.</p>                      | Основний буферний розчин містить слабку основу та сіль, утворену цією основою та сильною кислотою. Значення <i>pH</i> залежить від значення константи дисоціації слабкої основи та співвідношення концентрацій солі і основи.    |
| Буферна ємність за кислотою          | $B_k = \frac{c(\frac{1}{z}k - \text{ти}) \cdot V(k - \text{ти})}{V(\text{буф.р} - \text{ну}) \cdot  \Delta pH }$  | Кількість молей еквівалента сильної кислоти, яку потрібно додати до 1л буферного розчину, щоб змінити величину <i>pH</i> на одиницю.   |
| Буферна ємність за лугом             | $B_l = \frac{c(\frac{1}{z}\text{луг}) \cdot V(\text{луг})}{V(\text{буф.р} - \text{ну}) \cdot  \Delta pH }$  | Кількість молей еквівалента луку, яку потрібно додати до 1л буферного розчину, щоб змінити величину <i>pH</i> на одиницю.  |

## Приклади розв'язання задач

### Приклад 1

Обчислити  $pH$  ацетатного буфера, приготованого з 300мл розчину оцтової кислоти з  $c_0(CH_3COOH) = 0,1$  моль/л та 600мл розчину натрій ацетату з  $c_0(CH_3COONa) = 0,2$  моль/л.  $K_d(CH_3COOH) = 1,75 \cdot 10^{-5}$  моль/л

Дано:

$$c_0(CH_3COOH) = 0,1 \text{ моль/л}$$

$$c_0(CH_3COONa) = 0,2 \text{ моль/л}$$

$$V_0(CH_3COOH) = 300\text{мл} = 0,3\text{л}$$

$$V_0(CH_3COONa) = 600\text{мл} = 0,6\text{л}$$

$$K_d(CH_3COOH) = 1,75 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Знайти:

$$pH - ?$$

Розв'язок:

Записати рівняння для обчислення  $pH$  ацетатної буферної системи, виразивши молярні концентрації компонентів буферного розчину через їх концентрації у вихідних розчинах та об'єми вихідних розчинів, взяті для приготування даного буферного розчину:

$$pH = pK_d(CH_3COOH) + \lg \frac{c_0(CH_3COONa) \cdot V_0(CH_3COONa)}{c_0(CH_3COOH) \cdot V_0(CH_3COOH)}$$

Підставити значення і розрахувати  $pH$ :

$$pH = -\lg(1,75 \cdot 10^{-5}) + \lg \frac{0,2 \text{ моль/л} \cdot 0,6\text{л}}{0,1 \text{ моль/л} \cdot 0,3\text{л}} = 4,76 + \lg 4 = 4,76 + 0,6 = 5,36$$

Відповідь:  $pH = 5,36$

### Приклад 2

Обчислити  $pH$  амонійного буферного розчину, приготованого з 250мл розчину амоній хлориду з  $c_0(NH_4Cl) = 0,1$  моль/л та 200мл водного розчину амоніаку ( $NH_3 \cdot H_2O$ ) з  $c_0(NH_3 \cdot H_2O) = 0,2$  моль/л.

$$K_d(NH_3 \cdot H_2O) = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Дано:

$$c_0(NH_4Cl) = 0,1 \text{ моль/л}$$

$$c_0(NH_3 \cdot H_2O) = 0,2 \text{ моль/л}$$

$$V_0(NH_4Cl) = 250\text{мл} = 0,25\text{л}$$

$$V_0(NH_3 \cdot H_2O) = 200\text{мл} = 0,2\text{л}$$

$$K_d(NH_3 \cdot H_2O) = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

Знайти:

$$pH - ?$$

Розв'язок:

Записати рівняння для обчислення  $pH$  амонійної буферної системи, виразивши концентрації компонентів буфера через концентрації та об'єми вихідних розчинів:

$$pH = 14 - \left[ pK_d(NH_3 \cdot H_2O) + \lg \frac{c_0(NH_4Cl) \cdot V_0(NH_4Cl)}{c_0(NH_3 \cdot H_2O) \cdot V_0(NH_3 \cdot H_2O)} \right]$$

Підставити значення і розрахувати  $pH$ :

$$pH = 14 - \left[ -\lg 1,8 \cdot 10^{-5} + \lg \frac{0,1 \text{ моль/л} \cdot 0,25 \text{ л}}{0,2 \text{ моль/л} \cdot 0,2 \text{ л}} \right] = 14 - [4,74 + \lg 0,625] = \\ = 14 - [4,74 - 0,2] = 9,46$$

**Відповідь:**  $pH = 9,46$

### Приклад 3

Обчислити об'єми розчинів натрій гідрогенфосфату і натрій дигідрогенфосфату з молярними концентраціями  $c_0(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,02$  моль/л та  $c_0(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0,02$  моль/л, необхідні для приготування 500мл фосфатного буферного розчину з  $pH = 7,8$ .  $K_d(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 6,2 \cdot 10^{-8}$  моль/л

**Дано:**

$$pH = 7,8$$

$$V(\text{буф.}) = 500 \text{ мл} = 0,5 \text{ л}$$

$$c_0(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,02 \text{ моль/л}$$

$$c_0(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0,02 \text{ моль/л}$$

$$K_d(\text{H}_2\text{PO}_4^-) = 6,2 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л}$$

**Знайти:**

$$V_0(\text{Na}_2\text{HPO}_4) - ?$$

$$V_0(\text{NaH}_2\text{PO}_4) - ?$$

### Розв'язок:

1) *Обчислити співвідношення об'ємів вихідних розчинів.*

Записати рівняння для обчислення  $pH$  фосфатної буферної системи, виразивши концентрації компонентів буфера через концентрації та об'єми вихідних розчинів:

$$pH = pK_d(\text{H}_2\text{PO}_4^-) + \lg \frac{c_0(\text{Na}_2\text{HPO}_4) \cdot V_0(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}{c_0(\text{NaH}_2\text{PO}_4) \cdot V_0(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}$$

Спростити рівняння, підставивши значення концентрацій компонентів у вихідних розчинах :

$$pH = pK_d(\text{H}_2\text{PO}_4^-) + \lg \frac{0,02 \text{ моль/л} \cdot V_0(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}{0,02 \text{ моль/л} \cdot V_0(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}$$

$$pH = pK_d(\text{H}_2\text{PO}_4^-) + \lg \frac{V_0(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}{V_0(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}$$

Знайти співвідношення об'ємів вихідних розчинів  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  та  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ :

$$\lg \frac{V_0(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}{V_0(\text{NaH}_2\text{PO}_4)} = pH - pK_d(\text{H}_2\text{PO}_4^-)$$

$$\lg \frac{V_0(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}{V_0(\text{NaH}_2\text{PO}_4)} = 7,8 - [-\lg 6,2 \cdot 10^{-8}] = 7,8 - 7,2 = 0,6$$

$$\frac{V_0(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}{V_0(\text{NaH}_2\text{PO}_4)} = 10^{0,6} = 3,98 \approx 4$$

$$V_0(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 4 \cdot V_0(\text{NaH}_2\text{PO}_4)$$

2) Обчислити об'єми вихідних розчинів  $Na_2HPO_4$  та  $NaH_2PO_4$ .

Враховуючи, що  $V_0(Na_2HPO_4) + V_0(NaH_2PO_4) = V(\text{буф.})$ , скласти систему рівнянь:

$$\begin{cases} V_0(Na_2HPO_4) + V_0(NaH_2PO_4) = 0,5\text{л} \\ V_0(Na_2HPO_4) = 4 \cdot V_0(NaH_2PO_4) \end{cases}$$

$$4 \cdot V_0(NaH_2PO_4) + V_0(NaH_2PO_4) = 0,5\text{л}$$

$$5 \cdot V_0(NaH_2PO_4) = 0,5\text{л}$$

$$V_0(NaH_2PO_4) = \frac{0,5\text{л}}{5} = 0,1\text{л}$$

$$V_0(Na_2HPO_4) = 4 \cdot V_0(NaH_2PO_4) = 4 \cdot 0,1\text{л} = 0,4\text{л}$$

**Відповідь:**  $V_0(NaH_2PO_4) = 0,1\text{л}$

$V_0(Na_2HPO_4) = 0,4\text{л}$

#### Приклад 4

Обчислити об'єми розчину амоній хлориду та розчину амоніаку з молярними концентраціями  $(NH_4Cl) = 0,02$  моль/л і  $c_0(NH_3 \cdot H_2O) = 0,02$  моль/л, необхідні для приготування 400мл амонійного буферного розчину з  $pH = 8,78$ .  $K_d(NH_3 \cdot H_2O) = 1,8 \cdot 10^{-5}$  моль/л

**Дано:**

$$pH = 8,78$$

$$V(\text{буф.}) = 400\text{мл} = 0,4\text{л}$$

$$c_0(NH_4Cl) = 0,02 \text{ моль/л}$$

$$c_0(NH_3 \cdot H_2O) = 0,02 \text{ моль/л}$$

$$K_d(NH_3 \cdot H_2O) = 1,8 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}$$

**Знайти:**

$$V_0(NH_4Cl) - ?$$

$$V_0(NH_3 \cdot H_2O) - ?$$

#### Розв'язок:

1) Обчислити співвідношення об'ємів вихідних розчинів.

Записати рівняння для обчислення  $pH$  амонійної буферної системи, виразивши концентрації компонентів буфера через концентрації та об'єми вихідних розчинів:

$$pH = 14 - \left[ pK_d(NH_3 \cdot H_2O) + \lg \frac{c_0(NH_4Cl) \cdot V_0(NH_4Cl)}{c_0(NH_3 \cdot H_2O) \cdot V_0(NH_3 \cdot H_2O)} \right]$$

Спростити рівняння, підставивши значення концентрацій компонентів у вихідних розчинах :

$$pH = 14 - pK_d(NH_3 \cdot H_2O) - \lg \frac{0,02 \text{ моль/л} \cdot V_0(NH_4Cl)}{0,02 \text{ моль/л} \cdot V_0(NH_3 \cdot H_2O)}$$

$$pH = 14 - pK_d(NH_3 \cdot H_2O) - \lg \frac{V_0(NH_4Cl)}{V_0(NH_3 \cdot H_2O)}$$

Знайти співвідношення об'ємів вихідних розчинів  $NH_4Cl$  та  $NH_3 \cdot H_2O$ :

$$\lg \frac{V_0(NH_4Cl)}{V_0(NH_3 \cdot H_2O)} = 14 - pH - pK_d(NH_3 \cdot H_2O)$$



$$\lg \frac{V_0(NH_4Cl)}{V_0(NH_3 \cdot H_2O)} = 14 - 8,78 - (-\lg 1,8 \cdot 10^{-5}) = 14 - 8,78 - 4,74 = 0,48$$

$$\frac{V_0(NH_4Cl)}{V_0(NH_3 \cdot H_2O)} = 10^{0,48} = 3$$

$$V_0(NH_4Cl) = 3 \cdot V_0(NH_3 \cdot H_2O)$$

2) *Обчислити об'єми вихідних розчинів  $NH_4Cl$  та  $NH_3 \cdot H_2O$ .*

Враховуючи, що  $V_0(NH_4Cl) + V_0(NH_3 \cdot H_2O) = V(\text{буф.})$ , скласти систему рівнянь:

$$\begin{cases} V_0(NH_4Cl) + V_0(NH_3 \cdot H_2O) = 0,4\text{л} \\ V_0(NH_4Cl) = 3 \cdot V_0(NH_3 \cdot H_2O) \end{cases}$$

$$3 \cdot V_0(NH_3 \cdot H_2O) + V_0(NH_3 \cdot H_2O) = 0,4\text{л}$$

$$4 \cdot V_0(NH_3 \cdot H_2O) = 0,4\text{л}$$

$$V_0(NH_3 \cdot H_2O) = \frac{0,4\text{л}}{4} = 0,1\text{л}$$

$$V_0(NH_4Cl) = 3 \cdot V_0(NH_3 \cdot H_2O) = 3 \cdot 0,1\text{л} = 0,3\text{л}$$

**Відповідь:**  $V_0(NH_3 \cdot H_2O) = 0,1\text{л}$   
 $V_0(NH_4Cl) = 0,3\text{л}$

### Приклад 5

Обчислити об'єми розчинів натрій гідрофосфату і натрій дигідрофосфату з молярними концентраціями  $c_0(Na_2HPO_4) = 0,02$  моль/л і  $c_0(NaH_2PO_4) = 0,02$  моль/л, а також води, необхідні для приготування 600мл фосфатного буферного розчину з молярною концентрацією 0,01 моль/л і  $pH = 7,5$ .  $K_d(H_2PO_4^-) = 6,2 \cdot 10^{-8}$  моль/л

**Дано:**

$$pH = 7,5$$

$$V(\text{буф.}) = 600\text{мл} = 0,6\text{л}$$

$$c(\text{буф.}) = 0,01 \text{ моль/л}$$

$$c_0(Na_2HPO_4) = 0,02 \text{ моль/л}$$

$$c_0(NaH_2PO_4) = 0,02 \text{ моль/л}$$

$$K_d(H_2PO_4^-) = 6,2 \cdot 10^{-8} \text{ моль/л}$$

**Знайти:**

$$V_0(Na_2HPO_4) - ?$$

$$V_0(NaH_2PO_4) - ?$$

$$V(H_2O) - ?$$

**Розв'язок:**

**спосіб 1**

1) *Обчислити співвідношення об'ємів вихідних розчинів..*

Записати рівняння для обчислення  $pH$  фосфатної буферної системи, виразивши концентрації компонентів буфера через концентрації і об'єми вихідних розчинів:

$$pH = pK_d(H_2PO_4^-) + \lg \frac{c_0(Na_2HPO_4) \cdot V_0(Na_2HPO_4)}{c_0(NaH_2PO_4) \cdot V_0(NaH_2PO_4)}$$

Спростити рівняння, підставивши значення концентрацій компонентів у вихідних розчинах :



$$pH = pK_d(H_2PO_4^-) + \lg \frac{0,02 \text{ моль/л} \cdot V_0(Na_2HPO_4)}{0,02 \text{ моль/л} \cdot V_0(NaH_2PO_4)}$$

$$pH = pK_d(H_2PO_4^-) + \lg \frac{V_0(Na_2HPO_4)}{V_0(NaH_2PO_4)}$$

Знайти співвідношення об'ємів вихідних розчинів  $Na_2HPO_4$  та  $NaH_2PO_4$ :

$$\lg \frac{V_0(Na_2HPO_4)}{V_0(NaH_2PO_4)} = pH - pK_d(H_2PO_4^-)$$

$$\lg \frac{V_0(Na_2HPO_4)}{V_0(NaH_2PO_4)} = 7,5 - [-\lg 6,2 \cdot 10^{-8}] = 7,5 - 7,2 = 0,3$$

$$\frac{V_0(Na_2HPO_4)}{V_0(NaH_2PO_4)} = 10^{0,3} = 1,99 \approx 2$$

$$V_0(Na_2HPO_4) = 2 \cdot V_0(NaH_2PO_4)$$

- 2) Обчислити об'єм води і суму об'ємів вихідних розчинів  $Na_2HPO_4$  і  $NaH_2PO_4$ .

Оскільки задана молярна концентрація буферного розчину (0,01 моль/л) в два рази менша за молярні концентрації вихідних розчинів (0,02 моль/л), можна зробити висновок, що для приготування буферного розчину необхідно взяти об'єм води, що дорівнює половині об'єму буфера (тобто розвести буфер в два рази).

$$V(H_2O) = \frac{V(\text{буф.})}{2} = \frac{0,6\text{л}}{2} = 0,3\text{л}$$

отже:

$$V_0(Na_2HPO_4) + V_0(NaH_2PO_4) = V(\text{буф.}) - V(H_2O) = 0,6\text{л} - 0,3\text{л} = 0,3\text{л}$$

- 3) Обчислити об'єми вихідних розчинів  $Na_2HPO_4$  та  $NaH_2PO_4$ .

Скласти систему рівнянь:

$$\begin{cases} V_0(Na_2HPO_4) + V_0(NaH_2PO_4) = 0,3\text{л} \\ V_0(Na_2HPO_4) = 2 \cdot V_0(NaH_2PO_4) \end{cases}$$

$$2 \cdot V_0(NaH_2PO_4) + V_0(NaH_2PO_4) = 0,3\text{л}$$

$$3 \cdot V_0(NaH_2PO_4) = 0,3\text{л}$$

$$V_0(NaH_2PO_4) = \frac{0,3\text{л}}{3} = 0,1\text{л}$$

$$V_0(Na_2HPO_4) = 2 \cdot V_0(NaH_2PO_4) = 2 \cdot 0,1\text{л} = 0,2\text{л}$$

## спосіб 2

- 1) Обчислити співвідношення кількостей речовини компонентів буфера.

Записати рівняння для обчислення  $pH$  фосфатної буферної системи, виразивши співвідношення концентрацій компонентів буфера через співвідношення кількостей речовини цих компонентів:

$$pH = pK_d(H_2PO_4^-) + \lg \frac{c(Na_2HPO_4)}{c(NaH_2PO_4)} = pK_d(H_2PO_4^-) + \lg \frac{n(Na_2HPO_4)}{n(NaH_2PO_4)}$$

Знайти співвідношення кількостей речовини  $Na_2HPO_4$  і  $NaH_2PO_4$ :

$$\lg \frac{n(Na_2HPO_4)}{n(NaH_2PO_4)} = pH - pK_d(H_2PO_4^-)$$

$$\lg \frac{n(Na_2HPO_4)}{n(NaH_2PO_4)} = 7,5 - [-\lg 6,2 \cdot 10^{-8}] = 7,5 - 7,2 = 0,3$$

$$\frac{n(Na_2HPO_4)}{n(NaH_2PO_4)} = 10^{0,3} = 1,99 \approx 2$$

$$n(Na_2HPO_4) = 2 \cdot n(NaH_2PO_4)$$

2) *Обчислити сумарну кількість речовини компонентів буфера.*

Записати формулу для розрахунку загальної молярної концентрації буфера та виразити з неї суму кількостей речовини  $Na_2HPO_4$  і  $NaH_2PO_4$ :

$$c(\text{буф.}) = \frac{n(Na_2HPO_4) + n(NaH_2PO_4)}{V(\text{буф.})}$$

$$n(Na_2HPO_4) + n(NaH_2PO_4) = c(\text{буф.}) \cdot V(\text{буф.})$$

$$n(Na_2HPO_4) + n(NaH_2PO_4) = 0,01 \text{ моль/л} \cdot 0,6 \text{ л} = 0,006 \text{ моль}$$

3) *Обчислити кількості речовини компонентів буфера.*

Скласти систему рівнянь:

$$\begin{cases} n(Na_2HPO_4) + n(NaH_2PO_4) = 0,006 \text{ моль} \\ n(Na_2HPO_4) = 2 \cdot n(NaH_2PO_4) \end{cases}$$

$$2 \cdot n(NaH_2PO_4) + n(NaH_2PO_4) = 0,006 \text{ моль}$$

$$3 \cdot n(NaH_2PO_4) = 0,006 \text{ моль}$$

$$n(NaH_2PO_4) = \frac{0,006 \text{ моль}}{3} = 0,002 \text{ моль}$$

$$n(Na_2HPO_4) = 2 \cdot n(NaH_2PO_4) = 2 \cdot 0,002 \text{ моль} = 0,004 \text{ моль}$$

4) *Обчислити об'єми вихідних розчинів, в яких містяться необхідні кількості  $Na_2HPO_4$  і  $NaH_2PO_4$ :*

$$V_0(Na_2HPO_4) = \frac{n(Na_2HPO_4)}{c_0(Na_2HPO_4)} = \frac{0,004 \text{ моль}}{0,02 \text{ моль/л}} = 0,2 \text{ л}$$

$$V_0(NaH_2PO_4) = \frac{n(NaH_2PO_4)}{c_0(NaH_2PO_4)} = \frac{0,002 \text{ моль}}{0,02 \text{ моль}} = 0,1 \text{ л}$$

5) *Обчислити об'єм води, який необхідно додати до розрахованих об'ємів розчинів  $Na_2HPO_4$  і  $NaH_2PO_4$ , щоб отримати 0,6л буферної суміші:*

$$V(H_2O) = V(\text{буф.}) - V_0(Na_2HPO_4) - V_0(NaH_2PO_4)$$

$$V(H_2O) = 0,6 \text{ л} - 0,2 \text{ л} - 0,1 \text{ л} = 0,3 \text{ л}$$

**Відповідь:**  $V_0(NaH_2PO_4) = 0,1 \text{ л}$

$$V_0(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0,2\text{л}$$

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 0,3\text{л}$$

### Приклад 6

Обчислити буферну ємність гідрокарбонатної буферної системи плазми крові за лугом, якщо на титрування 100,0мл її витрачено 4,59мл розчину калій гідроксиду з молярною концентрацією  $0,01 \text{ моль/л}$  при зміні  $pH$  от 7,4 до 7,7.

**Дано:**

$$c(\text{KOH}) = 0,01 \text{ моль/л}$$

$$V(\text{KOH}) = 4,59\text{мл} = 0,00459\text{л}$$

$$V(\text{буф.}) = 100\text{мл} = 0,1\text{л}$$

$$pH_1 = 7,4$$

$$pH_2 = 7,7$$

**Знайти:**

$$V_{\text{л}} - ?$$

**Розв'язок:**

$$V_{\text{л}} = \frac{c(\text{KOH}) \cdot V(\text{KOH})}{V(\text{буф.}) \cdot |\Delta pH|}$$

$$V_{\text{л}} = \frac{0,01 \text{ моль/л} \cdot 0,00459\text{л}}{0,1\text{л} \cdot |(7,7 - 7,4)|} = 0,00153 \text{ моль/л} = 1,53 \text{ ммоль/л}$$

**Відповідь:**  $V_{\text{л}} = 1,53 \text{ ммоль/л}$

### Приклад 7

До 20мл крові додали 6,6мл розчину хлоридної кислоти с молярною концентрацією  $0,1 \text{ моль/л}$ . При цьому значення  $pH$  змінилось від 7,36 до 6,64. Обчислити буферну ємність крові за кислотою.

**Дано:**

$$c(\text{HCl}) = 0,1 \text{ моль/л}$$

$$V(\text{HCl}) = 6,6\text{мл} = 0,0066\text{л}$$

$$V(\text{буф.}) = 20\text{мл} = 0,02\text{л}$$

$$pH_1 = 7,36$$

$$pH_2 = 6,64$$

**Знайти:**

$$V_{\text{к}} - ?$$

**Розв'язок:**

$$V_{\text{к}} = \frac{c(\text{HCl}) \cdot V(\text{HCl})}{V(\text{буф.}) \cdot |\Delta pH|}$$

$$V_{\text{к}} = \frac{0,1 \text{ моль/л} \cdot 0,0066\text{л}}{0,02\text{л} \cdot |(6,64 - 7,36)|} = 0,0458 \text{ моль/л} = 45,8 \text{ ммоль/л}$$

**Відповідь:**  $V_{\text{к}} = 45,8 \text{ ммоль/л}$

### Задачі для самостійного розв'язання

**6.1** Обчислити  $pH$  амонійного буферного розчину, приготованого з 600мл розчину амоній хлориду з  $c_0(NH_4Cl) = 0,1$  моль/л і 800мл розчину амоніаку з  $c_0(NH_3 \cdot H_2O) = 0,15$  моль/л.  $K_d(NH_3 \cdot H_2O) = 1,8 \cdot 10^{-5}$  моль/л

Відповідь:  $pH = 9,56$

**6.2** Обчислити  $pH$  фосфатного буферного розчину, що складається з 150мл розчину натрій дигідрогенфосфату з  $c_0(NaH_2PO_4) = 0,2$  моль/л та 250мл розчину натрій гідрогенфосфату з  $c_0(Na_2HPO_4) = 0,1$  моль/л.

$K_d(H_2PO_4^-) = 6,2 \cdot 10^{-8}$  моль/л

Відповідь:  $pH = 7,12$

**6.3** Обчислити  $pH$  ацетатного буферного розчину, приготованого з 250мл розчину натрій ацетату з  $c_0(CH_3COONa) = 0,1$  моль/л і 300мл розчину оцтової кислоти з  $c_0(CH_3COOH) = 0,15$  моль/л.  $K_d(CH_3COOH) = 1,75 \cdot 10^{-5}$  моль/л

Відповідь:  $pH = 4,5$

**6.4** Обчислити об'єми розчинів оцтової кислоти і натрій ацетату з молярними концентраціями  $c_0(CH_3COOH) = 0,1$  моль/л і  $c_0(CH_3COONa) = 0,1$  моль/л, а також води, які необхідно змішати, щоб отримати 1,4л ацетатного буферного розчину з молярною концентрацією 0,05 моль/л та  $pH = 4,36$ .  $K_d(CH_3COOH) = 1,75 \cdot 10^{-5}$  моль/л

У відповіді об'єми компонентів буфера виразити в літрах.

Відповідь:  $V_0(CH_3COOH) = 0,5$ л  
 $V_0(CH_3COONa) = 0,2$ л  
 $V(H_2O) = 0,7$ л

**6.5** Обчислити об'єми розчинів натрій гідрогенфосфату з  $c_0(Na_2HPO_4) = 0,04$  моль/л та натрій дигідрогенфосфату з  $c_0(NaH_2PO_4) = 0,04$  моль/л, а також води, які необхідно змішати, щоб отримати 750мл фосфатного буферного розчину з молярною концентрацією 0,02 моль/л та  $pH = 7,8$ .

$K_d(H_2PO_4^-) = 6,2 \cdot 10^{-8}$  моль/л

У відповіді об'єми компонентів буфера виразити в мілілітрах.

Відповідь:  $V_0(NaH_2PO_4) = 75$ мл  
 $V_0(Na_2HPO_4) = 300$ мл  
 $V(H_2O) = 375$ мл

**6.6** Обчислити об'єми розчинів натрій гідрогенфосфату та натрій дигідрогенфосфату з концентраціями  $c_0(Na_2HPO_4) = 0,03$  моль/л і  $c_0(NaH_2PO_4) = 0,03$  моль/л, необхідні для приготування 600мл фосфатного буферного розчину з  $pH = 6,9$ .  $K_d(H_2PO_4^-) = 6,2 \cdot 10^{-8}$  моль/л

У відповіді об'єми компонентів буфера виразити в мілілітрах.

Відповідь:  $V_0(NaH_2PO_4) = 400$ мл

$$V_0(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 200\text{мл}$$

**6.7** Обчислити об'єми розчину амоній хлориду і розчину амоніаку з молярними концентраціями  $c_0(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,01$  моль/л і  $c_0(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 0,01$  моль/л, які потрібно змішати, щоб приготувати 1500мл амонійного буферного розчину з  $pH = 9,56$ .  $K_d(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$  моль/л  
У відповіді об'єми компонентів буфера виразити в літрах.

$$\text{Відповідь: } V_0(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1\text{л} \\ V_0(\text{NH}_4\text{Cl}) = 0,5\text{л}$$

**6.8** Розрахувати ємність буферного розчину за кислотою, якщо при титруванні 10,0мл розчину витрачено 5,3мл розчину хлоридної кислоти з молярною концентрацією  $0,1$  моль/л на зменшення  $pH$  від 4,1 до 3,3?

$$\text{Відповідь: } V_k = 66,25\text{ммоль/л}$$

**6.9** Розрахувати буферну ємність розчину за лугом, якщо при титруванні 20,0мл цього розчину для зміни  $pH$  від 7,1 до 8,3 витрачено 7,4мл розчину калій гідроксиду з молярною концентрацією 0,02 моль/л?

$$\text{Відповідь: } V_l = 6,17\text{ммоль/л}$$

## 6. Колігативні властивості розчинів

**Таблиця 8. Основні параметри, що використовуються для характеристики колігативних властивостей розчинів**

| Параметр  | Позначення,<br>розрахункова формула  | Змісто́ве значення   |
|---|--|--|
| Осмотичний тиск   | $\pi = c \cdot (x) \cdot R \cdot T$ $\pi = i \cdot c(x) \cdot R \cdot T$ <p>(<i>i</i> вводиться в формулу для розчинів електролітів)</p>   | Зовнішній тиск на розчин, при якому встановлюється осмотична рівновага (крізь напівпроникну мембрану) між розчином і чистим розчинником.   |
| Ізотонічний коефіцієнт  | $i;$ $i = 1 + \alpha \cdot (n - 1)$ <p>де<br/><i>α</i> - ступінь дисоціації;<br/><i>n</i>-кількість іонів, на які розпадається даний електроліт</p>  | Відношення загального числа частинок (молекул та іонів) розчиненої речовини в розчині до вихідного числа молекул речовини, враховує міжмолекулярні взаємодії в реальних розчинах.  |
| Підвищення температури кипіння ( $T_k$ ) або зниження температури замерзання ( $T_z$ ) ідеальних, або нескінченно розведених, розчинів нелетких речовин | $\Delta T_z = T_{z(p-ка)} - T_{z(p-ну)}$ $\Delta T_z = K_k \cdot b(x)$ $\Delta T_z = i \cdot K_k \cdot b(x)$<br>$\Delta T_k = T_{k(p-ну)} - T_{k(p-ка)}$ $\Delta T_k = K_e \cdot b(x)$ $\Delta T_k = i \cdot K_e \cdot b(x)$ <p>(<i>i</i> вводиться в формулу для розчинів електролітів)</p> | Прямо пропорційне моляльності речовини в розчині   |
| Ебуліоскопічна та кріоскопічна константи  | $K_e, K_k$   | Чисельно рівні підвищенню температури кипіння або, відповідно, зниженню температури замерзання одномоляльного ідеального розчину нелеткої речовини порівняно з чистим розчинником. Їх значення залежить лише від природи розчинника і не залежить від природи розчиненої речовини. |



## Приклади виконання вправ

### Приклад 1

В розчині з якою молярною концентрацією барій хлориду ізотонічний коефіцієнт  $BaCl_2$  найбільший?

- а)  $c(BaCl_2) = 0,3 \text{ моль/л}$
- б)  $c(BaCl_2) = 0,1 \text{ моль/л}$
- в)  $c(BaCl_2) = 0,01 \text{ моль/л}$
- г)  $c(BaCl_2) = 0,005 \text{ моль/л}$

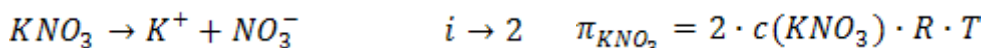
*Розв'язок:*

Максимальне значення ізотонічного коефіцієнту можливе в найбільш розведених розчинах. Отже, ізотонічний коефіцієнт  $BaCl_2$  буде найбільший в розчині з молярною концентрацією  $c(BaCl_2) = 0,005 \text{ моль/л}$ .

### Приклад 2

Яким буде розчин калій нітрату відносно розчину кальцій нітрату, якщо молярні концентрації електролітів однакові?

*Розв'язок:*



Якщо молярні концентрації розчинів однакові, то осмотичний тиск розчину  $KNO_3$  менший, ніж осмотичний тиск розчину  $Ca(NO_3)_2$ :

якщо  $\begin{cases} c(KNO_3) = c(Ca(NO_3)_2) \\ 2 < 3 \end{cases}$ , то  $2 \cdot c(KNO_3) \cdot R \cdot T < 3 \cdot c(Ca(NO_3)_2) \cdot R \cdot T$ ,

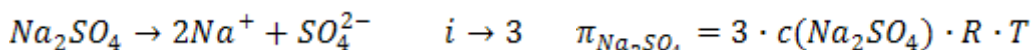
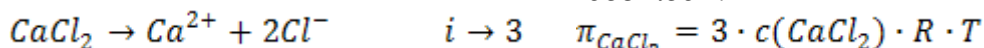
тобто  $\pi_{KNO_3} < \pi_{Ca(NO_3)_2}$

Отже, розчин  $KNO_3$  гіпотонічний відносно розчину  $Ca(NO_3)_2$ .

### Приклад 3

Яким буде розчин кальцій хлориду відносно розчину натрій сульфату, якщо молярні концентрації електролітів однакові?

*Розв'язок:*

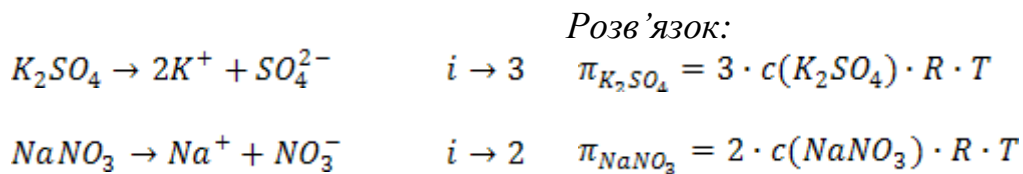


Кальцій хлорид та натрій сульфат при дисоціації утворюють однакову кількість частинок. Якщо молярні концентрації розчину  $CaCl_2$  та розчину  $Na_2SO_4$  рівні, то кількості частинок в їх розчинах також будуть рівні, таким чином, тиски цих розчинів також рівні. Отже, розчин  $CaCl_2$  ізотонічний відносно розчину  $Na_2SO_4$ .

### Приклад 4

Яким буде розчин калій сульфату відносно розчину натрій нітрату, якщо молярні концентрації електролітів однакові?





Якщо молярні концентрації розчину  $K_2SO_4$  та розчину  $NaNO_3$  рівні, то осмотичний тиск розчину  $K_2SO_4$  більший, ніж осмотичний тиск розчину  $NaNO_3$ :

якщо  $\begin{cases} c(K_2SO_4) = c(NaNO_3) \\ 3 > 2 \end{cases}$ , то  $3 \cdot c(K_2SO_4) \cdot R \cdot T > 2 \cdot c(NaNO_3) \cdot R \cdot T$

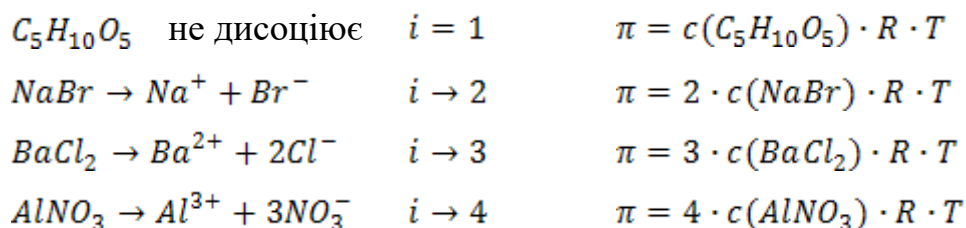
тобто  $\pi_{K_2SO_4} > \pi_{NaNO_3}$

Отже, розчин  $K_2SO_4$  гіпертонічний відносно розчину  $NaNO_3$ .

### Приклад 5

Розчини ксилози, натрій броміду, барій хлориду та алюміній нітрату мають однакові молярні концентрації. Який з цих розчинів має найменший осмотичний тиск при однаковій температурі?

*Розв'язок:*

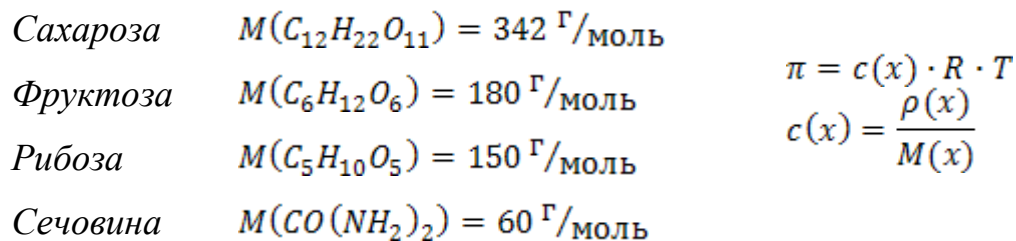


При однакових температурі та молярних концентраціях речовин найменшу молярну концентрацію частинок (молекул та іонів) та, відповідно, найменший осмотичний тиск має розчин речовини з найменшим ізотонічним коефіцієнтом, тобто розчин *ксилози* ( $i = 1$ ).

### Приклад 6

Розчини сахарози, фруктози, рибози та сечовини мають однакові масові концентрації. Який з цих розчинів має найбільший осмотичний тиск?

*Розв'язок:*



Найбільший осмотичний тиск буде в розчині з найбільшою молярною концентрацією речовини. З формули, що зв'язує масову концентрацію з молярною, видно, що при однакових значеннях  $\rho(x)$  розчинів,  $c(x)$  буде мати найбільше значення в розчині речовини з найменшою молярною масою. Отже, найбільший осмотичний тиск буде в розчині *сечовини*.

### Приклад 7

Якщо розчини глюкози, натрій нітрату, кальцій хлориду, алюміній сульфату ізотонічні, то молярна концентрація якої речовини найменша?

Розв'язок:

$$C_6H_{12}O_6 \quad \text{не дисоціює} \quad i = 1 \quad \pi = c \cdot (C_6H_{12}O_6) \cdot R \cdot T \quad c(C_6H_{12}O_6) = \frac{\pi}{R \cdot T}$$

$$NaNO_3 \rightarrow Na^+ + NO_3^- \quad i \rightarrow 2 \quad \pi = 2 \cdot c(NaNO_3) \cdot R \cdot T \quad c(NaNO_3) = \frac{\pi}{2 \cdot R \cdot T}$$

$$CaCl_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2Cl^- \quad i \rightarrow 3 \quad \pi = 3 \cdot c(CaCl_2) \cdot R \cdot T \quad c(CaCl_2) = \frac{\pi}{3 \cdot R \cdot T}$$

$$Al_2(SO_4)_3 \rightarrow 2Al^{3+} + 3SO_4^{2-} \quad i \rightarrow 5 \quad \pi = 5 \cdot c(Al_2(SO_4)_3) \cdot R \cdot T \quad c(Al_2(SO_4)_3) = \frac{\pi}{5 \cdot R \cdot T}$$

Якщо розчини ізотонічні (значення  $\pi$  рівні), то найменша молярна концентрація буде в розчині речовини з найбільшим ізотонічним коефіцієнтом – розчин *алюміній сульфату* ( $i \rightarrow 5$ ).

### Приклад 8

Для якого з водних розчинів температура замерзання найнижча:

- 10г *KBr* на 1000г води;
- 10г *NaBr* на 1000г води;
- 10г *LiBr* на 1000г води?

Розв'язок:

Найнижча температура замерзання  $T_{з(p-ny)}$  буде у розчину з найбільшою різницею температур замерзання розчину та розчинника  $\Delta T_з$ :

$$\Delta T_з = T_{з(p-ka)} - T_{з(p-ny)}$$

$$T_{з(p-ny)} = T_{з(p-ka)} - \Delta T_з$$

Різниця температур замерзання розчину та розчинника тим більша, чим більша в розчині кількість частинок розчиненої речовини:

$$\Delta T_з = i \cdot K_x \cdot b(x)$$

Усі перелічені речовини є бінарними електролітами і значення ізотонічного коефіцієнту для всіх будуть однаковими ( $i \rightarrow 2$ ). В такому випадку кількості частинок в розчині та, відповідно, величини  $\Delta T_з$ , будуть залежати лише від молярностей  $b(x)$  розчину:

$$b(x) = \frac{n(x)}{m(p-ka)} = \frac{m(x)}{M(x) \cdot m(p-ka)}$$

При однакових значеннях  $m(x)$  и  $m(p-ka)$  найбільше значення  $b(x)$  буде в розчині речовини з найменшою молярною масою  $M(x)$ .

$$M(KBr) = 119 \text{ г/моль}$$

$$M(NaBr) = 103 \text{ г/моль}$$

$$M(LiBr) = 87 \text{ г/моль}$$

Отже, найнижча температура замерзання буде у розчину літій броміду.

### Приклад 9

Розчини натрій хлориду, алюміній хлориду, калій хлориду, кальцій хлориду замерзають при однакових температурах. Моляльність якого розчину найменша?

Розв'язок:

$$\begin{array}{llll}
 \text{NaCl} & i \rightarrow 2 & \Delta T_3 = 2 \cdot K_K \cdot b(\text{NaCl}) & b(\text{NaCl}) = \frac{\Delta T_3}{2 \cdot K_K} \\
 \text{AlCl}_3 & i \rightarrow 4 & \Delta T_3 = 4 \cdot K_K \cdot b(\text{AlCl}_3) & b(\text{AlCl}_3) = \frac{\Delta T_3}{4 \cdot K_K} \\
 \text{KCl} & i \rightarrow 2 & \Delta T_3 = 2 \cdot K_K \cdot b(\text{KCl}) & b(\text{KCl}) = \frac{\Delta T_3}{2 \cdot K_K} \\
 \text{CaCl}_2 & i \rightarrow 3 & \Delta T_3 = 3 \cdot K_K \cdot b(\text{CaCl}_2) & b(\text{CaCl}_2) = \frac{\Delta T_3}{3 \cdot K_K}
 \end{array}$$

При однакових температурах замерзання розчинів найменша моляльність буде в розчині того електроліту, для якого можливе найбільше значення ізотонічного коефіцієнта. З перелічених електролітів таким є *алюміній хлорид* ( $i \rightarrow 4$ ).

### Приклад 10

Температура кипіння якого з наведених розчинів є найвищою?

- 10г  $KNO_3$  на 1000г води;
- 10г  $NaNO_3$  на 1000г води;
- 10г  $LiNO_3$  на 1000г води.

Розв'язок:

Найвища температура кипіння  $T_{к(p-ну)}$  буде у розчина з найбільшою різницею температур кипіння розчину та розчинника  $\Delta T_k$ :

$$\begin{aligned}
 \Delta T_k &= T_{к(p-ну)} - T_{к(p-ка)} \\
 T_{к(p-ну)} &= T_{з(p-ка)} + \Delta T_k
 \end{aligned}$$

Різниця температур кипіння розчину та розчинника тим більша, чим більша в розчині кількість частинок розчиненої речовини:

$$\Delta T_k = i \cdot K_e \cdot b(x)$$

Всі перелічені речовини є бінарними електролітами і значення ізотонічного коефіцієнта для всіх будуть однаковими ( $i \rightarrow 2$ ). В такому випадку кількості частинок в розчині та, відповідно, величини  $\Delta T_k$ , будуть залежати лише від моляльностей  $b(x)$  розчинів:

$$b(x) = \frac{n(x)}{m(p-ка)} = \frac{m(x)}{M(x) \cdot m(p-ка)}$$

При однакових значеннях  $m(x)$  та  $m(p-ка)$  найбільше значення  $b(x)$  буде в розчині речовини з найменшою молярною масою  $M(x)$ .

$$\begin{aligned}
 M(KNO_3) &= 101 \text{ г/моль} \\
 M(NaNO_3) &= 85 \text{ г/моль} \\
 M(LiNO_3) &= 69 \text{ г/моль}
 \end{aligned}$$

Отже, найвища температура кипіння буде у розчину літій нітрату.

### Приклад 11

Розчини фруктози, натрій хлориду, барій хлориду, та алюміній хлориду мають однакові молярності. Який з цих розчинів замерзає при найвищій температурі?

Розв'язок:

$$\begin{array}{llll}
 C_6H_{12}O_6 & i = 1 & \Delta T_3 = K_K \cdot b(C_6H_{12}O_6) & \Delta T_3 = T_{3(p-ка)} - T_{3(p-ну)} \\
 NaCl & i \rightarrow 2 & \Delta T_3 = 2 \cdot K_K \cdot b(NaCl) & \\
 BaCl_2 & i \rightarrow 3 & \Delta T_3 = 3 \cdot K_K \cdot b(BaCl_2) & \\
 AlCl_3 & i \rightarrow 4 & \Delta T_3 = 4 \cdot K_K \cdot b(AlCl_3) & 
 \end{array}$$

Найвища температура замерзання  $T_{3(p-ну)}$  буде у розчину з найменшою різницею температур замерзання розчину і розчинника  $\Delta T_3$ . У розчинів з однаковими молярностями  $b(x)$  найменше значення  $\Delta T_3$  буде у розчину речовини з найменшим значенням ізотонічного коефіцієнта – розчину *фруктози*.

### Приклади розв'язання задач

#### Приклад 12

Обчислити температуру замерзання розчину, в якому на 200г води припадає 9,3г ксилози. У відповіді температуру виразити за шкалою Цельсія.

$$T_{3(H_2O)} = 273,15K ; K_K = 1,86 \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}} ; M(C_5H_{10}O_5) = 150 \text{ г/моль.}$$

Дано:

$$m(H_2O) = 200\text{г}$$

$$m(C_5H_{10}O_5) = 9,3\text{г}$$

$$M(C_5H_{10}O_5) = 150 \text{ г/моль}$$

$$T_{3(H_2O)} = 273,15K$$

$$K_K = 1,86 \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}} = 1,86 \cdot 10^3 \frac{\text{г}\cdot\text{К}}{\text{моль}}$$

Знайти:

$$t_{3(p-ну)} - ?$$

Розв'язок:

- Обчислити різницю температури замерзання розчину ксилози та температури замерзання води  $\Delta T_3$ , використовуючи її залежність від молярності розчину:

$$\Delta T_3 = K_K \cdot b(x) = K_K \cdot \frac{m(C_5H_{10}O_5)}{M(C_5H_{10}O_5) \cdot m(H_2O)}$$

$$\Delta T_3 = 1,86 \cdot 10^3 \frac{\text{г}\cdot\text{К}}{\text{моль}} \cdot \frac{9,3\text{г}}{150 \text{ г/моль} \cdot 200\text{г}} = 0,58\text{К}$$

- Обчислити температуру замерзання розчину ксилози  $T_{3(p-ну)}$ :

$$\Delta T_3 = T_{3(H_2O)} - T_{3(p-ну)}$$

$$T_{3(p-ну)} = T_{3(H_2O)} - \Delta T_3 = 273,15\text{К} - 0,58\text{К} = 272,57\text{К}$$

- Перевести температуру в шкалу Цельсія:

$$t_{3(p-ну)} = T_{3(p-ну)} - 273,15 = 272,57 - 273,15 = -0,58^\circ\text{C}$$

**Відповідь:**  $t_{3(p-ну)} = -0,58^\circ\text{C}$

### Приклад 13

Обчислити молярну масу неелектроліту якщо розчин, який містить 50,1г цієї речовини в 750г води замерзає при  $-1,35^{\circ}\text{C}$ .  $T_{з(\text{H}_2\text{O})} = 273,15\text{K}$ ;  $K_{\text{к}} = 1,86 \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}}$

**Дано:**

$$m(x) = 50,1\text{г}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 750\text{г}$$

$$t_{з(\text{р-ну})} = -1,35^{\circ}\text{C}$$

$$T_{з(\text{H}_2\text{O})} = 273,15\text{K}$$

$$K_{\text{к}} = 1,86 \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}} = 1,86 \cdot 10^3 \frac{\text{г}\cdot\text{К}}{\text{моль}}$$

**Знайти:**

$$M(x) - ?$$

**Розв'язок:**

- 1) Перевести значення температури замерзання розчину зі шкали Цельсія в термодинамічну шкалу температур:

$$T_{з(\text{р-ну})} = t_{з(\text{р-ну})} + 273,15 = -1,35 + 273,15 = 271,8(\text{K})$$

- 2) Розрахувати різницю температури замерзання розчину та температури замерзання води  $\Delta T_{з}$ :

$$\Delta T_{з} = T_{з(\text{H}_2\text{O})} - T_{з(\text{р-ну})} = 273,15\text{K} - 271,8\text{K} = 1,35\text{K}$$

- 3) Розрахувати молярну масу речовини, використовуючи залежність різниці температури замерзання від молярності розчину:

$$\Delta T_{з} = K_{\text{к}} \cdot b(x) = K_{\text{к}} \cdot \frac{m(x)}{M(x) \cdot m(\text{H}_2\text{O})} \Rightarrow \boxed{M(x) = \frac{K_{\text{к}} \cdot m(x)}{\Delta T_{з} \cdot m(\text{H}_2\text{O})}}$$

$$M(x) = \frac{1,86 \cdot 10^3 \frac{\text{г}\cdot\text{К}}{\text{моль}} \cdot 50,1\text{г}}{1,35\text{К} \cdot 750\text{г}} = 92 \text{ г/моль}$$

**Відповідь:**  $M(x) = 92 \text{ г/моль}$

### Приклад 14

В 500 г води розчинили 100г рибози. При якій температурі закипить цей розчин? У відповіді температуру виразити за шкалою Цельсія.

$$T_{\text{к}(\text{H}_2\text{O})} = 373,15\text{K}; K_{\text{е}} = 0,52 \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}}; M(\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5) = 150 \text{ г/моль}$$

**Дано:**

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 500\text{г}$$

$$m(\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5) = 100\text{г}$$

$$M(\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5) = 150 \text{ г/моль}$$

$$T_{\text{к}(\text{H}_2\text{O})} = 373,15\text{K}$$

$$K_{\text{е}} = 0,52 \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}} = 0,52 \cdot 10^3 \frac{\text{г}\cdot\text{К}}{\text{моль}}$$

**Знайти:**

$$T_{\text{к}(\text{р-ну})} - ?$$

**Розв'язок:**

- 1) Обчислити різницю температури кипіння розчину рибози та температури кипіння води  $\Delta T_{\text{к}}$ , використовуючи її залежність від молярності розчину:

$$\Delta T_K = K_e \cdot b(x) = K_e \cdot \frac{m(C_5H_{10}O_5)}{M(C_5H_{10}O_5) \cdot m(H_2O)}$$

$$\Delta T_K = 0,52 \cdot 10^3 \frac{\text{г} \cdot \text{К}}{\text{моль}} \cdot \frac{100\text{г}}{150 \text{г/моль} \cdot 500\text{г}} = 0,69\text{К}$$

- 2) Обчислити температуру кипіння розчину рибози  $T_{\text{к(р-ну)}}$ :

$$\Delta T_K = T_{\text{к(р-ну)}} - T_{\text{к}(H_2O)}$$

$$T_{\text{к(р-ну)}} = T_{\text{к}(H_2O)} + \Delta T_K = 373,15\text{К} + 0,69\text{К} = 373,99\text{К}$$

- 3) Перевести температуру в шкалу Цельсія:

$$t_{\text{к(р-ну)}} = T_{\text{к(р-ну)}} - 273,15 = 373,99 - 273,15 = 100,84^\circ\text{С}$$

**Відповідь:**  $t_{\text{к(р-ну)}} = 100,84^\circ\text{С}$

### Приклад 15

Розчин, в якому розчинено 45г неелектроліту в 250г води, кипить при  $100,52^\circ\text{С}$ . Обчислити молярну масу розчиненої речовини.  $T_{\text{к}(H_2O)} = 373,15\text{К}$  ;

$$K_e = 0,52 \frac{\text{кг} \cdot \text{К}}{\text{моль}}$$

**Дано:**

$$m(x) = 45\text{г}$$

$$m(H_2O) = 250\text{г}$$

$$t_{\text{к(р-ну)}} = 100,52^\circ\text{С}$$

$$T_{\text{к}(H_2O)} = 373,15\text{К}$$

$$K_e = 0,52 \frac{\text{кг} \cdot \text{К}}{\text{моль}} = 0,52 \cdot 10^3 \frac{\text{г} \cdot \text{К}}{\text{моль}}$$

**Знайти:**

$$M(x) - ?$$

**Розв'язок:**

- 1) Перевести значення температури кипіння розчину зі шкали Цельсія в термодинамічну шкалу температур:

$$T_{\text{к(р-ну)}} = t_{\text{к(р-ну)}} + 273,15 = 100,52 + 273,15 = 373,67(\text{К})$$

- 2) Обчислити різницю температури кипіння розчину та температури кипіння води  $\Delta T_K$ :

$$\Delta T_K = T_{\text{к(р-ну)}} - T_{\text{к}(H_2O)} = 373,67\text{К} - 373,15\text{К} = 0,52\text{К}$$

- 3) Обчислити молярну масу речовини, використовуючи залежність різниці температури кипіння від молярності розчину:

$$\Delta T_K = K_e \cdot b(x) = K_e \cdot \frac{m(x)}{M(x) \cdot m(H_2O)} \Rightarrow \boxed{M(x) = \frac{K_e \cdot m(x)}{\Delta T_K \cdot m(H_2O)}}$$

$$M(x) = \frac{0,52 \cdot 10^3 \frac{\text{г} \cdot \text{К}}{\text{моль}} \cdot 45\text{г}}{0,52\text{К} \cdot 250\text{г}} = 180 \text{г/моль}$$

**Відповідь:**  $M(x) = 180 \text{г/моль}$



### Приклад 16

Визначити температуру кипіння та температуру замерзання розчину, що містить 0,25моль нітратної кислоти в 2,5л води, якщо ізотонічний коефіцієнт дорівнює 1,88. Температуру виразити за шкалою Цельсія.

$$T_{з(H_2O)} = 273,15K ; K_K = 1,86 \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}} ; T_{к(H_2O)} = 373,15K ; K_e = 0,52 \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}} .$$

Дано:

$$n(HNO_3) = 0,25\text{моль}$$

$$V(H_2O) = 2,5\text{л}$$

$$i = 1,88$$

$$T_{з(H_2O)} = 273,15K$$

$$T_{к(H_2O)} = 373,15K$$

$$K_K = 1,86 \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}}$$

$$K_e = 0,52 \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}}$$

$$K_e = 0,52 \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}}$$

Знайти:

$$t_{з(p-ну)} - ?$$

$$t_{к(p-ну)} - ?$$

Розв'язок:

$$1) m(H_2O) = V(H_2O) \cdot \rho(H_2O) = 2,5\text{л} \cdot 1 \frac{\text{кг}}{\text{л}} = 2,5\text{кг}$$

- 2) Обчислити різницю температури замерзання розчину нітратної кислоти та температури замерзання води  $\Delta T_з$ , використовуючи її залежність від концентрації частинок в розчині:

$$\Delta T_з = i \cdot K_K \cdot b(x) = i \cdot K_K \cdot \frac{n(HNO_3)}{m(H_2O)}$$

$$\Delta T_з = 1,88 \cdot 1,86 \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}} \cdot \frac{0,25\text{моль}}{2,5\text{кг}} = 0,35K$$

- 3) Обчислити температуру замерзання розчину нітратної кислоти  $T_{з(p-ну)}$ :

$$\Delta T_з = T_{з(H_2O)} - T_{з(p-ну)}$$

$$T_{з(p-ну)} = T_{з(H_2O)} - \Delta T_з = 273,15K - 0,35K = 272,8K$$

Перевести температуру в шкалу Цельсія:

$$t_{з(p-ну)} = T_{з(p-ну)} - 273,15 = 272,8 - 273,15 = -0,35^\circ\text{C}$$

- 3) Обчислити різницю температури кипіння розчину нітратної кислоти та температури кипіння води  $\Delta T_к$ , використовуючи її залежність від концентрації частинок в розчині:

$$\Delta T_к = i \cdot K_e \cdot b(HNO_3) = i \cdot K_e \cdot \frac{n(HNO_3)}{m(H_2O)}$$

$$\Delta T_к = 1,88 \cdot 0,52 \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}} \cdot \frac{0,25\text{моль}}{2,5\text{кг}} = 0,1K$$

- 4) Обчислити температуру кипіння розчину нітратної кислоти  $T_{к(p-ну)}$ :

$$\Delta T_к = T_{к(p-ну)} - T_{к(H_2O)}$$



$$T_{\text{к(р-ну)}} = T_{\text{к(H}_2\text{O)}} + \Delta T_{\text{к}} = 373,15\text{K} + 0,1\text{K} = 373,25\text{K}$$

Перевести температуру в шкалу Цельсія:

$$t_{\text{к(р-ну)}} = T_{\text{к(р-ну)}} - 273,15 = 373,25 - 273,15 = 100,1^\circ\text{C}$$

**Відповідь:**  $t_{\text{з(р-ну)}} = -0,35^\circ\text{C}$  ;  $t_{\text{к(р-ну)}} = 100,1^\circ\text{C}$

### Приклад 17

Визначити ізотонічний коефіцієнт натрій хлориду в розчині, якщо його моляльність в розчині становить  $1 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{КГ}}$ , а температура кипіння дорівнює  $100,94^\circ\text{C}$ .  $T_{\text{к(H}_2\text{O)}} = 373,15\text{K}$  ;  $K_e = 0,52 \frac{\text{КГ}\cdot\text{К}}{\text{МОЛЬ}}$ .

**Дано:**

$$b(\text{NaCl}) = 1 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{КГ}}$$

$$t_{\text{к(р-ну)}} = 100,94^\circ\text{C}$$

$$K_e = 0,52 \frac{\text{КГ}\cdot\text{К}}{\text{МОЛЬ}}$$

$$T_{\text{к(H}_2\text{O)}} = 373,15\text{K}$$

**Знайти:**

$$i - ?$$

### Розв'язок:

- 1) Перевести значення температури кипіння розчину зі шкали Цельсія в термодинамічну шкалу температур:

$$T_{\text{к(р-ну)}} = t_{\text{к(р-ну)}} + 273,15 = 100,94 + 273,15 = 374,09(\text{K})$$

- 2) Обчислити різницю температури кипіння розчину та температури кипіння води  $\Delta T_{\text{к}}$ :

$$\Delta T_{\text{к}} = T_{\text{к(р-ну)}} - T_{\text{з(H}_2\text{O)}} = 374,09\text{K} - 373,15\text{K} = 0,94\text{K}$$

- 3) Записати рівняння, що виражає залежність різниці температур кипіння розчину електроліту та розчинника від концентрації частинок розчиненої речовини:

$$\Delta T_{\text{к}} = i \cdot K_e \cdot b(\text{NaCl})$$

Виразити з цього рівняння ізотонічний коефіцієнт:

$$i = \frac{\Delta T_{\text{к}}}{K_e \cdot b(\text{NaCl})}$$

$$i = \frac{0,94\text{K}}{0,52 \frac{\text{КГ}\cdot\text{К}}{\text{МОЛЬ}} \cdot 1 \frac{\text{МОЛЬ}}{\text{КГ}}} = 1,81$$

**Відповідь:**  $i = 1,81$

### Приклад 18

Визначити осмотичний тиск розчину, який містить 30г гліцерину в 250мл розчину при  $25^\circ\text{C}$ .  $R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л}\cdot\text{Па}}{\text{МОЛЬ}\cdot\text{К}}$  ;  $M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 92 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}$ .

**Дано:**

$$m(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 30\text{г}$$

**Знайти:**

$$\pi - ?$$

$$V(p - \text{ну}) = 250 \text{ мл} = 0,25 \text{ л}$$

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$M(C_3H_8O_3) = 92 \text{ г/моль}$$

$$t = 25^\circ\text{C}$$

### Розв'язок:

- 1) Перевести значення температури зі шкали Цельсія в термодинамічну шкалу температур:

$$T = t + 273,15 = 25 + 273,15 = 298,15 \text{ (K)}$$

- 2) Записати рівняння Вант-Гоффа, виразивши молярну концентрацію через масу речовини та об'єм розчину:

$$\pi = c(C_3H_8O_3) \cdot R \cdot T = \frac{m(C_3H_8O_3)}{M(C_3H_8O_3) \cdot V(p - \text{ну})} \cdot R \cdot T$$

Розрахувати осмотичний тиск розчину:

$$\pi = \frac{30 \text{ г}}{92 \text{ г/моль} \cdot 0,25 \text{ л}} \cdot 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 298,15 \text{ К} = 3232 \cdot 10^3 \text{ Па} = 3232 \text{ кПа}$$

**Відповідь:**  $\pi = 3232 \text{ кПа}$

### Приклад 19

Встановити, яким буде розчин глюкози з масовою часткою  $C_6H_{12}O_6$  10% відносно плазми крові (ізо-, гіпо- або гіпертонічним) при температурі  $37^\circ\text{C}$ . Осмотичний тиск плазми крові в нормі дорівнює 740 – 780 кПа. Густина розчину глюкози  $1,04 \text{ г/мл}$ ;  $M(C_6H_{12}O_6) = 180 \text{ г/моль}$ ;  $R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ .

**Дано:**

$$\omega(C_6H_{12}O_6) = 10\% = 0,10$$

$$t = 37^\circ\text{C}$$

$$\rho(p - \text{ну}) = 1,04 \text{ г/мл}$$

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$M(C_6H_{12}O_6) = 180 \text{ г/моль}$$

**Знайти:**

$$\pi - ?$$

### Розв'язок:

- 1) Перевести значення температури з шкали Цельсія в термодинамічну шкалу температур:

$$T = t + 273,15 = 37 + 273,15 = 310,15 \text{ (K)}$$

- 2) Записати рівняння Вант-Гоффа, виразивши молярну концентрацію через масову частку:

$$\pi = c(C_6H_{12}O_6) \cdot R \cdot T = \frac{\omega(C_6H_{12}O_6) \cdot \rho(p - \text{ра})}{M(C_6H_{12}O_6)} \cdot R \cdot T$$

Розрахувати осмотичний тиск розчину:

$$\pi = \frac{0,10 \cdot 1,04 \text{ г/мл}}{180 \text{ г/моль}} \cdot 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 310,15 \text{ К} = 1489 \text{ кПа}$$

**Відповідь:**  $\pi = 1489 \text{ кПа} \Rightarrow$  10%-ий розчин глюкози є гіпертонічним

відносно плазми крові.

### Приклад 20

Розрахувати осмотичний тиск розчину калій хлориду з молярною концентрацією  $0,01 \text{ моль/л}$  та ізотонічним коефіцієнтом 1,96 при температурі  $37^\circ\text{C}$ .  $R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

**Дано:**

$$c(\text{KCl}) = 0,01 \text{ моль/л}$$

$$i = 1,96$$

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$t = 37^\circ\text{C}$$

**Знайти:**

$$\pi - ?$$

**Розв'язок:**

- 1) Перевести значення температури з шкали Цельсія в термодинамічну шкалу температур:

$$T = t + 273,15 = 37 + 273,15 = 310,15 \text{ (K)}$$

- 2) Записати рівняння Вант-Гоффа для розчинів електролітів:

$$\pi = i \cdot c(\text{KCl}) \cdot R \cdot T$$

Розрахувати осмотичний тиск розчину:

$$\pi = 1,96 \cdot 0,01 \text{ моль/л} \cdot 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 310,15 \text{ K} = 50,5 \text{ кПа}$$

**Відповідь:**  $\pi = 50,5 \text{ кПа}$

### Приклад 21

Визначити молекулярну масу глобулярного білка, якщо осмотичний тиск розчину, що містить 25 г/л білка, дорівнює 3,2кПа при температурі  $20^\circ\text{C}$ .

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

**Дано:**

$$\rho(x) = 25 \text{ г/л}$$

$$\pi = 3,2 \text{ кПа} = 3,2 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$t = 20^\circ\text{C}$$

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

**Знайти:**

$$M(x) - ?$$

**Розв'язок:**

- 1) Перевести значення температури зі шкали Цельсія в термодинамічну шкалу температур:

$$T = t + 273,15 = 20 + 273,15 = 293,15 \text{ (K)}$$

- 2) Записати рівняння Вант-Гоффа, виразивши молярну концентрацію через масову концентрацію:

$$\pi = c(x) \cdot R \cdot T = \frac{\rho(x)}{M(x)} \cdot R \cdot T$$

Виразити з цього рівняння молярну масу білка:

$$M(x) = \frac{\rho(x) \cdot R \cdot T}{\pi}$$

$$M(x) = \frac{25 \text{ г/л} \cdot 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 293,15\text{К}}{3,2 \cdot 10^3 \text{ Па}} = 19032 \text{ г/моль}$$

**Відповідь:**  $M(x) = 19032 \text{ г/моль}$

### Приклад 22

Обчислити молярну масу неелектроліту, якщо при розчиненні 20г цієї речовини у воді отримали 500мл розчину, осмотичний тиск якого при температурі 25°C дорівнює 412,94кПа.  $R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

**Дано:**

$$m(x) = 20\text{г}$$

$$\pi = 412,94\text{кПа} = 412,94 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$V(p - \text{ну}) = 500\text{мл} = 0,5\text{л}$$

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$t = 25^\circ\text{C}$$

**Знайти:**

$$M(x) - ?$$

**Розв'язок:**

- 1) Перевести значення температури зі шкали Цельсія в термодинамічну шкалу температур:

$$T = t + 273,15 = 25 + 273,15 = 298,15 \text{ (K)}$$

- 2) Записати рівняння Вант-Гоффа :

$$\pi = c(x) \cdot R \cdot T = \frac{m(x)}{M(x) \cdot V(p - \text{ну})} \cdot R \cdot T$$

Виразити молярну масу речовини:

$$M(x) = \frac{m(x)}{\pi \cdot V(p - \text{ну})} \cdot R \cdot T$$

$$M(x) = \frac{20\text{г}}{412,94 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 0,5\text{л}} \cdot 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 298,15\text{К} = 240 \text{ г/моль}$$

**Відповідь:**  $M(x) = 240 \text{ г/моль}$

### Приклад 23

Яка маса сахарози міститься в 0,5л розчину, якщо осмотичний тиск розчину при температурі 30°C дорівнює 294,6кПа?

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}}; M(C_{12}H_{22}O_{11}) = 342 \text{ г/моль}$$

**Дано:**

$$\pi = 294,6\text{кПа} = 294,6 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$V(p - \text{ну}) = 500\text{мл} = 0,5\text{л}$$

**Знайти:**

$$m(C_{12}H_{22}O_{11}) - ?$$

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$t = 30^\circ\text{C}$$

$$M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 342 \text{ г/моль}$$

**Розв'язок:**

- 1) Перевести значення температури зі шкали Цельсія в термодинамічну шкалу температур:

$$T = t + 273,15 = 30 + 273,15 = 303,15 \text{ (K)}$$

- 2) Записати рівняння Вант-Гоффа :

$$\pi = \frac{m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})}{M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) \cdot V(\text{р-ну})} \cdot R \cdot T$$

Виразити з цього рівняння масу сахарози:

$$m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = \frac{\pi \cdot M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) \cdot V(\text{р-ну})}{R \cdot T}$$

$$m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = \frac{294,6 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 342 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ л}}{8,31 \cdot 10^3 \text{ л} \cdot \text{Па/моль} \cdot \text{К} \cdot 303,15 \text{ К}} = 20 \text{ г}$$

**Відповідь:**  $m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 20 \text{ г}$

#### Приклад 24

Визначити ізотонічний коефіцієнт калій карбонату в розчині з масовою часткою  $K_2CO_3$  0,69%, якщо осмотичний тиск цього розчину при температурі  $37^\circ\text{C}$  дорівнює 309,3кПа. Густина розчину  $1 \text{ г/мл}$ .

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}}; M(K_2CO_3) = 138 \text{ г/моль}$$

**Дано:**

$$\omega(K_2CO_3) = 0,69\% = 0,0069$$

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л} \cdot \text{Па}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$t = 37^\circ\text{C}$$

$$\pi = 309,3 \text{ кПа} = 309,3 \cdot 10^3 \text{ Па}$$

$$M(K_2CO_3) = 138 \text{ г/моль}$$

$$\rho(\text{р-ну}) = 1 \text{ г/мл}$$

**Знайти:**

$$i - ?$$

**Розв'язок:**

- 1) Перевести значення температури зі шкали Цельсія в термодинамічну шкалу температур:

$$T = t + 273,15 = 37 + 273,15 = 310,15 \text{ (K)}$$

- 2) Записати рівняння Вант-Гоффа для розчинів електролітів, виразивши молярну концентрацію речовини через масову частку:

$$\pi = i \cdot c(K_2CO_3) \cdot R \cdot T = i \cdot \frac{\omega(K_2CO_3) \cdot \rho(\text{р-ну})}{M(K_2CO_3)} \cdot R \cdot T$$

Виразити з цього рівняння ізотонічний коефіцієнт:

$$i = \frac{\pi \cdot M(K_2CO_3)}{\omega(K_2CO_3) \cdot \rho(p - ну) \cdot R \cdot T}$$

Розрахувати значення ізотонічного коефіцієнта:

$$i = \frac{309,3 \cdot 10^3 \text{ Па} \cdot 138 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}}{0,0069 \cdot 1 \frac{\text{Г}}{\text{МЛ}} \cdot 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{Л} \cdot \text{Па}}{\text{МОЛЬ} \cdot \text{К}} \cdot 310,15 \text{ К}} = 2,4$$

**Відповідь:**  $i = 2,4$

### Задачі для самостійного розв'язання

**7.1** Визначити температуру кипіння та температуру замерзання розчину, отриманого при розчиненні 150г глюкози в 850г води. Температуру виразити за шкалою Цельсія.

$$T_{з(H_2O)} = 273,15\text{К} ; K_K = 1,86 \frac{\text{КГ} \cdot \text{К}}{\text{МОЛЬ}} ;$$
$$T_{к(H_2O)} = 373,15\text{К} ; K_E = 0,52 \frac{\text{КГ} \cdot \text{К}}{\text{МОЛЬ}} ; M(C_6H_{12}O_6) = 180 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}} .$$

**Відповідь:**  $t_{з(p-ну)} = -1,82^\circ\text{C} ;$   
 $t_{к(p-ну)} = 100,51^\circ\text{C}$

**7.2** Визначити температуру кипіння та температуру замерзання водного розчину гліцерину з масовою часткою  $C_3H_8O_3$  20%. Температуру виразити за шкалою Цельсія.

$$T_{з(H_2O)} = 273,15\text{К} ; K_K = 1,86 \frac{\text{КГ} \cdot \text{К}}{\text{МОЛЬ}} ;$$
$$T_{к(H_2O)} = 373,15\text{К} ; K_E = 0,52 \frac{\text{КГ} \cdot \text{К}}{\text{МОЛЬ}} ; M(C_3H_8O_3) = 92 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}} .$$

**Відповідь:**  $t_{з(p-ну)} = -5,05^\circ\text{C} ;$   
 $t_{к(p-ну)} = 101,41^\circ\text{C}$

**7.3** Обчислити молярну масу неелектроліту, якщо розчин, що містить 25,55г цієї речовини в 200г води, замерзає при  $-1,32^\circ\text{C}$ .

$$T_{з(H_2O)} = 273,15\text{К} ; K_K = 1,86 \frac{\text{КГ} \cdot \text{К}}{\text{МОЛЬ}} .$$

**Відповідь:**  $M(x) = 180 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}$

**7.4** Обчислити молярну масу неелектроліту, якщо розчин, що містить 248,2г цієї речовини в 3000г води, замерзає при  $-0,45^\circ\text{C}$ .

$$T_{з(H_2O)} = 273,15\text{К} ; K_K = 1,86 \frac{\text{КГ} \cdot \text{К}}{\text{МОЛЬ}}$$

**Відповідь:**  $M(x) = 342 \frac{\text{Г}}{\text{МОЛЬ}}$

**7.5** Розчин, в якому розчинено 41,4 неелектроліту в 300г води кипить при  $100,78^\circ\text{C}$ . Обчислити молярну масу цієї речовини.

$$T_{к(H_2O)} = 373,15\text{К} ; K_E = 0,52 \frac{\text{КГ} \cdot \text{К}}{\text{МОЛЬ}}$$

Відповідь:  $M(x) = 92 \text{ г/моль}$

7.6 В 600г води розчинили 60,2г неелектроліту. Розчин кипить при  $100,87^\circ\text{C}$ . Обчислити молярну масу розчиненої речовини.

$$T_{\text{к}(\text{H}_2\text{O})} = 373,15\text{K}; K_e = 0,52 \cdot \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}}$$

Відповідь:  $M(x) = 60 \text{ г/моль}$

7.7 Скільки грамів сахарози потрібно розчинити в 100 г води, щоб:

а) знизити температуру кристалізації на  $1^\circ\text{C}$ ;

б) підвищити температуру кипіння на  $1^\circ\text{C}$ ?

$$M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 342 \text{ г/моль}$$

$$T_{\text{з}(\text{H}_2\text{O})} = 273,15\text{K}; K_{\text{к}} = 1,86 \cdot \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}}; T_{\text{к}(\text{H}_2\text{O})} = 373,15\text{K}; K_e = 0,52 \cdot \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}}$$

Відповідь: а)  $m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 18,39\text{г}$ ;

б)  $m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 65,78\text{г}$

7.8 Обчислити температуру замерзання та температуру кипіння водного розчину хлоридної кислоти з масовою часткою  $\text{HCl}$  6,8%, якщо ізотонічний коефіцієнт дорівнює 1,66.

$$T_{\text{з}(\text{H}_2\text{O})} = 273,15\text{K}; K_{\text{к}} = 1,86 \cdot \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}}; M(\text{HCl}) = 36,5 \text{ г/моль}$$

Відповідь:  $t_{\text{з}(\text{р-ну})} = -6,17^\circ\text{C}$ ;

$t_{\text{к}(\text{р-ну})} = 101,73^\circ\text{C}$

7.9 Розчин, що містить 8г  $\text{NaOH}$  в 1000г  $\text{H}_2\text{O}$ , кипить при  $100,184^\circ\text{C}$ . Визначити ізотонічний коефіцієнт гідроксиду натрію в цьому розчині.

$$T_{\text{к}(\text{H}_2\text{O})} = 373,15\text{K}; K_e = 0,52 \cdot \frac{\text{кг}\cdot\text{К}}{\text{моль}}; M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$$

Відповідь:  $i = 1,77$

7.10 Обчислити осмотичний тиск розчину білка, що містить 2,5г білка в 0,5л розчину, при температурі  $36,6^\circ\text{C}$  враховуючи, що макромолекула білка має глобулярну форму.

$$M(x) = 55000 \text{ г/моль}; R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л}\cdot\text{Па}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$$

Відповідь:  $\pi = 234\text{Па}$

7.11 Встановити, якими будуть розчини відносно плазми крові (ізо-, гіпо- або гіпертонічним) при  $37^\circ\text{C}$ :

а) розчин глюкози з масовою часткою  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  6% (густина  $1,02 \text{ г/мл}$ );

б) розчин сахарози з масовою часткою  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$  6% (густина  $1,02 \text{ г/мл}$ );

Осмотичний тиск плазми крові в нормі дорівнює 740 – 780 кПа.

$$M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180 \text{ г/моль}; M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 342 \text{ г/моль}; R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л}\cdot\text{Па}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$$

Відповідь:

а)  $\pi = 876\text{кПа} \Rightarrow$  розчин глюкози гіпертонічний відносно плазми крові;

б)  $\pi = 461,2\text{кПа} \Rightarrow$  розчин сахарози гіпотонічний відносно плазми крові.

7.12 Розрахувати величину осмотичного тиску розчину сечовини з масовою концентрацією  $26,8 \text{ г/л}$  при  $0^\circ\text{C}$ .



$$M(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = 60 \text{ г/моль}; R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л}\cdot\text{Па}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$$

$$\text{Відповідь: } \pi = 1014 \text{кПа}$$

**7.13** Обчислити масу гліцерину, що міститься в 50мл розчину, якщо осмотичний тиск цього розчину при 25°C дорівнює 4129,4кПа.

$$M(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 92 \text{ г/моль}; R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л}\cdot\text{Па}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$$

$$\text{Відповідь: } m(\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) = 7,67\text{г}$$

**7.14** Знайти молекулярну масу глобулярного білка, якщо осмотичний тиск розчину, що містить 75г цього білка в 500мл розчину, дорівнює 49,5кПа при 35°C.  $R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л}\cdot\text{Па}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$

$$\text{Відповідь: } M(x) = 7760 \text{ г/моль}$$

**7.15** Розрахувати молярну масу неелектроліту, якщо при 20°C осмотичний тиск розчину з масовою частку цієї речовини 40% дорівнює 3362кПа. Густина розчину 1,18 г/мл;  $R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л}\cdot\text{Па}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$

$$\text{Відповідь: } M(x) = 342 \text{ г/моль}$$

**7.16** Яке з явищ – гемоліз чи плазмоліз – буде спостерігатись, якщо клітину еритроцита занурити в розчин нітрату кальцію з молярною концентрацією 0,025 моль/л при температурі 37 °C, якщо ізотонічний коефіцієнт дорівнює 2,60.

$$\text{Відповідь: } \pi = 167,5 \text{кПа} \Rightarrow \text{гемоліз}$$

**7.17** Визначити ізотонічний коефіцієнт барій гідроксиду в розчині з молярною концентрацією  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  0,1 моль/л, якщо осмотичний тиск цього розчину при температурі 20°C дорівнює 618,8кПа.

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л}\cdot\text{Па}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$$

$$\text{Відповідь: } i = 2,54$$

**7.18** Визначити ізотонічний коефіцієнт натрій гідроксиду в розчині з масовою часткою  $\text{NaOH}$  0,8%, якщо осмотичний тиск цього розчину при температурі 10°C дорівнює 847,1кПа. Густина розчину 1 г/мл.

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{л}\cdot\text{Па}}{\text{моль}\cdot\text{К}}; M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}$$

$$\text{Відповідь: } i = 1,8$$

## 7. Теплові ефекти хімічних реакцій в розчинах. Направленість процесів.

### Основні термодинамічні величини

| Параметр          | Позначення, одиниця виміру  | Змістова значення  |
|-------------------|-----------------------------|--|
| Внутрішня енергія | $U$ ,<br>Дж, кДж            | Повна енергія системи, що включає всі види енергії руху та взаємодії складових структурних одиниць (молекул, атомів, ядер, електронів), за виключенням кінетичної енергії системи як цілого та її потенціальної енергії в полі зовнішніх сил. Внутрішня енергія є функцією стану. Абсолютну величину $U$ неможливо визначити навіть для найпростіших систем, однак в цьому немає необхідності, оскільки як в теорії, так і на практиці використовують зміну цієї величини $\Delta U = U_2 - U_1$ при переході системи зі стану 1 в стан 2. |
| Теплота           | $Q$ ,<br>Дж, кДж, кал, ккал | Мікроскопічна форма передачі енергії через хаотичні зіткнення між частинками, в результаті яких відбувається зміна кінетичної енергії частинок і вирівнюється температура. Енергія переходить від більш нагрітих частин системи до менш нагрітих (або від більш нагрітої системи до менш нагрітої). Якщо система віддає теплоту ( <i>екзотермічний процес</i> ), то $Q$ вважається від'ємною величиною ( $Q < 0$ ), а якщо одержує ( <i>ендотермічний процес</i> ), то $Q$ є додатною величиною ( $Q > 0$ ).                               |
| Робота            | $A$ ,<br>Дж, кДж            | Макроскопічна форма передачі енергії від впорядкованого поступально рухомого потоку великої кількості частинок системи до частинок зовнішнього середовища зі створенням в ньому аналогічного потоку. Якщо система виконує роботу над зовнішнім середовищем, то $A$ вважається додатною величиною, а якщо зовнішнє середовище виконує роботу над системою, то $A$ вважається від'ємною величиною.<br>Як один з видів роботи в   |

|   |  |   |
|---|--|---|
|   |  | <p>термодинаміці розглядається механічна робота розширення (стиснення) системи, що дорівнює</p> $A = p(V_2 - V_1) = p\Delta V$ <p>Система виконує роботу розширення (<math>A &gt; 0</math>), зовнішнє середовище виконує над системою роботу стиснення (<math>A &lt; 0</math>).</p>   |
| Ентальпія                               | <p><math>H</math>,<br/>Дж, кДж;</p> $H = U + pV$ $\Delta H = \Delta U + p\Delta V$   | <p>Функція стану, що характеризує енергетичний стан системи в ізобарних умовах. Фізичний зміст ентальпії можна визначити як енергію розширеної системи, або як внутрішню енергію з урахуванням роботи, яку необхідно витратити, щоб система в умовах певного тиску зайняла певний об'єм.</p>  |
| Тепловий ефект хімічної реакції         | <p><math>Q</math>,<br/>кДж або кДж/моль,<br/>кал або ккал/моль</p> <p>тепловий ефект ізохорного процесу (<math>V = const</math>):<br/><math>Q_V = \Delta U</math></p> <p>тепловий ефект ізобарного процесу (<math>p = const</math>):<br/><math>Q_P = \Delta H</math></p> | <p>Кількість теплоти, що виділяється або поглинається в результаті здійснення хімічного процесу в термомеханічній системі при постійному тиску або об'ємі (<math>p = const</math> або <math>V = const</math>) та рівності температур вихідних речовин та продуктів. Тепловий ефект може бути віднесений до всієї реакції (вимірюється в кДж) або до 1 моль будь-якого <math>i</math>-го учасника реакції (вимірюється в кДж/моль <math>i</math>-тої речовини).</p>                |
| Стандартна ентальпія реакції            | <p><math>\Delta H_{298}^0</math>,<br/>кДж або кДж/моль</p>   | <p>Тепловий ефект ізобарно-ізотермічного процесу, віднесений до <i>стандартних термодинамічних умов</i>:<br/> <math>p = 101325 \text{ Па} = 1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.}</math>,<br/> що означає індекс «0» праворуч зверху;<br/> <math>T = 298,15 \text{ К}</math>, що вказує індекс «298» праворуч знизу.<br/> Знак <math>\Delta</math> показує, що мова йде про зміну ентальпії в результаті реакції, але для короткості формулювань слово «зміна» випускається.</p> |
| Стандартна ентальпія утворення речовини | <p><math>\Delta H_{\text{утв.}298}^0</math> (реч., агр. стан),<br/>кДж/моль</p>  | <p>Тепловий ефект (стандартна ентальпія <math>\Delta H_{298}^0</math>) реакції утворення 1 моль даної складної речовини з відповідної кількості простих речовин, що знаходяться в стандартних умовах.<br/> Стандартна ентальпія утворення будь-якої простої речовини в її найбільш</p>  |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  |   | термодинамічно стійкому агрегатному та алотропному стані дорівнює 0.   |
| Стандартна ентальпія згоряння речовини | $\Delta H_{зг.298}^0$ (реч., агр. стан),<br>кДж/моль  | Тепловий ефект (стандартна ентальпія $\Delta H_{298}^0$ ) реакції окиснення 1 моль речовини киснем з утворенням вищих оксидів в стандартних умовах.<br>За визначенням, стандартна ентальпія згоряння кисню, води, оксиду карбону (IV) та інших вищих оксидів дорівнює 0, оскільки вони не окиснюються киснем.  |
| Ентропія                               | $S$ ,<br>$\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ або $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ ;<br>$\Delta S = S_2 - S_1$<br>для ізотермічних процесів<br>$\Delta S = \frac{Q}{T}$ | Термодинамічна функція, фізичний зміст якої можна визначити як міру молекулярного хаосу, неупорядкованості системи. Ентропія є функцією стану, її зміна ( $\Delta S$ ) залежить лише від початкового та кінцевого стану системи. Поняття ентропії введено в термодинаміку для визначення міри необоротного розсіювання енергії, міри відхилення реального процесу від ідеального.<br>Значення ентропії неможливо виміряти, можна лише розрахувати. |
| Стандартна ентропія речовини           | $S_{298}^0$ ,<br>Дж/(К · моль)  | Ентропія 1 моль речовини при стандартних умовах.   |
| Зв'язана енергія                       | $TS$<br>$T\Delta S$   | Величина $TS$ показує, яка частина внутрішньої енергії системи може бути перетворена виключно на теплоту.<br>Величина $T\Delta S$ показує, яка частина енергії під час зміни внутрішньої енергії перетворюється виключно на теплоту (віддається чи одержується системою залежно від знака $\Delta S$ ).  |
| Вільна енергія Гіббса                  | $G$ ,<br>Дж, кДж,<br>$G = H - TS$<br>$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$  | Узагальнена термодинамічна функція стану системи, що враховує енергетику та неупорядкованість системи в ізобарно-ізотермічних умовах ( $p, T = const$ ).<br>Інша назва – ізобарно-ізотермічний потенціал.<br>Вільна енергія Гіббса показує, яка частина $\Delta H$ перетворюється на роботу.   |
| Стандартна                             | $\Delta G_{утв.298}^0$ (реч., агр. стан)  | Стандартна енергія Гіббса утворення  |

|                                 |  |   |
|---------------------------------|--|---|
| Вільна енергія Гіббса речовини  | кДж/моль   | 1 моль даної сполуки з простих речовин в стандартних термодинамічних умовах.  |
| Вільна енергія Гельмгольца      | $F$ ,<br>Дж, кДж,<br>$F = U - TS$<br>$\Delta F = \Delta U - T\Delta S$ | Узагальнена термодинамічна функція стану системи, що враховує енергетику та неупорядкованість системи в ізохорно-ізотермічних умовах ( $V, T = const$ ).<br>Інша назва – ізохорно-ізотермічний потенціал.<br>Вільна енергія Гельмгольца показує, яка частина $\Delta U$ перетворюється на роботу. |
| Калорійність харчових продуктів | кДж/г або ккал/г   | Величина теплоти згорання продукту, взята з протилежним знаком та приведена до одиниці маси.  |

### Закони термодинаміки

#### ***Перший закон термодинаміки.***

Енергія не виникає і не зникає, а тільки може переходити з однієї форми в іншу (в тому числі, теплоту і роботу), кількісно не змінюючись.

Теплота, підведена до закритої системи, витрачається на збільшення внутрішньої енергії системи та на здійснення системою роботи проти зовнішніх сил довкілля.

$$Q = \Delta U + A$$

#### ***Другий закон термодинаміки.***

В ізольованих системах самодовільно перебігають такі процеси, при яких ентропія зростає.

$$\Delta S > 0$$

#### ***Третій закон термодинаміки.***

Ентропія чистого ідеального кристалу при абсолютному нулі дорівнює нулю.

### Критерії направленості самодовільного процесу в закритій системі

Реальні процеси проводяться, як правило, в закритих системах в ізобарно-ізотермічних ( $p, T = const$ ) або ізохорно-ізотермічних ( $V, T = const$ ) умовах. Критерієм направленості самодовільного процесу в даних випадках є знак зміни енергії Гіббса  $\Delta G$  (у випадку ізобарно-ізотермічних процесів) або енергії Гельмгольца  $\Delta F$  (у випадку ізохорно-ізотермічних процесів)

|   |   |
|---|---|
| $\Delta G = 0$ ( $G = G_{min}$ ) при $p, T = const$<br>або<br>$\Delta F = 0$ ( $F = F_{min}$ ) при $V, T = const$                     | система знаходиться в стані термодинамічної рівноваги.                                    |
| $\Delta G < 0$ ( $G \rightarrow G_{min}$ ) при $p, T = const$<br>або<br>$\Delta F < 0$ ( $F \rightarrow F_{min}$ ) при $V, T = const$ | процес самодовільно відбувається в прямому напрямку, тобто термодинамічно можливий        |
| $\Delta G > 0$ ( $G \rightarrow G_{max}$ ) при $p, T = const$<br>або<br>$\Delta F > 0$ ( $F \rightarrow F_{max}$ ) при $V, T = const$ | самодовільно відбувається лише зворотний процес, прямий процес термодинамічно неможливий. |

Аналіз рівняння  $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$  показує, що знак та величина  $\Delta G$ , а отже, термодинамічна можливість самодовільного перебігу реакції залежать від двох факторів: ентальпійного (енергетичного)  $\Delta H$  та ентропійного  $T\Delta S$ . З одного боку система прагне прийти до мінімального рівня енергії, виділивши частину її у зовнішнє середовище у вигляді теплоти або роботи ( $\Delta H < 0$ ). З іншого боку, система прагне зайняти найбільш ймовірний стан, що характеризується максимумом молекулярного хаосу, тобто максимумом ентропії ( $\Delta S > 0$ ). Можливі варіанти:

|  |   |
|--|---|
| $\begin{cases} \Delta H < 0 \\ \Delta S > 0 \end{cases}$ | В даному випадку $\Delta G < 0$ при будь-яких значеннях температури, процес термодинамічно можливий при будь-якій температурі;              |
| $\begin{cases} \Delta H < 0 \\ \Delta S < 0 \end{cases}$ | В даному випадку $\Delta G < 0$ якщо $ \Delta H  >  T\Delta S $ , реакція термодинамічно можлива при порівняно низькотемпературному режимі. |
| $\begin{cases} \Delta H > 0 \\ \Delta S > 0 \end{cases}$ | В даному випадку $\Delta G < 0$ якщо $ \Delta H  <  T\Delta S $ , реакція термодинамічно можлива при порівняно високотемпературному режимі. |
| $\begin{cases} \Delta H > 0 \\ \Delta S < 0 \end{cases}$ | Обидва фактори діють в несприятливому напрямку, реакція термодинамічно неможлива за будь-яких значень температури.                          |

## Закон Гесса та наслідки з нього

**Закон Гесса:** Тепловий ефект реакції не залежить від шляху перебігу реакції, а визначається тільки видом та станом вихідних речовин та продуктів

### Наслідки з закону Гесса.

Відповідно закону Гесса можна обчислити тепловий ефект реакції з використанням теплот (ентальпій) утворення або згоряння речовин, не виконуючи експеримент.

1. Тепловий ефект прямої реакції дорівнює тепловому ефекту зворотної реакції з протилежним знаком.

$$\Delta H_{\text{пр.}} = -\Delta H_{\text{зв.}}$$

2. Тепловий ефект реакції дорівнює сумі теплот (ентальпій) утворення продуктів мінус сума теплот (ентальпій) утворення реагентів з урахуванням стехіометричних коефіцієнтів, тобто:

$$\Delta H = \sum_i n_i (\Delta H_i)_{\text{утв.}}^{\text{прод.}} - \sum_j n_j (\Delta H_j)_{\text{утв.}}^{\text{реаг.}}$$

3. Тепловий ефект реакції дорівнює сумі теплот (ентальпій) згоряння реагентів мінус сума теплот (ентальпій) згоряння продуктів з урахуванням стехіометричних коефіцієнтів, тобто:

$$\Delta H = \sum_i n_i (\Delta H_i)_{\text{зг.}}^{\text{реаг.}} - \sum_j n_j (\Delta H_j)_{\text{зг.}}^{\text{прод.}}$$

## Приклади розв'язання задач

### Приклад 1

Розрахувати калорійність 250г сметани, склад якої: 25% жирів, 2,7% вуглеводів та 2,6% білків, якщо їх теплоти (ентальпії) згоряння дорівнюють відповідно  $-39,9$  кДж/г,  $-17$  кДж/г,  $-17$  кДж/г.

**Дано:**

$$\Delta H_{\text{зг.}}(\text{в.}) = -17 \text{ кДж/г}$$

$$\Delta H_{\text{зг.}}(\text{б.}) = -17 \text{ кДж/г}$$

$$\Delta H_{\text{зг.}}(\text{ж.}) = -39,9 \text{ кДж/г}$$

$$\omega(\text{в.}) = 2,7\% = 0,027$$

$$\omega(\text{б.}) = 2,6\% = 0,026$$

$$\omega(\text{ж.}) = 25\% = 0,25$$

$$m(\text{см.}) = 250\text{г}$$

**Знайти:**

калорійність 250 г сметани

**Розв'язок:**

Розрахувати теплоту згоряння сметани в перерахунку на 1 г продукту з урахуванням теплот (ентальпій) згоряння та масових часток білків, жирів та вуглеводів:

$$\Delta H_{\text{зг.}}(\text{см.}) = \sum \omega(x) \cdot \Delta H_{\text{зг.}}(x)$$



$$\Delta H_{зг}(\text{см.}) = 0,027 \cdot (-17 \text{ кДж/г}) + 0,026 \cdot (-17 \text{ кДж/г}) + 0,25 \cdot (-39,9 \text{ кДж/г}) =$$

$$= -10,876 \text{ кДж/г}$$

**Калорійністю харчових продуктів називають величину теплоти згорання, взяту з протилежним знаком та приведену до одиниці маси.**

Отже, калорійність сметани в перерахунку на 1г продукту дорівнює  $10,876 \text{ кДж/г}$ , а калорійність 250 г сметани:

$$250\text{г} \cdot 10,876 \text{ кДж/г} = 2719\text{кДж} = 650\text{ккал}$$

**Відповідь:** калорійність 250 г сметани дорівнює 2719 кДж (або 650 ккал).

### Приклад 2

Вівсяна крупа містить 5,8% жирів, 65,4% вуглеводів та 11,8% білків. Розрахувати масу вівсяної крупи, що є еквівалентною до втрати енергії через потовиділення 720 г води, якщо ентальпія випаровування води  $41 \text{ кДж/моль}$ , а теплоти (ентальпії) згорання білків жирів та вуглеводів дорівнюють відповідно  $-39,9 \text{ кДж/г}$ ,  $-17 \text{ кДж/г}$ ,  $-17 \text{ кДж/г}$ .

**Дано:**

$$\Delta H_{зг}(\text{в.}) = -17 \text{ кДж/г}$$

$$\Delta H_{зг}(\text{б.}) = -17 \text{ кДж/г}$$

$$\Delta H_{зг}(\text{ж.}) = -39,9 \text{ кДж/г}$$

$$\omega(\text{в.}) = 65,4\% = 0,654$$

$$\omega(\text{б.}) = 11,8\% = 0,118$$

$$\omega(\text{ж.}) = 5,8\% = 0,058$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 720\text{г}$$

$$\Delta H_{\text{вип.}}^0(\text{H}_2\text{O}) = 41 \text{ кДж/моль}$$

**Знайти:**

$$m(\text{вівс. кр.}) - ?$$

**Розв'язок:**

- 1) Потовиділення охолоджує тіло, оскільки для випаровування води потрібна енергія. Випаровування води відбувається при постійному тиску, тому можна прирівняти ентальпію випаровування води до кількості теплоти, яку необхідно виділити:

$$Q = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot \Delta H_{\text{вип.}}^0(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} \cdot \Delta H_{\text{вип.}}^0(\text{H}_2\text{O})$$

$$Q = \frac{720\text{г}}{18 \text{ г/моль}} \cdot 41 \text{ кДж/моль} = 1640\text{кДж}$$

- 2) Розрахувати теплоту (ентальпію) згорання вівсяної крупи з урахуванням теплот (ентальпій) згорання та масових часток білків, жирів і вуглеводів в перерахунку на 1 г продукту:

$$\Delta H_{\text{зг.}}(\text{вівс. кр.}) = \sum \omega(x) \cdot \Delta H_{\text{зг.}}(x)$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{зг.}}(\text{вівс. кр.}) &= 0,654 \cdot (-17 \text{ кДж/г}) + 0,118 \cdot (-17 \text{ кДж/г}) + 0,058 \cdot (-39,9 \text{ кДж/г}) = \\ &= -13,182 \text{ кДж/г} \end{aligned}$$

Отже, калорійність вівсяної крупи в перерахунку на 1г продукту дорівнює 13,182 кДж/г, а маса крупи, що є еквівалентною до втрати 1640кДж теплоти:

$$m(\text{вівс. кр.}) = \frac{1640 \text{ кДж}}{13,182 \text{ кДж/г}} = 124,4 \text{ г}$$

**Відповідь:**  $m(\text{вівс. кр.}) = 124,4 \text{ г}$

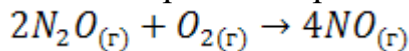
### Приклад 3

Визначити можливість окиснення оксиду нітрогену (I), що використовується в медицині для інгаляційної анестезії, киснем повітря до токсичного оксиду нітрогену (II) при стандартних умовах. Обчислити ентальпію та ентропію реакції при стандартних умовах, оцінити внески ентальпійного та ентропійного факторів. Для розрахунків використати значення стандартних термодинамічних величин (див. додаток1).

|              |                        |
|--------------|------------------------|
| <b>Дано:</b> | <b>Знайти:</b>         |
| с.у.         | $\Delta S_{298}^0 - ?$ |
|              | $\Delta H_{298}^0 - ?$ |
|              | $\Delta G_{298}^0 - ?$ |

**Розв'язок:**

Записати рівняння реакції:



Виписати довідникові дані:

$$S_{298}^0(N_2O_{(г)}) = 220,0 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$S_{298}^0(O_{2(г)}) = 205,2 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$S_{298}^0(NO_{(г)}) = 210,8 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$$

$$\Delta H_{\text{утв.},298}^0(N_2O_{(г)}) = 81,6 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta H_{\text{утв.},298}^0(NO_{(г)}) = 91,3 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta G_{\text{утв.},298}^0(N_2O_{(г)}) = 103,7 \text{ кДж/моль}$$

$$\Delta G_{\text{утв.},298}^0(NO_{(г)}) = 87,6 \text{ кДж/моль}$$

- 1) *Стандартна ентропія* (зміна ентропії процесу, що протікає в стандартних термодинамічних умовах) хімічної реакції визначається різницею сум стандартних ентропій стехіометричної кількості продуктів реакції та вихідних речовин:

$$\Delta S_{298}^0 = \sum_i n_i (S_{298}^0)_{\text{прод.}} - \sum_j n_j (S_{298}^0)_{\text{реак.}}$$

$$\Delta S_{298}^0 = 4 \cdot S_{298}^0(NO_{(г)}) - [2 \cdot S_{298}^0(N_2O_{(г)}) + S_{298}^0(O_{2(г)})]$$

$$\Delta S_{298}^0 = 4 \text{ моль} \cdot 210,8 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} - \left[ 2 \text{ моль} \cdot 220,0 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} + 1 \text{ моль} \cdot 205,2 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \right] = 198 \text{ Дж/К}$$

- 2) Стандартну ентальпію (зміну ентальпії процесу, що відбувається в стандартних термодинамічних умовах) реакції відповідно до першого наслідку з закону Гесса можна визначити як алгебраїчну різницю сум ентальпій утворення стехіометричних кількостей продуктів реакції та вихідних речовин:

$$\Delta H_{298}^0 = 4 \cdot \Delta H_{\text{утв.298}}^0(\text{NO}_{(\text{г})}) - [2 \cdot \Delta H_{\text{утв.298}}^0(\text{N}_2\text{O}_{(\text{г})}) + \Delta H_{\text{утв.298}}^0(\text{O}_{2(\text{г})})]$$

$$\Delta H_{298}^0 = 4 \text{ моль} \cdot 91,3 \text{ кДж/моль} - [2 \text{ моль} \cdot 81,6 \text{ кДж/моль} + 0] = 202 \text{ кДж}$$

- 3) Стандартну вільну енергію Гіббса (зміну енергії Гіббса процесу, що відбувається в стандартних термодинамічних умовах) реакції, що є критерієм самодовільного перебігу процесів, на даному етапі можна обчислити двома шляхами:

- I З використанням попередньо обчислених значень  $\Delta H_{298}^0$  та  $\Delta S_{298}^0$

$$\Delta G_{298}^0 = \Delta H_{298}^0 - T \Delta S_{298}^0$$

$$\Delta G_{298}^0 = 202 \cdot 10^3 \text{ Дж} - 298 \text{ К} \cdot 198 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} = 142996 \text{ Дж/моль} \cong 143 \text{ кДж/моль}$$

- II З використанням довідникових значень стандартних енергій Гіббса утворення речовин. Енергія Гіббса реакції дорівнює алгебраїчній сумі енергій Гіббса утворення стехіометричних кількостей продуктів мінус алгебраїчна сума енергій Гіббса утворення стехіометричних кількостей реагентів:

$$\Delta G_{298}^0 = \sum_i n_i (G_{298}^0(i))_{\text{утв.}}^{\text{прод.}} - \sum_j n_j (G_{298}^0(j))_{\text{утв.}}^{\text{реаг.}}$$

$$\Delta G_{298}^0 = 4 \cdot \Delta G_{\text{утв.298}}^0(\text{NO}_{(\text{г})}) - [2 \cdot \Delta G_{\text{утв.298}}^0(\text{N}_2\text{O}_{(\text{г})}) + \Delta G_{\text{утв.298}}^0(\text{O}_{2(\text{г})})]$$

$$\Delta G_{298}^0 = 4 \text{ моль} \cdot 87,6 \text{ кДж/моль} - [2 \text{ моль} \cdot 103,7 \text{ кДж/моль} + 0] = 143 \text{ кДж}$$

**Відповідь:**  $\Delta S_{298}^0 = 198 \text{ Дж/К}$   
 $\Delta H_{298}^0 = 202 \text{ кДж}$   
 $\Delta G_{298}^0 = 143 \text{ кДж}$

$\Delta S > 0$ , ентропійний фактор сприяє самодовільному перебігу реакції;  
 $\Delta H > 0$ , ентальпійний фактор забороняє самодовільний перебіг реакції;  
оскільки  $\Delta G > 0$ , то окиснення  $\text{N}_2\text{O}$  до  $\text{NO}$  при стандартних умовах неможливе.

### Кінетика біохімічних реакцій. Основні кінетичні величини

| Параметр                     | Позначення, одиниця виміру   | Змісто́ве значення  |
|------------------------------|--|---|
| Середня швидкість реакції    | $v$ , моль/(л·с)<br>для реакції $A + B \rightarrow AB$ :<br>$v = -\frac{\Delta c_A}{\Delta \tau}$ або<br>$v = \frac{\Delta c_{AB}}{\Delta \tau}$ | Зміна концентрації реагента або продукта за одиницю часу. За швидкістю реакції можна слідкувати за витрачанням одного з реагентів (А або В), або за накопиченням продукту (АВ). Під час реакції концентрації реагентів постійно зменшуються, відповідно змінюється і швидкість хімічного перетворення.                                  |
| Істинна швидкість реакції    | $v = -\frac{dc_A}{d\tau}$ або<br>$v = \frac{dc_{AB}}{d\tau}$   | Характеризує швидкість реакції в даний момент часу ( $\Delta \tau \rightarrow 0$ ).   |
| Кінетичне рівняння           | для гомогенної реакції<br>$aA + bB \rightarrow cC + dD$ :<br>$v = k \cdot c_A^n \cdot c_B^m$   | Виражає залежність швидкості реакції від концентрації реагуючих речовин. Кінетичне рівняння є математичним вираженням закону діючих мас для кінетики:<br><i>при сталій температурі швидкість хімічної реакції прямо пропорційна добутку молярних концентрацій реагентів.</i>  |
| Порядок реакції за речовиною | в кінетичному рівнянні<br>$v = k \cdot c_A^n \cdot c_B^m$<br>$n$ – порядок реакції за речовиною А,<br>$m$ – порядок реакції за речовиною В       | Показник степеня, в якому входить концентрація реагенту в кінетичне рівняння. Для простих реакцій порядок реакції - цілочислова величина, що співпадає з молекулярністю реакції. Для складних реакцій порядки можна визначити лише експериментально. Причому вони можуть мати як цілочислові, так і дробові, і навіть нульове значення. |
| Загальний порядок реакції    | $n+m$  | Сума порядків реакції за всіма реагентами.  |

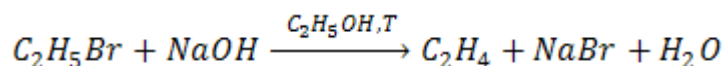
|                                    |  |  |
|------------------------------------|--|--|
| Період напівперетворення           | $\tau_{1/2}$ , с, хв, год, доба  | Час, за який концентрація реагуючої речовини зменшується вдвічі ( $c = c_0/2$ )  |
| Константа швидкості реакції        | <p><math>k</math>,<br/> порядок реакції      розмірність <math>k</math></p> <p>0-й      <math>\frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}</math></p> <p>1-й      <math>\text{с}^{-1}</math></p> <p>2-й      <math>\frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{с}}</math></p> <p>3-й      <math>\frac{\text{моль}^2 \cdot \text{с}}{\text{л}^2}</math></p>  | Індивідуальна характеристика реакції, чисельно дорівнює швидкості реакції при концентраціях реагентів, рівних 1 моль/л. Одиниці вимірювання залежать від порядку реакції.  |
| Кінетичне рівняння першого порядку | <p>диференціальна форма:<br/> <math>-\frac{dc}{dt} = kc</math></p> <p>інтегральна форма:<br/> <math>\ln c = \ln c_0 - kt</math>,</p> <p>звідки:<br/> <math>c = c_0 \cdot e^{-kt}</math>,</p> $k = \frac{1}{t} \ln \frac{c_0}{c}$<br>або<br>$k = \frac{\ln 2}{\tau_{1/2}}$ <p>перехід від натурального до десяткового логарифму дає:<br/> <math>k = \frac{2,3}{t} \lg \frac{c_0}{c}</math></p> <p>та<br/> <math>k = \frac{2,3 \cdot \lg 2}{\tau_{1/2}}</math></p> | Інтегральна форма рівняння виражає лінійну залежність змінних $\ln c$ та $t$ .<br>$k$ – константа швидкості реакції 1-го порядку;<br>$c_0$ - концентрація вихідної речовини в початковий момент часу;<br>$c$ – концентрація речовини в момент часу $t$ ;<br>$t$ - час, що пройшов від початку реакції. |
| Правило Вант-Гоффа                 | $v_2 = v_1 \cdot \gamma_{10}^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$ ,<br>$k_2 = k_1 \cdot \gamma_{10}^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$ ,<br>де $v_2$ та $v_1$ - швидкості реакції при температурі $T_2$ і $T_1$ відповідно;<br>$k_2$ та $k_1$ – константи швидкості реакції при температурі $T_2$ і $T_1$ .  | При збільшенні температури на кожні 10 градусів швидкість хімічної реакції зростає в 2-4 рази.   |

|                    |   |   |
|--------------------|---|---|
| Енергія активації  | $E_a$ , кДж/моль  | Мінімальна надлишкова енергія взаємодіючих частинок, достатня для того, щоб ці частинки вступили в хімічну реакцію.   |
| Рівняння Арреніуса | $k = A \cdot e^{-\frac{E_a}{RT}},$ $\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$ $\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$ або $\ln \frac{k_2}{k_1} = -\frac{E_a}{R} \left( \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right)$ | Встановлює зв'язок між константою швидкості реакції, енергією активації та температурою. Величина А, що входить до рівняння – «константа Арреніуса» або «передекспонента» визначається для кожної конкретної реакції та має ту ж розмірність, що й константа швидкості k. |

### Приклади розв'язання задач

#### Приклад 1

Обчислити середню швидкість реакції (в моль/(л·с)) дегідрогенгалогенування бромметану в лужному спиртовому розчині, якщо після 1 хвилини кип'ятіння розчину концентрація бромметану дорівнювала 0,1 моль/л, а через 20 хвилин – 0,75 моль/л.



**Дано:**

$$c_1(C_2H_5Br) = 0,1 \text{ моль/л}$$

$$c_2(C_2H_5Br) = 0,075 \text{ моль/л}$$

$$t_1 = 1 \text{ хв} = 60 \text{ с}$$

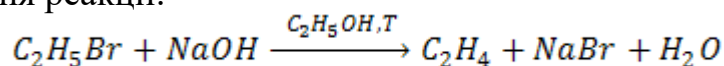
$$t_2 = 20 \text{ хв} = 1200 \text{ с}$$

**Знайти:**

$$v - ?$$

**Розв'язок:**

Написати рівняння реакції:



Швидкість реакції визначається як зміна концентрації речовини, що бере в ній участь, віднесена до проміжку часу, за який відбулась ця зміна:

$$v = -\frac{c_2(C_2H_5Br) - c_1(C_2H_5Br)}{t_2 - t_1} = -\frac{0,075 \frac{\text{моль}}{\text{л}} - 0,1 \text{ моль/л}}{1200 \text{ с} - 60 \text{ с}} = 2,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}$$

**Відповідь:**  $v = 2,2 \cdot 10^{-5} \frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}$

## Приклад 2

Реакція  $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$  має третій порядок. Як зміниться швидкість утворення  $NO_2$  якщо а) тиск в системі збільшити в три рази; б) концентрацію  $NO_2$  зменшити в 4 рази; в) концентрацію  $NO$  зменшити в 4 рази.

### Розв'язок:

За законом діючих мас швидкість даної реакції пропорційна добутку молярної концентрації  $NO$ , піднесений до другого степеня, та молярної концентрації  $O_2$ :

$$v = k \cdot c^2(NO) \cdot c(O_2)$$

а) Змінювати концентрації реагуючих речовин можна за рахунок тиску в посудині. З рівняння Клапейрона-Менделєєва витікає, що молярна концентрація кожного газу прямо пропорційна тиску:

$$pV = nRT \implies c = \frac{n}{V} = \frac{p}{RT}$$

При збільшенні тиску в три рази концентрація кожного газу – і  $NO$ , і  $O_2$  – зросте в три рази:

$$c_2(NO) = 3c_1(NO), \quad c_2(O_2) = 3c_1(O_2),$$

а швидкість реакції визначається їх добутком, тому вона зросте в 27 разів:

$$v_1 = k \cdot c_1^2(NO) \cdot c_1(O_2),$$

$$v_2 = k \cdot c_2^2(NO) \cdot c_2(O_2) = k \cdot (3c_1(NO))^2 \cdot 3c_1(O_2) = 27v_1$$

б) Швидкість реакції не залежить від концентрації продуктів, в даному випадку  $NO_2$  (швидкість прямої реакції визначається тільки лівою частиною рівняння), тому вона не зміниться при зменшенні концентрації  $NO_2$  в 4 рази.

в) Швидкість реакції зменшиться в 16 разів:

$$c_2(NO) = \frac{c_1(NO)}{4}$$

$$v_2 = k \cdot c_2^2(NO) \cdot c(O_2) = k \cdot \left(\frac{c_1(NO)}{4}\right)^2 \cdot c(O_2) = \frac{v_1}{16}$$

**Відповідь:** а) збільшиться в 27 разів;

б) не зміниться;

в) зменшиться в 16 разів.

## Приклад 3

Реакція  $A + B \rightarrow AB$  є бімолекулярною. Вихідні концентрації речовин такі:

$c_0(A) = 2,5$  моль/л,  $c_0(B) = 1,5$  моль/л. Константа швидкості реакції  $k = 0,8$  л/(моль · с). Обчислити а) початкову швидкість реакції; б)

концентрацію речовини А та швидкість реакції до моменту, коли концентрація речовини В буде рівною 0,5 моль/л.

**Дано:**

$$c_0(A) = 2,5 \text{ моль/л}$$

$$c_0(B) = 1,5 \text{ моль/л}$$

**Знайти:**

$$c(A) - ?$$

$$v - ?$$



$$c(B) = 1,5 \text{ моль/л}$$

$$k = 0,8 \text{ л/(моль} \cdot \text{с)}$$

**Розв'язок:**

а) Швидкість бімолекулярної реакції  $A + B \rightarrow AB$  прямо пропорційна концентраціям речовин А і В, кінетичне рівняння має вигляд:

$$v = k \cdot c(A) \cdot c(B),$$

отже початкова швидкість реакції дорівнює

$$v_0 = k \cdot c_0(A) \cdot c_0(B) = 0,8 \frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{с}} \cdot 2,5 \text{ моль/л} \cdot 1,5 \text{ моль/л} = 3 \frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}$$

б) На момент, коли концентрація речовини В дорівнювала 0,5 моль/л, зміна концентрації речовини В складала:

$$\Delta c(B) = c_0(B) - c(B) = 1,5 \text{ моль/л} - 0,5 \text{ моль/л} = 1 \text{ моль/л}.$$

За рівнянням реакції 1 моль речовини В реагує з 1 моль речовини А, отже зміна концентрації речовини А на даний момент реакції складає 1 моль/л, а концентрація речовини А дорівнює:

$$c(A) = c_0(A) - \Delta c(A) = 2,5 \text{ моль/л} - 1 \text{ моль/л} = 1,5 \text{ моль/л},$$

а швидкість реакції в цей момент дорівнює:

$$v = 0,8 \frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{с}} \cdot 1,5 \text{ моль/л} \cdot 0,5 \text{ моль/л} = 0,6 \frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}$$

**Відповідь:** а)  $v_0 = 3 \frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}$ ;

б)  $c(A) = 1,5 \text{ моль/л}$ ,  $v = 0,6 \frac{\text{моль}}{\text{л} \cdot \text{с}}$

#### Приклад 4

В скільки разів збільшиться константа швидкості хімічної реакції при підвищенні температури на 50°C, якщо  $\gamma = 4$ ?

**Дано:**  $\gamma = 4$   
 $\Delta t = 50^\circ\text{C}$

**Знайти:**  
 $\frac{k_2}{k_1} - ?$

**Розв'язок:**

Зміна константи швидкості реакції при збільшенні температури визначається за правилом Вант-Гоффа:

$$\frac{k_2}{k_1} = \gamma^{\frac{\Delta t}{10}} = 4^{\frac{50}{10}} = 4^5 = 1024$$

**Відповідь:** константа швидкості зростає в 1024 рази.

#### Приклад 5

На скільки градусів слід підвищити температуру, щоб швидкість реакції зростає в 32 рази ( $\gamma = 2$ )?

**Дано:**  $\gamma = 2$

**Знайти:**  
 $\Delta t - ?$

$$\frac{v_2}{v_1} = 32$$

**Розв'язок:**

$$\frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{\Delta t}{10}}$$

$$32 = 2^{\frac{\Delta t}{10}}$$

$$\lg 32 = \frac{\Delta t}{10} \lg 2$$

$$\frac{\Delta t}{10} = \frac{\lg 32}{\lg 2}$$

$$\Delta t = 10 \frac{\lg 32}{\lg 2} = 50$$

**Відповідь:** Температуру слід підвищити на 50 °С.

#### Приклад 6

При підвищенні температури з 20 °С до 50 °С швидкість реакції зростає в 20 разів. Обчисліть температурний коефіцієнт реакції.

**Дано:**

$$\frac{v_2}{v_1} = 20$$

$$v_1$$

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 50^\circ\text{C}$$

**Знайти:**

$$\gamma - ?$$

**Розв'язок:**

$$\frac{v_2}{v_1} = \gamma^{\frac{\Delta t}{10}}$$

$$\gamma^{\frac{60-20}{10}} = 20$$

$$\gamma^3 = 20$$

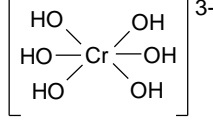
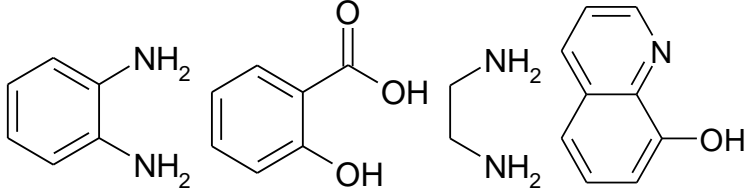
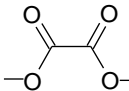
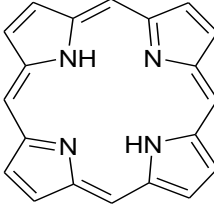
$$\gamma = \sqrt[3]{20} = 2,7$$

**Відповідь:**  $\gamma = 2,7$

## 8. Комплексоутворення в біологічних системах.

**Таблиця 6. Перелік основних термінів, параметрів, характеристик до теми «Комплексоутворення в біологічних системах».**

|  |  |
|--|--|
| Комплексні сполуки (координаційні сполуки)             | Це частинки (нейтральні молекули або іони), які утворюються в результаті приєднання до даного іону (або атому), який називають комплексоутворювачем (центральною атомом, центральним іоном) нейтральних молекул або інших іонів, які називають лігандами.  |
| Комплексоутворювач (центральною атом, центральний іон) | Типовими комплексоутворювачами є атоми елементів Cr, Co, Ni, Fe, Mn та катіони $\text{Ag}^+$ , $\text{Au}^+$ , $\text{Cu}^+$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Hg}^{2+}$ , $\text{Cd}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$ , $\text{Co}^{2+}$ , $\text{Ni}^{2+}$ , $\text{Pt}^{2+}$ , $\text{Pt}^{4+}$ тощо.<br>Катіони s- та p-елементів також здатні бути комплексоутворювачами. Це катіони металів $\text{Be}^{2+}$ , $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Sn}^{2+}$ , $\text{Sn}^{4+}$ , $\text{Pb}^{2+}$ та атоми неметалів Si, B, P, N у певному ступені окиснення. Найменшу здатність до комплексоутворення виявляють лужні та лужноземельні метали.            |
| Ліганди  | Молекули неорганічних та органічних сполук ( $\text{H}_2\text{O}$ , $\text{NH}_3$ , CO тощо) чи іони ( $\text{OH}^-$ , $\text{CN}^-$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{F}^-$ , $\text{NO}_2^-$ тощо), які за рахунок неподілених електронних пар, що надаються донорними атомами, утворюють ковалентні зв'язки з комплексоутворювачем за донорно-акцепторним механізмом. Наприклад: $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ ; $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ ; $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$ ; $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$ .  |
| Координаційне число                                    | Кількість $\sigma$ -зв'язків, які утворює центральний атом з лігандами. У випадку монодентантних лігандів к.ч. дорівнює числу лігандів, що координуються навколо комплексоутворювача. Координаційне число центрального атома часто в два рази більше, ніж абсолютне значення його ступеня окиснення. Найбільш поширеними є комплексні сполуки з к.ч. 2, 4, 6. Приклади координаційних сполук з к.ч. 2: $\text{K}[\text{Ag}^+(\text{CN})_2]$ ; $[\text{Ag}^+(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ ; з к.ч. 4: $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$ ; $[\text{Pt}^{+2}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ . з к.ч. 6: $\text{K}_3[\text{Fe}^{+3}(\text{CN})_6]$ ; $[\text{Cr}^{+3}(\text{H}_2\text{O})_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$ . |
| Дентатність ліганду                                    | Число $\sigma$ -зв'язків, за допомогою яких ліганд зв'язаний з центральним атомом  |

|                       |  |
|-----------------------|--|
| Монодентатні ліганди  | <p>Містять один донорний атом та утворюють лише один зв'язок з комплексоутворювачем. Наприклад, <math>F^-</math>, <math>Cl^-</math>, <math>Br^-</math>, <math>I^-</math>, <math>CN^-</math>, <math>OH</math>, <math>NH_3</math>, <math>H_2O</math> тощо. Так в комплексній сполуці <math>Na_3[Cr(OH)_6]</math>, кожен з шести лігандів (<math>OH^-</math>) зв'язаний з центральним атомом (<math>Cr^{3+}</math>) одним <math>\sigma</math>-зв'язком.</p>  |
| Бідентатні ліганди    | <p>Утворюють два зв'язки з центральним атомом. Наприклад:</p>  <p>Так в комплексній сполуці <math>K_3[Fe(C_2O_4)_3]</math> - ліганд  зв'язаний з центральним іоном (<math>Fe^{3+}</math>) двома <math>\sigma</math>-зв'язками.</p>   |
| Тетрадентатні ліганди | <p>Ліганди, які містять чотири донорні атоми та здатні утворювати чотири зв'язки з одним центральним атомом. Наприклад, порфірини та близькі їм за структурою корріни.<br/>Найпростіший порфірин – порфін:</p>   |
| Внутрішня сфера       | Комплексоутворювач та ліганди, що його оточують  |
| Катіонні комплекси    | Комплекси з позитивно зарядженою внутрішньою сферою: $[Ag(NH_3)_2]^+$ ; $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$ ; $[Zn(NH_3)_4]^{2+}$ .  |
| Аніонні комплекси     | Комплекси з негативно зарядженою внутрішньою сферою: $[Al(OH)_6]^{3-}$ ; $[Fe(CN)_6]^{3-}$ ; $[Fe(CN)_6]^{4-}$ .   |
| Нейтральні комплекси  | Комплекси з електронейтральною внутрішньою сферою: $[Ni(CO)_4]$ ; $[Pt(NH_3)_2Cl_2]$ , $[Fe(CO)_5]$ .  |
| Зовнішня сфера        | Найчастіше це катіони лужних та лужноземельних металів та катіон амонію: $K[Ag(CN)_2]$ , або аніони  |

|  |  |
|--|--|
|  | безкисневих, кисневмісних кислот та $\text{OH}^-$ : $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ , $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ . Нейтральні комплекси не мають зовнішньої сфери: $[\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]^0$ .  |
| Заряд комплексного іону (внутрішньої сфери)            | Дорівнює алгебраїчній сумі зарядів частинок, що його утворюють. Так у комплексі $\text{K}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]$ : $\text{Al}^{3+}$ – центральний іон; $\text{OH}^-$ – ліганди, координаційне число $\text{Al}^{3+}$ – 6; $[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}$ – внутрішня сфера, її заряд $(+3)+6(-1)=-3$ ; $\text{K}^+$ – зовнішня сфера, її заряд дорівнює заряду внутрішньої сфери з протилежним знаком (+3). |
| Зв'язок між внутрішньою та зовнішньою сферою комплексу | Іонний:<br>$\text{K}_3[\text{Al}(\text{OH})_6] \rightarrow 3\text{K}^+ + [\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}$ ;<br>$\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2] \rightarrow \text{K}^+ + [\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ .  |
| Амінокомплекси   | Ліганди – молекули $\text{NH}_3$ або молекули, що містять групи $-\text{NH}_2$ , $=\text{NH}$ або $\equiv\text{N}$ , наприклад: $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ ; $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ ; $[\text{Cr}(\text{CH}_3\text{NH}_2)_6](\text{NO}_3)_3$   |
| Аквакомплекси  | Ліганди – молекули $\text{H}_2\text{O}$ , наприклад: $[\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6]\text{Cl}_3$ ; $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6](\text{NO}_3)_3$ .   |
| Ацидокомплекси   | Ліганди – кислотні залишки, наприклад: $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ; $\text{K}[\text{Ag}(\text{CN})_2]$ .   |
| Гідроксокомплекси                                      | Ліганди – іони $\text{OH}^-$ , наприклад: $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$ ; $\text{K}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]$   |
| Полігалогеніди   | Ліганди – молекули галогену, а комплексоутворювач – іон галогену, наприклад $\text{K}[\text{I}(\text{I}_2)]$ ; $\text{K}[\text{I}(\text{Cl}_2)]$ .   |
| Рівняння утворення катіонних комплексів:               | $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow [\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6](\text{NO}_3)_3$ ;<br>$\text{AgCl} + 2\text{NH}_3 \rightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ .  |
| Рівняння утворення аніонних комплексів:                | $3\text{NaOH} + \text{Al}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{Na}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]$ ;<br>$4\text{KCN} + \text{Fe}(\text{CN})_2 \rightarrow \text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ .   |
| Рівняння утворення нейтральних комплексів:             | $\text{PtCl}_2 + 2\text{NH}_3 \rightarrow [\text{Pt}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ ,<br>$\text{Fe} + 5\text{CO} \rightarrow [\text{Fe}(\text{CO})_5]$  |
| Гібридизація атомних орбіталей                         | Взаємодія (змішування, вирівнювання) різних за типом, але близьких за енергією атомних орбіталей даного атому з утворенням гібридних орбіталей однакової форми та енергії. Тип гібридизації визначається електронною конфігурацією комплексоутворювача, його координаційним числом, природою і електронною будовою лігандів  |
| Геометрична будова комплексів                          | Просторове розташування лігандів навколо центрального атома визначається типом   |

|  |   |
|--|---|
|  | гібридизації атомних орбіталей центрального атома. Див. Таблиця 3 |
|--|---|

**Таблиця 7. Залежність геометричної будови комплексів від координаційного числа та ступеня окиснення комплексоутворювача.**

| Координаційне число комплексоутворювача | Тип гібридизації АО комплексоутворювача | геометрична будова комплексного іона | Комплексні іони   |
|---|---|--------------------------------------|---|
| 2                                       | sp                                      | лінійна                              | [Ag(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ] <sup>+</sup> ;<br>[CuBr <sub>2</sub> ] <sup>-</sup> .    |
| 4                                       | sp <sup>3</sup>                         | тетраедр                             | [BeF <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup> ;<br>[Zn(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ] <sup>2+</sup> .   |
|   | dsp <sup>2</sup>                        | плоский квадрат                      | [Pt(NH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> ];<br>[Ni(CN) <sub>4</sub> ] <sup>2-</sup> |
| 6                                       | d <sup>2</sup> sp <sup>3</sup>          | октаедр                              | [Cr(OH) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup>  |
|   | sp <sup>3</sup> d <sup>2</sup>          | октаедр                              | [Al(OH) <sub>6</sub> ] <sup>3-</sup>  |

### Приклади виконання вправ

#### Приклад 1

Назвати: центральний іон, ліганди, координаційне число, ступінь окиснення комплексоутворювача, тип гібридизації атомних орбіталей комплексоутворювача, внутрішню координаційну сферу, зовнішню сферу, елементарний заряд комплексних іонів, геометрію комплексних іонів:

а) [PtCl<sub>2</sub>(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>], б) Na<sub>3</sub>[Al(OH)<sub>6</sub>].

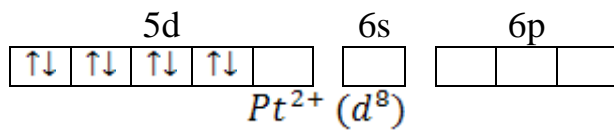
Розв'язок:

а) [PtCl<sub>2</sub>(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]

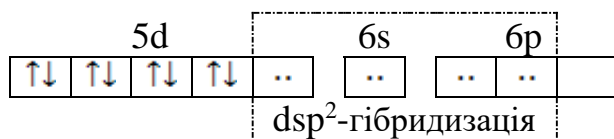
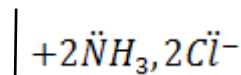


Утворення донорно–акцепторного зв'язку в комплексі [PtCl<sub>2</sub>(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>]:

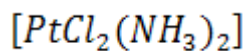
Електронна формула атома платини  ${}_{78}\text{Pt} \quad 5d^9 6s^1 6p^0$   
 Електронна формула іону платини  $\text{Pt}^{2+} \quad 5d^8 6s^0 6p^0$



Іон  $\text{Pt}^{2+}$  має вакантні орбіталі (одну 5d, одну 6s, три 6p), на які переходять чотири неподілені пари електронів хлору (2  $\text{Cl}^-$ ) та нітрогену (2  $\ddot{\text{N}}\text{H}_3$ ):



При цьому здійснюється dsp<sup>2</sup> гібридизація атомних орбіталей платини, ліганди розміщуються у вершинах квадрата



б)  $\text{Na}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]$

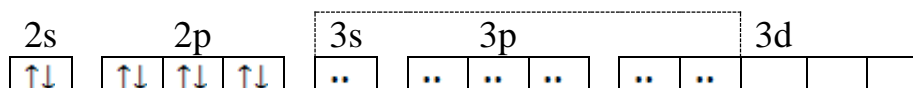
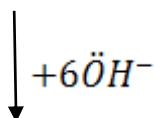
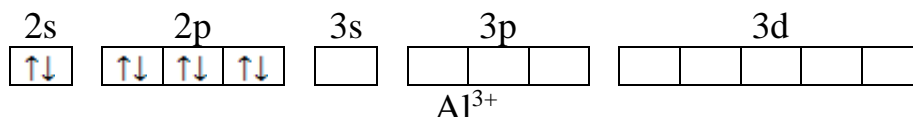


Утворення донорно-акцепторного зв'язку в іоні  $[\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}$ :

Електронна формула атома алюмінію  ${}_{13}\text{Al} \quad 1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1 3d^0$

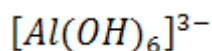
Електронна формула іону алюмінію  $\text{Al}^{3+} \quad 1s^2 2s^2 2p^6 3s^0 3p^0 3d^0$

Іон  $\text{Al}^{3+}$  має вакантні орбіталі (одну 3s, три 3p та п'ять 3d орбіталей), на які переходять шість неподілених електронних пар атому оксигену лігандної групи  $\text{OH}^-$ . При цьому здійснюється  $sp^3d^2$  гібридизація та октаедричне розміщення лігандів.





sp<sup>3</sup>d<sup>2</sup>-гібридизація



**Вправи для самостійного виконання.**

Назвати: центральний іон, ліганди, координаційне число, ступінь окиснення комплексоутворювача, тип гібридизації атомних орбіталей комплексоутворювача, дентантність лігандів, внутрішню координаційну сферу, зовнішню сферу, елементарний заряд комплексного іона, геометрію комплексного іона для сполук K<sub>2</sub>[Be(OH)<sub>4</sub>]; K<sub>2</sub>[HgI<sub>4</sub>]; K[Ag(CN)<sub>2</sub>]; [Zn(NH<sub>3</sub>)<sub>4</sub>]SO<sub>4</sub>; K<sub>3</sub>[AlF<sub>6</sub>]; [Cr(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>]Cl<sub>3</sub>. Відповіді занести в таблицю.

| Комплекси                                      |                                       |                                    |                         |   |                                    |   |
|--|---------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|---|------------------------------------|---|
| Назвати  | K <sub>2</sub> [Be(OH) <sub>4</sub> ] | K <sub>2</sub> [HgI <sub>4</sub> ] | K[Ag(CN) <sub>2</sub> ] | [Zn(NH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ]SO <sub>4</sub> | K <sub>3</sub> [AlF <sub>6</sub> ] | [Cr(H <sub>2</sub> O) <sub>6</sub> ]Cl <sub>3</sub> |
| центральний іон (комплексоутворювач)           |                                       |                                    |                         |   |                                    |   |
| ліганди  |                                       |                                    |                         |   |                                    |   |
| координаційне число                            |                                       |                                    |                         |   |                                    |   |
| ступінь окиснення комплексоутворювача          |                                       |                                    |                         |   |                                    |   |
| внутрішня координаційна сфера                  |                                       |                                    |                         |   |                                    |   |
| зовнішня сфера                                 |                                       |                                    |                         |   |                                    |   |
| елементарний заряд комплексного іона           |                                       |                                    |                         |   |                                    |   |
| дентантність лігандів                          |                                       |                                    |                         |   |                                    |   |
| тип гібридизації орбіталей комплексоутворювача |                                       |                                    |                         |   |                                    |   |
| геометрія комплексного іона                    |                                       |                                    |                         |   |                                    |   |

**Хімічна рівновага. Добуток розчинності**  
**Основні величини, що використовуються для опису рівноважних станів**

| Параметр  | Позначення,<br>одиниця виміру   | Змістове значення  |
|---|---|--|
| Константа рівноваги (виражена через концентрації) | $K_c$ <p>Для реакції<br/> <math>aA + bB \rightleftharpoons cC + dD</math></p> $K_c = \frac{[C]^c \cdot [D]^d}{[A]^a \cdot [B]^b}$ <p>де квадратні дужки означають рівноважні концентрації учасників реакції (в моль/л).</p> | <p>Дорівнює відношенню добутку рівноважних концентрацій продуктів реакції до добутку рівноважних концентрацій реагентів в степенях, рівних стехіометричним коефіцієнтам.</p> <p>Знаючи константу рівноваги реакції, можна розрахувати рівноважний склад реакційної суміші, вихід продуктів, визначити напрямок протікання реакції.</p> <p>Чим більше значення <math>K</math>, тим сильніше рівновага зміщена в бік утворення продуктів прямої реакції. Дуже велике значення <math>K</math> (<math>K \gg 1</math>) відповідає практично повному перетворенню вихідних речовин в продукти, а дуже маленьке значення (<math>K \ll 1</math>) говорить про те, що пряма реакція практично не проходить.</p> |
| Константа дисоціації                              | <p>Для кислоти:</p> $HAn \rightleftharpoons H^+ + An^-$ $K_a = \frac{[H^+] \cdot [An^-]}{[HAn]}$ <p>Для основи:</p> $KtOH \rightleftharpoons Kt^+ + OH^-$ $K_b = \frac{[OH^-] \cdot [Kt^+]}{[KtOH]}$                        | <p>Константа рівноваги, що описує дисоціацію слабого електроліту, використовується для кількісної характеристики сили електроліту.</p>   |
| Константа нестійкості                             | $MeL_n \rightleftharpoons Me + nL$ $K_{\text{нест.}} = \frac{[Me] \cdot [L]^n}{[MeL_n]}$  | <p>Константа рівноваги, що описує дисоціацію комплексного іона, використовується для кількісної характеристики стійкості внутрішньої сфери координаційної сполуки.</p>   |

|                     |   |   |
|---------------------|---|---|
| Добуток розчинності | $Kt_n An_m \rightleftharpoons nKt^{m+} + mAn^{n-}$ $DР = [Kt^{m+}]^n \cdot [An^{n-}]^m$ | Константа рівноваги, що описує рівновагу між іонами $Kt^{m+}$ , $An^{n-}$ в насиченому розчині та твердою фазою $Kt_n An_m$ ; використовується для кількісної характеристики розчинності малорозчинного електроліту $Kt_n An_m$ . |
|---------------------|---|---|

### Зміщення хімічної рівноваги.

**Принцип Ле Шательє:** якщо на рівноважну систему здійснити зовнішній вплив, то рівновага зміститься так, щоб зменшити ефект зовнішнього впливу.

Хімічна рівновага може бути зміщена за рахунок зміни температури, тиску або концентрацій речовин шляхом їх видалення або введення в систему.

1. Підвищення температури зміщує рівновагу в бік охолодження, тобто сприяє тій реакції, при якій теплота поглинається. Якщо пряма реакція екзотермічна, рівновага при нагріванні зміщується вліво, а якщо пряма реакція ендотермічна, то вправо. Зниження температури зміщує рівновагу в бік нагрівання, тобто сприяє екзотермічній реакції.

2. Тиск впливає тільки на оборотні *газові* реакції, причому тільки на ті з них, в яких відбувається зміна загального числа молекул газу. Збільшення тиску зміщує рівновагу в бік реакції, що йде зі зменшенням загального числа молекул газів, а зменшення тиску – в бік реакції, що йде зі збільшенням числа молекул.

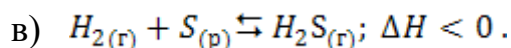
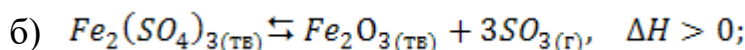
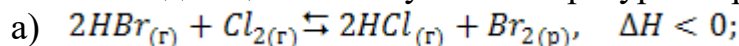
3. Додавання в рівноважну суміш якогось з компонентів реакції зміщує рівновагу в бік зменшення кількості речовини цього компоненту. Збільшення концентрації вихідних речовин та видалення продуктів реакції зміщують рівновагу в бік прямої реакції.

4. Каталізатори не впливають на положення рівноваги, а тільки прискорюють встановлення стану рівноваги.

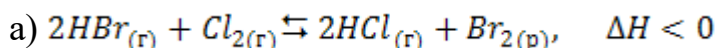
### Приклади розв'язання задач.

#### Приклад 1

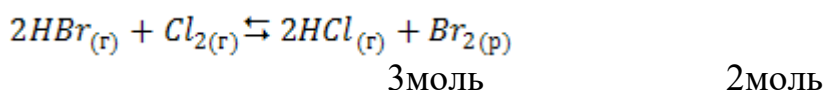
Як вплине підвищення тиску та температури на рівновагу наступних реакцій:



#### Розв'язок:

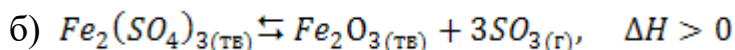


Протікання реакції в прямому напрямку приводить до зменшення загальної кількості молекул газів, тобто зменшення тиску в системі:

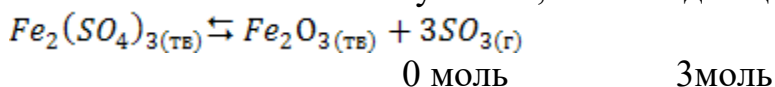


Тому, відповідно до принципу Ле Шательє, *підвищення тиску* викликає зсув рівноваги в бік прямої реакції (вправо).

Як видно з рівняння реакції, пряма реакція є екзотермічною ( $\Delta H < 0$ ), тобто йде з виділенням теплоти. Отже *підвищення температури* викликає зміщення рівноваги в бік ендотермічної зворотної реакції (вліво).

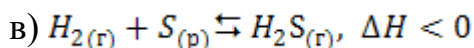


Протікання реакції в прямому напрямку приводить до збільшення загальної кількості молекул газів, тобто *підвищення тиску* в системі:

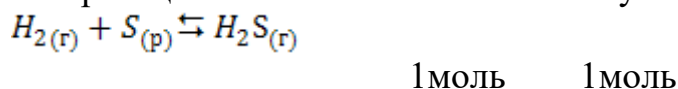


Тому, відповідно до принципу Ле Шательє, *підвищення тиску* викликає зсув рівноваги в бік зворотної реакції (вліво).

Як видно з рівняння реакції, пряма реакція є ендотермічною ( $\Delta H > 0$ ), тобто йде з поглинанням теплоти. Отже *підвищення температури* викликає зміщення рівноваги в бік прямої реакції (вправо).



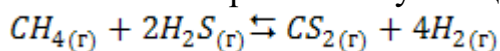
Тиск не впливає на положення хімічної рівноваги, оскільки в прямій та зворотній реакціях загальна кількість молекул газів не змінюється:



Як видно з рівняння реакції, пряма реакція є екзотермічною ( $\Delta H < 0$ ), тобто йде з виділенням теплоти. Отже *підвищення температури* викликає зміщення рівноваги в бік ендотермічної зворотної реакції (вліво).

### Приклад 2

Як вплине на рівноважну концентрацію водню в системі



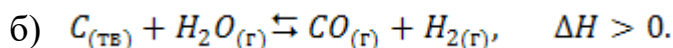
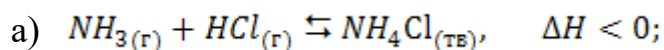
збільшення концентрації метану  $\text{CH}_4$ ?

#### Розв'язок:

Відповідно принципу Ле Шательє при збільшенні концентрації вихідних речовин рівновага зміщується в бік утворення продуктів, тобто вправо. Отже, збільшення концентрації вихідної речовини метану приведе до збільшення швидкості прямої реакції та, відповідно, до збільшення рівноважної концентрації водню.

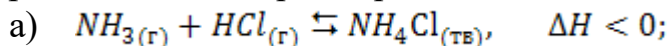
### Приклад 3

Які умови (температура, тиск) сприяють збільшенню виходу продуктів реакції в наступних випадках:



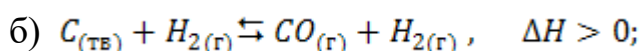
**Розв'язок:**

Для збільшення виходу продуктів необхідно викликати зміщення хімічної рівноваги в бік прямої реакції.



Пряма реакція екзотермічна ( $\Delta H < 0$ ), її протіканню сприятиме зниження температури. Пряма реакція приводить до зменшення загальної кількості молекул газів, її протіканню сприятиме підвищення тиску.

Отже, оптимальними умовами для збільшення виходу продуктів реакції є *низька температура, високий тиск*.

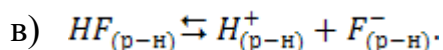
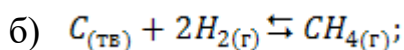
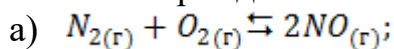


Пряма реакція ендотермічна ( $\Delta H > 0$ ), її протіканню сприятиме підвищення температури. Пряма реакція приводить до збільшення загальної кількості молекул газів, її протіканню сприятиме зниження тиску.

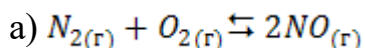
Отже, оптимальними умовами для збільшення виходу продуктів реакції є *висока температура, низький тиск*.

**Приклад 4**

Написати вираз для констант рівноваги наступних реакцій:

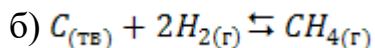


**Розв'язок:**



Коефіцієнт при NO дорівнює 2, тому концентрація оксиду нітрогену у виразі для константи рівноваги підноситься в квадрат; інші концентрації входять у вираз для константи рівноваги в першому степені. Концентрація продукту – NO – в чисельнику, концентрації вихідних речовин – N<sub>2</sub> та O<sub>2</sub> – в знаменнику:

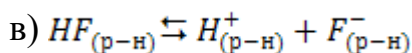
$$K = \frac{[NO]^2}{[N_2] \cdot [O_2]}.$$



Вуглець в цій реакції – чиста тверда речовина; його не включають у вираз для константи рівноваги, оскільки концентрація чистої твердої або рідкої речовини завжди стала. **У вираз для константи рівноваги входять тільки гази, оскільки їх концентрація залежить від умов, та (або) рідкі та тверді речовини, що знаходяться в розчині, де їх концентрація може змінюватись.** Для даної реакції у вираз для константи рівноваги входять лише концентрації водню та метану. Коефіцієнт при H<sub>2</sub> дорівнює 2, тому

концентрація водню у виразі для константи рівноваги підноситься в квадрат; концентрація метану входить у вираз для константи рівноваги в першому степені. Концентрація продукту –  $\text{CH}_4$  – в чисельнику, концентрація вихідної речовини –  $\text{H}_2$  – в знаменнику:

$$K = \frac{[\text{CH}_4]}{[\text{H}_2]^2} .$$



Реакція відбувається в розчині, тому у вираз для константи рівноваги входять концентрації всіх трьох частинок, що приймають участь в реакції, причому всі концентрації в першому степені. Концентрація вихідної речовини – недисоційованого  $\text{HF}$  – в знаменнику, концентрації продуктів –  $\text{H}^+$  та  $\text{F}^-$  - в чисельнику:

$$K = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{F}^-]}{[\text{HF}]} .$$

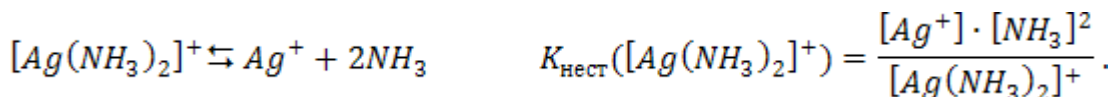
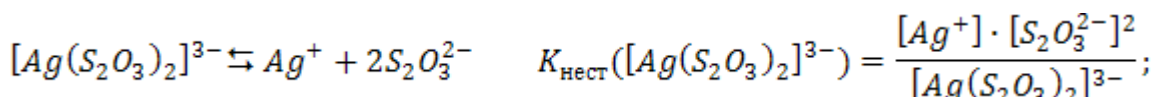
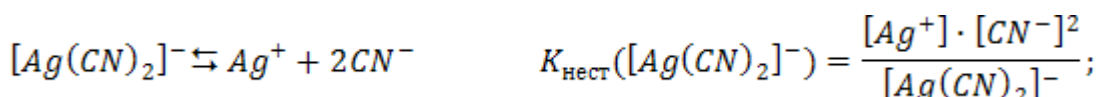
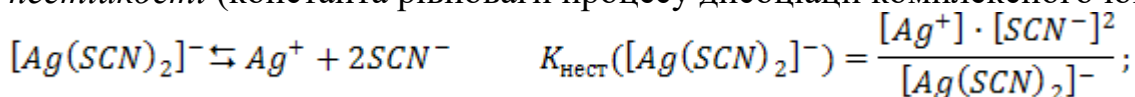
### Приклад 5

Написати вирази констант нестійкості наступних комплексних іонів:  $[\text{Ag}(\text{SCN})_2]^-$ ,  $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ ,  $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$ ,  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ .

Який з наведених комплексних іонів є найбільш стійким, а який найменш стійким?

#### Розв'язок:

Дисоціацію комплексного іона в розчині кількісно характеризує *константа нестійкості* (константа рівноваги процесу дисоціації комплексного іона):



Стійкість однотипних комплексних іонів можна порівняти шляхом зіставлення величин констант нестійкості (див. додаток 3):

$$K_{\text{нест}}([\text{Ag}(\text{SCN})_2]^-) = 5,89 \cdot 10^{-9} \text{ моль}^2/\text{л}^2 ;$$

$$K_{\text{нест}}([\text{Ag}(\text{CN})_2]^-) = 1 \cdot 10^{-21} \text{ моль}^2/\text{л}^2 ;$$

$$K_{\text{нест}}([\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}) = 3,47 \cdot 10^{-14} \text{ моль}^2/\text{л}^2 ;$$

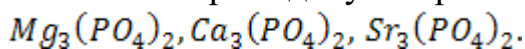
$$K_{\text{нест}}([\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+) = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ моль}^2/\text{л}^2 .$$

Чим менше значення має константа нестійкості, тим стійкішим є даний комплексний іон.

**Відповідь:** найбільш стійким є комплексний іон  $[Ag(CN)_2]^-$ , найменш стійким –  $[Ag(NH_3)_2]^+$ .

### Приклад 6

Написати вирази добутків розчинності наступних сполук:



Яка з наведених сполук найбільш розчинна у воді?

#### Розв'язок:

Вирази добутків розчинності:

$$ДР(Mg_3(PO_4)_2) = [Mg^{2+}]^3 \cdot [PO_4^{3-}]^2;$$

$$ДР(Ca_3(PO_4)_2) = [Ca^{2+}]^3 \cdot [PO_4^{3-}]^2;$$

$$ДР(Sr_3(PO_4)_2) = [Sr^{2+}]^3 \cdot [PO_4^{3-}]^2.$$

Розчинність однотипних малорозчинних електролітів можна порівняти шляхом зіставлення величин добутків розчинності (див. додаток 4):

$$ДР(Mg_3(PO_4)_2) = 1,04 \cdot 10^{-24} \text{ моль}^5/\text{л}^5;$$

$$ДР(Ca_3(PO_4)_2) = 2,07 \cdot 10^{-33} \text{ моль}^5/\text{л}^5;$$

$$ДР(Sr_3(PO_4)_2) = 1,0 \cdot 10^{-31} \text{ моль}^5/\text{л}^5.$$

Чим більше значення має добуток розчинності, тим більш розчинною є дана сполука.

**Відповідь:** найбільш розчинна у воді сполука  $Mg_3(PO_4)_2$ .

### Приклад 7

Які процеси будуть відбуватись в розчині, що містить рівні кількості іонів  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $I^-$ , при додаванні до нього катіону  $Ag^+$ ?

#### Розв'язок:

В розчині будуть послідовно випадати осади. Конкуренцію за спільний іон виграє той малорозчинний електроліт, який найміцніше зв'язується (найменше значення ДР) іоном осаджувача.

Добутки розчинності сполук наведені в додатку 4:

$$ДР(AgI) = 8,52 \cdot 10^{-17} \text{ моль}^2/\text{л}^2;$$

$$ДР(AgBr) = 5,35 \cdot 10^{-13} \text{ моль}^2/\text{л}^2;$$

$$ДР(AgCl) = 1,77 \cdot 10^{-10} \text{ моль}^2/\text{л}^2.$$

Оскільки

$$ДР(AgI) < ДР(AgBr) < ДР(AgCl),$$

то першим випадє осад  $Ag^+ + I^- \rightarrow AgI \downarrow$ ,

потім  $Ag^+ + Br^- \rightarrow AgBr \downarrow$ ,

і останнім  $Ag^+ + Cl^- \rightarrow AgCl \downarrow$ .



### Приклад 8

Які зміни відбудуться, якщо до розчину, який знаходиться в рівновазі з осадом  $\text{CaSO}_4$ , додати  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ?

#### Розв'язок:

Добуток розчинності – величина стала при певній температурі  
 $DP(\text{CaSO}_4) = [\text{Ca}^{2+}] \cdot [\text{SO}_4^{2-}] = \text{const}$

При додаванні  $\text{H}_2\text{SO}_4$  до насиченого розчину  $\text{CaSO}_4$  концентрація іонів  $\text{SO}_4^{2-}$  збільшується, внаслідок чого концентрація іонів  $\text{Ca}^{2+}$  зменшується таким чином, що їх добуток залишається сталою величиною.

**Відповідь:**  $DP(\text{CaSO}_4)$  не зміниться, молярна концентрація іонів  $\text{Ca}^{2+}$  зменшиться, тому що молярна концентрація іонів  $\text{SO}_4^{2-}$  збільшиться

### Приклад 9

Кісткова тканина починає формуватися в плазмі крові. Чи достатньою є концентрація катіону кальцію у вільному стані  $c(\text{Ca}^{2+}) = 1,0 \cdot 10^{-3}$  моль/л для утворення осаду  $\text{CaHPO}_4$ ? Щодо концентрації гідрофосфат-іонів, то вона, становить в плазмі крові  $c(\text{HPO}_4^{2-}) = 2,9 \cdot 10^{-4}$  моль/л.

#### Дано:

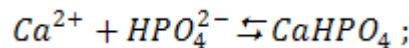
$$c(\text{Ca}^{2+}) = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$
$$c(\text{HPO}_4^{2-}) = 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$

#### Знайти:

ДК-?

#### Розв'язок:

Записати рівняння реакції:



Умовою утворення осаду є співвідношення  $DK > DP$ , де ДК - добуток концентрацій іонів малорозчинного електроліту; DP - добуток розчинності (довідникова величина, див. додаток 4):

$$DP(\text{CaHPO}_4) = 2,7 \cdot 10^{-7} \frac{\text{моль}^2}{\text{л}^2};$$

Обчислити добуток концентрацій

$$DK = c(\text{Ca}^{2+}) \cdot c(\text{HPO}_4^{2-}) = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л} \cdot 2,9 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л} = 2,9 \cdot 10^{-7} \text{ моль}^2/\text{л}^2;$$

Порівняти обчислене значення добутку концентрацій з табличним значенням добутку розчинності:

$$2,9 \cdot 10^{-7} > 2,7 \cdot 10^{-7} \implies \text{осад утвориться}$$

**Відповідь:** осад утвориться, тому що  $DK > DP$

### Приклад 10

Чи випаде осад при змішуванні рівних об'ємів розчинів  $\text{AgNO}_3$  та  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , молярна концентрація яких  $0,02$  моль/л?

**Дано:**

$$c_0(\text{AgNO}_3) = 0,02 \text{ моль/л}$$

$$c_0(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,02 \text{ моль/л}$$

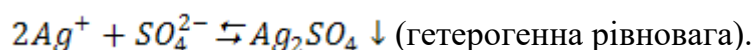
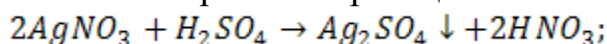
$$V(\text{AgNO}_3) = V(\text{H}_2\text{SO}_4)$$

**Знайти:**

ДК—?

**Розв'язок:**

1. Записати рівняння реакції:



**Умовою утворення осаду є співвідношення  $\text{ДК} > \text{ДР}$** , де ДК - добуток концентрацій іонів малорозчинного електроліту; ДР - добуток розчинності (довідникова величина, див. додаток 4):

$$\text{ДР}(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ моль}^3/\text{л}^3.$$

2. За умовою задачі зливаються рівні об'єми розчинів, тому концентрація солей зменшується вдвічі:

$$c(\text{AgNO}_3) = \frac{c_0(\text{AgNO}_3)}{2} = \frac{0,02 \text{ моль/л}}{2} = 0,01 \text{ моль/л};$$

$$c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{c_0(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{2} = \frac{0,02 \text{ моль/л}}{2} = 0,01 \text{ моль/л}.$$

3. Оскільки солі  $\text{AgNO}_3$  та  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  є сильними електролітами, молярні концентрації  $\text{Ag}^+$  та  $\text{SO}_4^{2-}$  дорівнюють загальним концентраціям  $\text{AgNO}_3$  та  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ :

$$c(\text{Ag}^+) = c(\text{AgNO}_3) = 0,01 \text{ моль/л};$$

$$c(\text{SO}_4^{2-}) = c(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,01 \text{ моль/л}.$$

4. Обчислити добуток концентрацій  $\text{Ag}^+$  та  $\text{SO}_4^{2-}$  в отриманому розчині:

$$\text{ДК}(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = c^2(\text{Ag}^+) \cdot c(\text{SO}_4^{2-})$$

$$\text{ДК}(\text{Ag}_2\text{SO}_4) = (0,01 \text{ моль/л})^2 \cdot 0,01 \text{ моль/л} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ моль}^3/\text{л}^3.$$

Порівняти обчислене значення добутку концентрацій з табличним значенням добутку розчинності:

$$1 \cdot 10^{-6} < 1,2 \cdot 10^{-5} \implies \text{осад не утвориться.}$$

**Відповідь:** осад не випаде, тому що  $\text{ДК} < \text{ДР}$ .

### Приклад 11

Обчислити масову концентрацію аргентум броміду  $\rho(\text{AgBr})$  в насиченому розчині, якщо добуток розчинності  $\text{AgBr}$  дорівнює  $5,35 \cdot 10^{-13} \text{ моль}^2/\text{л}^2$ .  
 $M(\text{AgBr}) = 188 \text{ г/моль}$ .

**Дано:**

$$\text{ДР}(\text{AgBr}) = 5,35 \cdot 10^{-13} \text{ моль}^2/\text{л}^2$$

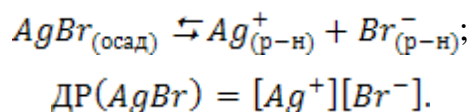
$$M(\text{AgBr}) = 188 \text{ г/моль}$$

**Знайти:**

$$\rho(\text{AgBr}) - ?$$

**Розв'язок:**

1. Записати рівняння гетерогенної рівноваги та вираз для добутку розчинності  $AgBr$ :



2. Обчислити молярну концентрацію  $AgBr$  в насиченому розчині:  
 $[Ag^+] = [Br^-] = c(AgBr)$

$$ДР(AgBr) = [Ag^+][Br^-] = c^2(AgBr)$$

$$c(AgBr) = \sqrt{ДР} = \sqrt{5,35 \cdot 10^{-13} \text{ моль}^2/\text{л}^2} = 7,31 \cdot 10^{-7} \text{ моль}/\text{л}$$

3. Обчислити масову концентрацію  $AgBr$ :

$$\rho(AgBr) = M(AgBr) \cdot c(AgBr)$$

$$\rho(AgBr) = 188 \text{ г}/\text{моль} \cdot 7,31 \cdot 10^{-7} \text{ моль}/\text{л} = 1,37 \cdot 10^{-4} \text{ г}/\text{л}$$

**Відповідь:**

$$\rho(AgBr) = 1,37 \cdot 10^{-4} \text{ г}/\text{л}$$

**Приклад 12**

Чи випаде осад  $Ag_2SO_4$  при підвищенні масової концентрації  $Ag_2SO_4$  в розчині до  $3,12 \text{ г}/\text{л}$ .

**Дано:**

$$\rho(Ag_2SO_4) = 3,12 \text{ г}/\text{л}$$

**Знайти:**

$$ДК(Ag_2SO_4) - ?$$

**Розв'язок:**

1. Записати рівняння гетерогенної рівноваги та вираз для добутку розчинності  $Ag_2SO_4$ :  
 $Ag_2SO_{4(осад)} \rightleftharpoons 2Ag^+_{(р-н)} + SO_4^{2-}_{(р-н)}$   
 $ДР = [Ag^+]^2[SO_4^{2-}]$ ; Табличне значення  $ДР(Ag_2SO_4) = 1,2 \cdot 10^{-5} \text{ моль}^3/\text{л}^3$ .

2. Обчислити молярну концентрацію  $Ag_2SO_4$  в розчині:

$$c(Ag_2SO_4) = \frac{\rho(Ag_2SO_4)}{M(Ag_2SO_4)} = \frac{3,12 \text{ г}/\text{л}}{312 \text{ г}/\text{моль}} = 0,01 \text{ моль}/\text{л}.$$

3. Обчислити добуток концентрацій  $Ag^+$  та  $SO_4^{2-}$  в розчині:

$$c(Ag^+) = 2 \cdot c(Ag_2SO_4);$$

$$c(SO_4^{2-}) = c(Ag_2SO_4);$$

$$ДК(Ag_2SO_4) = c^2(Ag^+) \cdot c(SO_4^{2-}) = (2 \cdot c(Ag_2SO_4))^2 \cdot c(Ag_2SO_4) = 4 \cdot c^3(Ag_2SO_4)$$

$$ДК(Ag_2SO_4) = 4 \cdot (0,01 \text{ моль}/\text{л})^3 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ моль}^3/\text{л}^3.$$

Порівняти обчислене значення добутку концентрацій з табличним значенням добутку розчинності:

$$4 \cdot 10^{-6} < 1,2 \cdot 10^{-5} \implies \text{осад не утвориться.}$$

**Відповідь:** осад не випаде, тому що  $ДК < ДР$ .

## 9. Визначення окисно-відновного потенціалу

### Основні терміни

| Термін                       | Визначення   |
|------------------------------|--|
| <i>Провідник</i>             | Речовина, яка проводить електричний струм.   |
| <i>Провідники I роду</i>     | Провідники, в яких носіями електричного заряду є електрони (метали та деякі неметали, наприклад графіт).   |
| <i>Провідники II роду</i>    | Провідники, в яких носіями електричного заряду є іони (розчини і розплави електролітів).   |
| <i>Електрод</i>              | Система, що складається провідника першого роду (метал або напівпровідник) та провідника другого роду (розчин або розплав електроліту).  |
| <i>Електродні процеси</i>    | Фізико-хімічні процеси, які відбуваються на границі поділу провідників I та II роду та супроводжуються переходом через цю границю електронів та (або) іонів.   |
| <i>Електродний потенціал</i> | Різниця електростатичних потенціалів на границі між електродом і розчином, основна причина його існування – рух іонів між поверхнею металу та розчином, просторове розділення зарядів протилежного знаку на границі поділу фаз та виникнення подвійного електричного шару.   |
| <i>Гальванічний елемент</i>  | Пристрій, в якому хімічна енергія окисно-відновної реакції перетворюється в електричну за рахунок просторового розділення процесів окиснення та відновлення. Конструктивно гальванічний елемент складається з двох електродів, що утворюють внутрішній ланцюг:<br>$(-)\text{Анод} \text{Анодний розчин}  \text{Катодний розчин} \text{Катод}(+)$ <i>Анод</i> – електрод, на якому протікає процес окиснення; в гальванічному елементі заряджається від’ємно. <i>Катод</i> – електрод, на якому протікає процес відновлення; в гальванічному елементі заряджається позитивно. Катодом в гальванічному елементі стає електрод з більшим значенням потенціалу, анодом – електрод з меншим значенням потенціалу. |
| <i>Потенціометрія</i>        | Фізико-хімічний метод аналізу, в основі якого лежить залежність рівноважного потенціалу електрода від активності (концентрації) досліджуваного іону. Для реєстрації потенціалу необхідно скласти гальванічний елемент (ГЕ) з підходящого індикаторного електрода та електрода порівняння.  |
| <i>Електрод порівняння</i>   | Електрод, потенціал якого практично сталий, легко відтворюваний та не залежить від протікання побічних реакцій.  |
| <i>Електрод</i>              | Електрод, потенціал якого залежить від активності  |

визначення  
(індикаторний)

(концентрації) іонів, що визначаються, та практично не залежить від вмісту інших іонів в розчині.

### Класифікація електродів

**Електроди з електрохімічною реакцією**

**Електроди без електрохімічної реакції**  
*Іонообмінні (іонселективні) електроди* – електрохімічні схеми, потенціал яких визначається процесами розподілу іонів між внутрішнім (стандартним) розчином, мембраною, що розділяє стандартний і досліджуваній розчини, та зовнішнім (досліджуваним) розчином.

#### **Оборотні відносно катіона та аніона малорозчинної солі (Електроди другого роду)**

Електроди другого роду являють собою метал, вкритий шаром його малорозчинної солі. При зануренні в розчин, що містить однойменні аніони потенціал електрода визначається активністю (концентрацією) аніонів в розчині

#### **Оборотні відносно іонів в розчині**

**Електроди першого роду** складаються з елементарної речовини, яка знаходиться в контакті з розчином, що містить її власні іони.

*пластинка*, виготовлена з простої речовини (*металу або неметалу*), та занурена в розчин, що містить іони даного металу або неметалу.

*Газовий електрод* як один з компонентів електродної пари містить газ ( $H_2$ ,  $Cl_2$  та ін.), адсорбований на хімічно інертному провіднику першого роду (зазвичай платинова пластинка, вкрита шаром дрібно-дисперсної платини).

**Окисно-відновні електроди** складаються з електрохімічно інертного провідника (платини, графіту тощо), зануреного в розчин, що містить речовини, до складу яких входить один і той же елемент в різному ступені окиснення. Такий розчин називають окисно-відновною системою. В потенціалвизначальних процесах цих електродів не приймає участь матеріал електроду. Інертний електрод відіграє роль посередника в передачі електронів від відновленої форми до окисленої.

### Основні величини, що використовуються в потенціометрії

| Параметр                                  | Позначення, одиниця виміру  | Змістове значення   |
|---|---|---|
| Потенціал електродів першого роду         | $E_{M^{n+}/M}, \text{ В}$ <p>Рівняння Нернста для електродів першого роду:</p> $E_{M^{n+}/M} = E_{M^{n+}/M}^0 + \frac{2,3RT}{nF} \lg a(M^{n+})$ <p>де:</p> <p><b>R</b> – газова стала, <math>8,31 \frac{\text{В} \cdot \text{Кл}}{\text{моль} \cdot \text{К}}</math>;</p> <p><b>T</b> – температура, К;</p> <p><b>F</b> – стала Фарадея, <math>96500 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}</math>;</p> <p><b>n</b> – кількість електронів, що приймають участь в електродному процесі <math>M^{n+} + ne^- \rightleftharpoons M</math>;</p> <p><math>a(M^{n+})</math> – активність іонів металу в розчині, моль/л; в розведених розчинах електролітів коефіцієнти активності не сильно відрізняються від одиниці, тому в рівнянні Нернста замість активності катіонів металу можна використовувати їх молярну концентрацію;</p> <p><math>E_{M^{n+}/M}^0</math> - стандартний електродний потенціал.</p> <p>При <math>T = 298\text{К}</math>:</p> $E_{M^{n+}/M} = E_{M^{n+}/M}^0 + \frac{0,059}{n} \lg a(M^{n+})$ | <p>Стрибок потенціалу, що виникає на границі між металом та розчином, який містить іони цього металу.</p> <p>Абсолютне значення електродного потенціалу виміряти неможливо. В зв'язку з цим на практиці обирають так званий електрод порівняння, потенціал якого приймають рівним 0 при будь-якій температурі та відносно нього вимірюють потенціали всіх інших електродів. За електрод порівняння приймають стандартний водневий електрод.</p> <p><i>Електродний потенціал дорівнює ЕРС гальванічного елементу, складеного з стандартного водневого електрода та досліджуваного електрода.</i></p> |
| Стандартний потенціал водневого електрода | $E_{H^+/H_2}^0 = 0$   | <p>Потенціал водневого електрода, у якого активність іонів <math>H^+</math> в розчині дорівнює 1 моль/л та тиск газоподібного водню над розчином дорівнює 101,3 кПа (1 атм).</p>  |
| Потенціал водневого електрода             | $E_{H^+/H_2}, \text{ В}$ <p>Рівняння Нернста для водневого електрода (при <math>T = 298\text{К}, p_{H_2} = 101,3\text{кПа}</math>):</p> $E_{H^+/H_2} = 0,059 \cdot \lg a(H^+)$ <p>або</p> $E_{H^+/H_2} = -0,059 \cdot pH$   | <p>Залежить від активності іонів <math>H^+</math>, температури та тиску газоподібного водню над розчином.</p>   |

|  |   |   |
|--|---|---|
| Стандартний електродний потенціал                        | $E_{M^{n+}/M}^0, \text{В}$  | Значення електродного потенціалу, виміряне в стандартних умовах:<br>$T = 298\text{K}$<br>$a(M^{n+}) = 1 \text{ моль/л}$   |
| Потенціал хлорсрібного електрода (електрод другого роду) | Рівняння Нернста для хлорсрібного електрода (при $T = 298\text{K}$ ):<br>$E_{\text{ХСЕ}} = E_{\text{ХСЕ}}^0 - 0,059 \cdot \lg a(\text{Cl}^-)$<br>де<br>$E_{\text{ХСЕ}}^0 = E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}}^0 + 0,059 \cdot \lg \text{ДР}(\text{AgCl})$<br>$\text{ДР}(\text{AgCl}) = a(\text{Ag}^+) \cdot a(\text{Cl}^-)$  | Потенціал хлорсрібного електрода визначається активністю (концентрацією) іонів $\text{Cl}^-$ в розчині.<br>Потенціал ХСЕ в насиченому розчині $\text{KCl}$ , має практично сталі значення (залежить лише від температури), тому його часто використовують як електрод порівняння в потенціометричних вимірюваннях.<br>При $298\text{K}$ потенціал насиченого ХСЕ дорівнює <b>0,201В</b> |
| Потенціал скляного рН-чутливого електрода                | Рівняння Нернста для скляного електрода (при $T = 298\text{K}$ ):<br>$E_{\text{СК}} = \text{const} + 0,059 \cdot \lg a(\text{H}^+)$<br>або<br>$E_{\text{СК}} = \text{const} - 0,059 \cdot \text{pH}$<br>де <i>const</i> – константа, що є індивідуальною характеристикою кожного конкретного скляного електрода, залежить від складу та товщини скла.                           | Потенціал скляного електрода визначається активністю іонів $\text{H}^+$ в досліджуваному розчині.<br>Скляний електрод зазвичай використовують як індикаторний електрод при потенціометричному визначенні рН.  |
| Окисно-відновний потенціал                               | $E_{\text{Ox/Red}}, \text{В}$<br>Рівняння Нернста-Петерса (при $T = 298\text{K}$ ):<br>$E_{\text{Ox/Red}} = E_{\text{Ox/Red}}^0 + \frac{0,059}{n} \lg \frac{a(\text{Ox})}{a(\text{Red})}$<br>$n$ – кількість електронів, що приймають участь в окисно-відновному процесі<br>$\text{Ox} + ne^- \rightleftharpoons \text{Red};$<br>$a(\text{Ox})$ та $a(\text{Red})$ – активності | Стрибок потенціалу, що виникає на інертному платиновому електроді, зануреному в розчин, який містить спряжену окисно-відновну пару.   |



|  |   |  |
|--|---|--|
|  | (концентрації) окисненої та відновленої форм в розчині, моль/л;<br>$E_{Ox/Red}^0$ - стандартний окисно-відновний потенціал. |  |
| Стандартний окисно-відновний потенціал     | $E_{Ox/Red}^0, В$   | Стрибок потенціалу, що виникає на границі поділу платина – розчин, в якому активності окисненої та відновленої форм рівні 1 моль/л (або просто рівні між собою при рівності їх стехіометричних коефіцієнтів) |
| Електрорушійна сила гальванічного елементу | ЕРС, В<br>$ЕРС = E_{\kappa} - E_{\alpha}$   | Різниця потенціалів катода і анода.  |

### Приклади розв'язання задач.

#### Приклад 1

Обчислити потенціал цинкового електрода при  $T = 298K$ , в розчині цинк хлориду  $ZnCl_2$ , в якому активність іонів  $Zn^{2+}$  дорівнює 0,07 моль/л.

**Дано:**

$$T = 298K$$

$$a(Zn^{2+}) = 0,07 \text{ моль/л}$$

**Знайти:**

$$E_{Zn^{2+}/Zn} - ?$$

#### Розв'язок:

Записати рівняння Нернста для цинкового електрода при 298K:

$$E_{Zn^{2+}/Zn} = E_{Zn^{2+}/Zn}^0 + \frac{0,059}{2} \lg a(Zn^{2+})$$

(2- число електронів в електродній реакції  $Zn^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons Zn$ )

Виписати табличне значення стандартного потенціалу цинкового електрода (додаток 5):

$$E_{Zn^{2+}/Zn}^0 = -0,763В$$

Обчислити значення потенціалу цинкового електрода в заданому розчині:

$$E_{Zn^{2+}/Zn} = -0,763 + \frac{0,059}{2} \lg 0,07 = -0,797 В$$

**Відповідь:**  $E_{Zn^{2+}/Zn} = -0,797 В$

### Приклад 2

Розрахувати величину потенціалу окисно-відновного електрода  $Pt|Sn^{4+}, Sn^{2+}$  при  $T = 298K$ , якщо концентрації  $SnCl_2$  та  $SnCl_4$  дорівнюють відповідно 0,01 та 0,05 моль/л (вважати що активність іонів дорівнює концентрації).

**Дано:**

$$T = 298K$$

$$c(SnCl_2) = 0,01 \text{ моль/л}$$

$$c(SnCl_4) = 0,05 \text{ моль/л}$$

**Знайти:**

$$E_{Sn^{4+}/Sn^{2+}} - ?$$

**Розв'язок:**

Залежність потенціалу окисно-відновного електрода від співвідношення концентрацій (активностей) окисненої та відновленої форм визначається рівнянням Нернста-Петерса і при  $T = 298K$  для даної окисно-відновної системи має вигляд:

$$E_{Sn^{4+}/Sn^{2+}} = E_{Sn^{4+}/Sn^{2+}}^0 + \frac{0,059}{2} \lg \frac{c(Sn^{4+})}{c(Sn^{2+})}$$

(2- число електронів в електродній реакції  $Sn^{4+} + 2e^- \rightleftharpoons Sn^{2+}$ ).

Табличне значення стандартного окисно-відновного потенціалу для даної системи (див. додаток 5):

$$E_{Sn^{4+}/Sn^{2+}}^0 = 0,151 \text{ В.}$$

Обчислити значення потенціалу при заданих концентраціях окисненої та відновленої форм ( $c(Sn^{2+}) = c(SnCl_2)$ ,  $c(Sn^{4+}) = c(SnCl_4)$ ):

$$E_{Sn^{4+}/Sn^{2+}} = 0,151 + \frac{0,059}{2} \lg \frac{0,05}{0,01} = 0,151 + 0,021 = 0,172 \text{ В}$$

**Відповідь:**  $E_{Sn^{4+}/Sn^{2+}} = 0,172 \text{ В}$

### Приклад 3

Обчислити активність іонів  $Ag^+$  в розчині при  $T = 298K$ , якщо потенціал срібного електрода дорівнює 623мВ.

**Дано:**

$$T = 298K$$

$$E_{Ag^+/Ag} = 623\text{мВ} = 0,623 \text{ В}$$

**Знайти:**

$$a(Ag^+) - ?$$

**Розв'язок:**

Записати рівняння Нернста для срібного електрода при 298К:

$$E_{Ag^+/Ag} = E_{Ag^+/Ag}^0 + \frac{0,059}{1} \lg a(Ag^+)$$

(1- число електронів в електродній реакції  $Ag^+ + e^- \rightleftharpoons Ag$ )

Виписати табличне значення стандартного потенціалу цинкового електрода (див. додаток 5):

$$E_{Ag^+/Ag}^0 = 0,800\text{В}$$

Підставити значення  $E_{Ag^+/Ag}$  та  $E_{Ag^+/Ag}^0$  в рівняння Нернста:

$$0,623 = 0,800 + 0,059 \cdot \lg a(\text{Ag}^+)$$

Обчислити значення активності іонів  $\text{Ag}^+$  в даному розчині:

$$\lg a(\text{Ag}^+) = \frac{0,623 - 0,800}{0,059} = -3$$

$$a(\text{Ag}^+) = 10^{-3} \text{ моль/л}$$

**Відповідь:**  $a(\text{Ag}^+) = 10^{-3} \text{ моль/л}$

#### Приклад 4

Обчислити концентрацію іонів  $\text{Cu}^{2+}$  в розчині при  $T = 298\text{K}$ , якщо потенціал мідного електрода на 118мВ менше його стандартного значення.

**Дано:**

$$T = 298\text{K}$$

$$E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 - E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = 118\text{мВ} = 0,118\text{В}$$

**Знайти:**

$$c(\text{Cu}^{2+}) - ?$$

**Розв'язок:**

Записати рівняння Нернста для мідного електрода при 298К:

$$E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 + \frac{0,059}{2} \lg c(\text{Cu}^{2+})$$

(2- число електронів в електродній реакції  $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$ )

Виразити концентрацію іонів  $\text{Cu}^{2+}$  з рівняння Нернста:

$$-\frac{0,059}{2} \lg a(\text{Cu}^{2+}) = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 - E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}$$

$$\lg a(\text{Cu}^{2+}) = -\frac{2(E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 - E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}})}{0,059} = -\frac{2 \cdot 0,118}{0,059} = -4$$

$$a(\text{Cu}^{2+}) = 10^{-4}$$

**Відповідь:**  $a(\text{Cu}^{2+}) = 10^{-4}$

#### Приклад 5

Розрахувати ЕРС гальванічного елемента при 298К, складеного з двох мідних електродів з  $c_1(\text{Cu}^{2+}) = 10^{-2} \text{ моль/л}$  і  $c_2(\text{Cu}^{2+}) = 10^{-4} \text{ моль/л}$ .

**Дано:**

$$T = 298\text{K}$$

$$c_1(\text{Cu}^{2+}) = 10^{-2} \text{ моль/л}$$

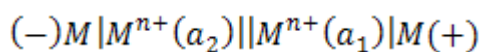
$$c_2(\text{Cu}^{2+}) = 10^{-4} \text{ моль/л}$$

**Знайти:**

$$\text{ЕРС} - ?$$

**Розв'язок:**

**Концентраційні гальванічні елементи** складаються з однакових електродів, що відрізняються різними активностями (концентраціями) потенціал-визначального іона  $M^{n+}$  в розчині. З рівняння Нернста витікає, що при  $a_1 > a_2$  ЕРС концентраційного елемента



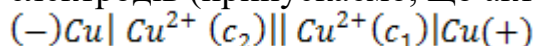
дорівнює:

$$EPC = E_{1M^{n+}/M} - E_{2M^{n+}/M}$$

$$EPC = \left( E_{M^{n+}/M}^0 + \frac{0,059}{n} \lg a_1(M^{n+}) \right) - \left( E_{M^{n+}/M}^0 + \frac{0,059}{n} \lg a_2(M^{n+}) \right)$$

$$EPC = \frac{0,059}{n} \lg \frac{a_1(M^{n+})}{a_2(M^{n+})}$$

Отже, для концентраційного гальванічного елементу, складеного з мідних електродів (припускаємо, що активність іонів дорівнює концентрації):



$$c_2 < c_1$$

$$EPC = \frac{0,059}{2} \lg \frac{c_1(Cu^{2+})}{c_2(Cu^{2+})}$$

$$EPC = \frac{0,059}{2} \lg \frac{10^{-2}}{10^{-4}} = \frac{0,059}{2} \lg 10^2 = 0,059 \text{ (В)}$$

**Відповідь:**

$$EPC = 0,059 \text{ (В)}$$

### Приклад 6

Розрахувати EPC гальванічного елементу при 298К, складеного з двох водневих електродів з  $pH_1 = 1$  і  $pH_2 = 6$ .

**Дано:**

$$T = 298K$$

$$pH_1 = 1$$

$$pH_2 = 6$$

**Знайти:**

EPC—?

### Розв'язок:

Схема концентраційного гальванічного елементу, складеного з водневих електродів:



$$c_2 < c_1$$

$$EPC = E_{1H^+/H_2} - E_{2H^+/H_2} = 0,059 \cdot \lg c_1(H^+) - 0,059 \cdot \lg c_2(H^+)$$

враховуючи, що  $pH_1 = -\lg c_1(H^+)$ ,  $pH_2 = -\lg c_2(H^+)$ :

$$EPC = 0,059(pH_2 - pH_1)$$

$$EPC = 0,059 \cdot (6 - 1) = 0,295 \text{ В}$$

**Відповідь:** EPC = 0,295 В

### Приклад 7

Розрахувати EPC гальванічного елементу при 298К складеного з цинкового електрода з  $c(Zn^{2+}) = 10^{-2}$  моль/л і мідного електрода з  $c(Cu^{2+}) = 10^{-3}$  моль/л.

**Дано:**

$$T = 298K$$

$$c(\text{Zn}^{2+}) = 10^{-2} \text{ моль/л}$$

$$c(\text{Cu}^{2+}) = 10^{-3} \text{ моль/л}$$

**Знайти:**

ЕРС—?

**Розв'язок:**

Табличні значення стандартних електродних потенціалів (див. додаток 5):

$$E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0 = -0,763\text{В}$$

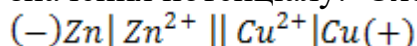
$$E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 = 0,340\text{В}$$

Потенціали окремих електродів згідно рівнянню Нернста дорівнюють:

$$E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}^0 + \frac{0,059}{2} \lg c(\text{Cu}^{2+}) = 0,340 + \frac{0,059}{2} \lg 10^{-3} = 0,252 \text{ (В)}$$

$$E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} = E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}^0 + \frac{0,059}{2} \lg c(\text{Zn}^{2+}) = -0,763 + \frac{0,059}{2} \lg 10^{-2} = -0,822 \text{ (В)}$$

З двох електродів катодом буде мідний електрод, оскільки має більше значення потенціалу. Схема гальванічного елемента:



$$\text{ЕРС} = E_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}} - E_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}} = 0,252\text{В} - (-0,822\text{В}) = 1,074\text{В}$$

**Відповідь:** ЕРС = 1,074В

### Приклад 8

Розрахувати ЕРС гальванічного елемента при 298К складеного із срібного електрода з  $c(\text{Ag}^+) = 10^{-2}$  моль/л та хлорсрібного електрода, зануреного в насичений розчин КСl.  $E_{\text{хсе}} = 0,201\text{В}$ .

**Дано:**

$$c(\text{Ag}^+) = 10^{-2} \text{ моль/л}$$

$$E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}}^0 = 0,800\text{В}$$

$$E_{\text{хсе}} = 0,201\text{В}$$

**Знайти:**

ЕРС—?

**Розв'язок:**

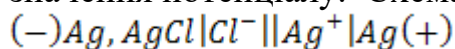
Потенціал срібного електрода згідно рівнянню Нернста дорівнює:

$$E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}} = E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}}^0 + 0,059 \cdot \lg c(\text{Ag}^+) = 0,800 + 0,059 \cdot \lg 10^{-2} = 0,682 \text{ В};$$

стандартний потенціал срібного електрода наведено в додатку 5,

$$E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}}^0 = 0,800\text{В}.$$

З двох електродів катодом буде срібний електрод, оскільки має більше значення потенціалу. Схема гальванічного елемента:



$$\text{ЕРС} = E_{\text{Ag}^+/\text{Ag}} - E_{\text{хсе}} = 0,682\text{В} - 0,201\text{В} = 0,481\text{В}$$

**Відповідь:** ЕРС = 0,481В

### Приклад 9

ЕРС гальванічного елементу, в якому анодом є водневий електрод ( $p(H_2) = 1 \text{ атм}$ ), занурений в розчин оцтової кислоти, а катодом – хлорсрібний електрод (насичений розчин  $KCl$ ), дорівнює  $0,467 \text{ В}$ . Обчислити рН розчину та загальну молярну концентрацію оцтової кислоти (ступінь дисоціації  $0,5\%$ ).

$$E_{xc} = 0,201 \text{ В.}$$

Дано:

$$T = 298 \text{ К}$$

$$ЕРС = 0,467 \text{ В}$$

$$p(H_2) = 1 \text{ атм}$$

$$\alpha = 0,5\% = 0,005$$

$$E_{xc} = 0,201 \text{ В}$$

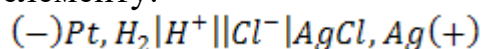
Знайти:

$$pH - ?$$

$$c(CH_3COOH) - ?$$

**Розв'язок:**

1. Схема гальванічного елементу:



Для обчислення рН розчину необхідно розрахувати значення потенціалу водневого електрода в даному розчині:

$$ЕРС = E_{xse} - E_{H^+/H_2} \implies E_{H^+/H_2} = E_{xse} - ЕРС,$$

отже

$$E_{H^+/H_2} = 0,201 - 0,467 = -0,266 \text{ В.}$$

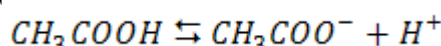
Залежність потенціалу водневого електрода від рН розчину при ( $T = 298 \text{ К}$ ,  $p(H_2) = 1 \text{ атм}$ ) виражається рівнянням

$$E_{H^+/H_2} = -0,059 pH,$$

звідки рН дорівнює:

$$pH = -\frac{E_{H^+/H_2}}{0,059} = -\frac{-0,266}{0,059} = 4,51.$$

2. Рівняння дисоціації оцтової кислоти:



Для обчислення загальної молярної концентрації оцтової кислоти необхідно розрахувати рівноважну концентрацію іонів  $H^+$ :

$$pH = -\lg[H^+] \implies [H^+] = 10^{-pH} = 10^{-4,51} = 3,1 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

Отже

$$c(CH_3COOH) = \frac{[H^+]}{n \cdot \alpha} = \frac{3,1 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л}}{1 \cdot 0,005} = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$$

( $n$  – кількість кислих протонів в молекулі кислоти)

**Відповідь:**  $pH = 4,51$ ;  $c(CH_3COOH) = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$

### Приклад 10

Скляний електрод, з'єднаний в гальванічний елемент з хлорсрібним

електродом при  $T = 298K$ , спочатку занурили в розчин з  $pH = 3$ , а потім в досліджувану пробу шлункового соку. При цьому потенціал скляного електроду збільшився на  $0,055$  В. Обчислити  $pH$  шлункового соку.

**Дано:**

$$T = 298K$$

$$pH_1 = 3$$

$$E_{2ск} - E_{1ск} = 0,055В$$

**Знайти:**

$$pH_2 - ?$$

**Розв'язок:**

Потенціал скляного електроду при  $T = 298K$  залежить від  $pH$  розчину відповідно до рівняння

$$E_{ск} = const - 0,059pH,$$

де *const* є індивідуальною характеристикою кожного конкретного електрода, залежить від складу скла, товщини  $pH$ -чутливого поверхневого шару мембрани.

Потенціал скляного електроду, зануреного в розчин з  $pH = 3$  дорівнює

$$E_{1ск} = const - 0,059 \cdot 3,$$

Потенціал скляного електроду, зануреного в досліджувану пробу шлункового соку дорівнює

$$E_{2ск} = const - 0,059pH_2,$$

Отже

$$E_{2ск} - E_{1ск} = (const - 0,059pH_2) - (const - 0,059 \cdot 3) = 0,059(3 - pH_2)$$

За умовою задачі  $E_{2ск} - E_{1ск} = 0,055В$ , тоді

$$0,055 = 0,059(3 - pH_2)$$

$$pH_2 = 3 - \frac{0,055}{0,059} = 2,1$$

**Відповідь:**  $pH_2 = 2,1$



## 10. Сорбція біологічно-активних речовин на межі поділу фаз. Іонний обмін. Хроматографія.

### Перелік основних термінів

| Термін                                     | Змісто́ве значення   |
|--|--|
| Адсорбція                                  | Самодовільний процес концентрування розчиненої речовини на межі поділу фаз.  |
| Правило Дюкло-Траубе                       | В гомологічному ряді карбонових кислот, спиртів, амінів при збільшенні довжини вуглеводневого ланцюга на одну $\text{CH}_2$ -групу поверхнева активність речовин збільшується в 3 – 3,5 рази.  |
| Адсорбент                                  | Речовина, на поверхні якої відбувається адсорбція.   |
| Адсорбат, або адсорбтив                    | Речовина, яка адсорбується на поверхні адсорбенту.   |
| Правило вирівнювання полярностей Ребіндера | На полярних адсорбентах краще адсорбуються полярні речовини з неполярних чи малополярних розчинників, а на неполярних – неполярні речовини з полярних розчинників.   |
| Адсорбційна рівновага                      | Це такий стан системи адсорбент – адсорбат, коли швидкість адсорбції дорівнює швидкості десорбції.   |
| Гемосорбція                                | Метод безпосередньої очистки крові, при якому кров позбавляється токсинів шляхом її пропускання через колонку з адсорбентом, підключену до системи циркуляції крові.   |
| Плазмосорбція                              | Ефективний метод детоксикації організму, суть якого полягає в пропусканні плазми, перед тим відділеної від формених елементів крові, через колонку з сорбентом, після чого очищена плазма з'єднується з форменими елементами та повертається до судинного русла. |
| Лімфосорбція                               | Вид сорбційної детоксикації організму, що полягає в пропусканні лімфи, виведеної з організму через грудний лімфатичний потік на шиї, крізь колонку з сорбентом, та наступному введенні позбавленої від токсичних речовин лімфи до судинної системи пацієнта.     |
| Лікворосорбція                             | Вид детоксикації організму, при якому спинномозкова рідина пропускається крізь шар сорбційного матеріалу, після чого повертається очищеною до спинномозкового  |

|                       |   |
|-----------------------|---|
|                       | каналу.   |
| Аплікаційна сорбція   | Один із видів сорбційної детоксикації, який сприяє загоєнню інфікованих ран та опіків і відновленню цілісності шкіри, а також слизових оболонок шляхом сорбційного поглинання токсинів із рани чи зони опіку.                                 |
| Ентеросорбція         | Вид сорбційної детоксикації організму, при якому сорбент потрапляє у ротову порожнину, після чого, проходячи з різною швидкістю через відділи системи травлення, він адсорбує токсичні речовини та продукти метаболізму.                      |
| Правило Панета-Фаянса | На поверхні кристалу з розчину переважно адсорбуються ті іони, які можуть добудувати його кристалічну ґратку, або ізоморфні з її іонами, утворюючи при цьому з іонами кристалу важкорозчинні сполуки.   |
| Іонообмінна адсорбція | Процес, при якому адсорбент та розчин обмінюються між собою в еквівалентних кількостях одноіменно зарядженими іонами.   |
| Катіоніти             | Це іоніти, здатні до обміну катіонами з розчином.   |
| Аніоніти              | Це іоніти, здатні до обміну аніонами з розчином.  |
| Хроматографія         | Фізико-хімічний метод розділення та аналізу сумішей речовин, заснований на їх різному розподілі між двома фазами, одна з яких нерухома (тверде тіло або рідина), а інша – рухома (газ або рідина), яка при цьому фільтрується крізь нерухому. |

В розподільчій хроматографії коефіцієнт розподілу позначається як  $R_f$ . У варіанті паперової хроматографії для визначення  $R_f$  насамперед вимірюють відстань від лінії старту (місце нанесення речовини на папір) до центра плями на хроматограмі, що відповідає цій речовині. Вимірюють також відстань від лінії старту до лінії фінішу (фронт розчинника). Відношення шляху, пройденого речовиною, до шляху, пройденого розчинником, і буде коефіцієнтом розподілу  $R_f$  даної речовини між рухомою та нерухомою фазами (Рис.1). Отже,  $R_f$  є якісною характеристикою речовини. Порівняння одержаних експериментальним шляхом коефіцієнтів розподілу з довідниковими (табл.1) надає змогу ідентифікувати речовини, що входять до складу суміші.

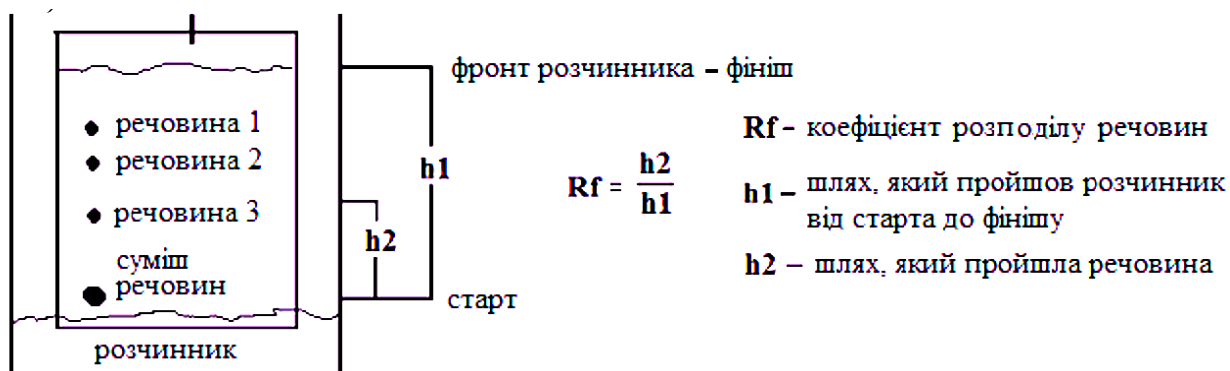


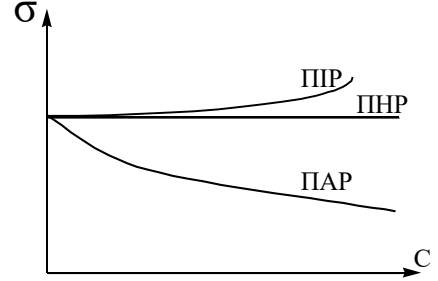
Рис.1. Схематичне зображення розподільчої хроматографії.

Таблиця 8. Коефіцієнти розподілу деяких амінокислот

| Амінокислота         | R <sub>f</sub> | Амінокислота | R <sub>f</sub> |
|----------------------|----------------|--------------|----------------|
| аспарагінова кислота | 0,07           | аргінін      | 0,41           |
| глютамінова кислота  | 0,16           | тирозин      | 0,52           |
| цистеїн              | 0,19           | аланін       | 0,55           |
| глікокол             | 0,30           | лейцин       | 0,79           |
| метіонін             | 0,39           |              |                |

Перелік основних параметрів, характеристик поверхневих явищ

| Параметр                          | Позначення, одиниця виміру   | Змістоє значення   |
|-----------------------------------|--|--|
| Поверхневий натяг                 | $\sigma = \frac{G_s}{S}$ ,<br>кДж/м <sup>2</sup> або Н/м.          | Поверхневий натяг ( $\sigma$ ) чисельно дорівнює роботі, яку необхідно виконати, щоб утворити одиницю поверхні.  |
| Поверхнева активність             | $\left( - \frac{\Delta\sigma}{\Delta c} \right)$ , Дж·м/моль       | Мірою здатності розчинених речовин змінювати поверхневий натяг рідини є поверхнева активність, що кількісно характеризує зміну поверхневого натягу при зміні концентрації. |
| Поверхнево-активні речовини (ПАР) | Для ПАР поверхнева активність $-\frac{\Delta\sigma}{\Delta c} > 0$ | Речовини, які зменшують поверхневий натяг води   |
| Поверхнево-                       | Для ППР поверхнева активність                                      | Речовини, які  |

|                                     |  |  |
|-------------------------------------|--|--|
| інактивні речовини (ПНР)            | $-\frac{\Delta\sigma}{\Delta c} < 0$   | збільшують поверхневий натяг води.   |
| Поверхнево-неактивні речовини (ПНР) | Для ПНР поверхнева активність<br>$-\frac{\Delta\sigma}{\Delta c} = 0$  | Речовини, що не впливають на поверхневий натяг води.   |
| Ізотерма поверхневого натягу        |   | Графічна залежність поверхневого натягу від концентрації розчиненої речовини при сталій температурі.   |
| Рівняння Гіббса                     | $\Gamma = -\frac{C_p}{RT} \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta C},$<br>де $\Gamma$ – величина адсорбції, моль/м <sup>2</sup> ;<br>$C_p$ – рівноважна концентрація речовини, моль/л;<br>$-\frac{\Delta\sigma}{\Delta C}$ – поверхнева активність речовини, Дж/м <sup>2</sup> ;<br>$R$ – універсальна газова стала, що дорівнює 8,31 Дж/моль·К;<br>$T$ – абсолютна температура, К. | Рівняння, що дозволяє визначити величину адсорбції в розчинах на основі експериментальних даних щодо зміни поверхневого натягу зі зміною концентрації розчиненої речовини.   |
| Площа, яку займає одна молекула     | $S_0 = \frac{1}{\Gamma_{\max} \cdot N_A},$<br>де $S_0$ – площа поперечного перерізу молекули,<br>$\Gamma_{\max}$ – гранична адсорбція,<br>$N_A$ – число Авогадро   | Виходячи з того, що на одиниці площі поверхні при утворенні моношару з молекул ПАР адсорбується $\Gamma_{\max}$ молей речовини, тобто $\Gamma_{\max} \cdot N_A$ молекул, де $N_A$ – число Авогадро, площу, яку займає одна молекула, можна знайти за відповідною формулою. |
| Довжина молекули                    | $l = \frac{\Gamma_{\max} \cdot M(x)}{\rho},$<br>де $l$ – довжина молекули, $\rho$ – густина речовини, $M(x)$ молярна маса речовини   | Дає можливість розраховувати довжину молекули, якщо відоме значення величини максимальної адсорбції.   |

|                                      |  |  |
|--------------------------------------|--|--|
| Рівняння ізотерми адсорбції Ленгмюра | $\Gamma = \Gamma_{\max} \cdot \frac{C}{C + K},$ <p>де <math>\Gamma</math> – адсорбція речовини;<br/> <math>\Gamma_{\max}</math> – гранична адсорбція;<br/> <math>C</math> – рівноважна концентрація речовини;<br/> <math>K</math> – константа, що чисельно дорівнює концентрації, при якій адсорбція становить половину граничної адсорбції.</p> | Вивчаючи адсорбцію на межі поділу тверде тіло – газ та рідина – газ, та узагальнюючи практичний досвід Ленгмюр запропонував рівняння ізотерми адсорбції, де граничній адсорбції відповідає утворення на поверхні моношару з молекул речовини, що адсорбується. |
| Емпіричне рівняння Фрейндліха        | $\frac{x}{m} = k \cdot c^n,$ <p>де <math>x</math> – кількість адсорбованої речовини;<br/> <math>m</math> – маса адсорбенту;<br/> <math>c</math> – рівноважна концентрація речовини;<br/> <math>k</math> та <math>n</math> – емпіричні константи.</p>   | Узагальнення результатів досліджень з адсорбції розчинених речовин на твердій поверхні свідчить про те, що найбільш вдало залежність адсорбції розчинених речовин від їх концентрації в розчині описується емпіричним рівнянням Фрейндліха                     |

### Приклади розв'язання задач.

#### Приклад 1

Для якої з амінокислот (цистеїн чи тирозин) швидкість пересування на папері в суміші вода-фенол буде більшою, якщо відомо, що  $R_f$  для цих кислот дорівнює, відповідно, 0,19 та 0,52? Відповідь мотивувати.

#### Розв'язок:

Якщо врахувати, що  $R_f$  дорівнює відношенню швидкості переміщення аналізованого компонента до швидкості переміщення розчинника вода-фенол на папері, то тирозин, який має  $R_f = 0,52$  буде переміщуватися швидше ніж цистеїн, у якого  $R_f = 0,19$ . Також відомо, що папір це гідрофільна речовина, тоді нерухомою рідиною на поверхні буде вода, а амінокислота, яка повільніше переміщується, характеризується більшою гідрофільністю (цистеїн  $R_f = 0,19$ ).

### Приклад 2

Яка з амінокислот – глютамінова чи аспарагінова – мають більшу гідрофільність, якщо методом паперової хроматографії встановлено, що  $R_f$  для цих кислот при використанні фенолу як рухомої фази, води, як нерухомої фази, а паперу як інертного носія дорівнює, відповідно, 0,16 і 0,07? Відповідь мотивувати.

#### *Розв'язок:*

Якщо врахувати, що  $R_f$  дорівнює відношенню швидкості переміщення аналізованого компонента до швидкості переміщення розчинника на папері. А також те, що нерухомою фазою є вода, то чим більш гідрофільною буде речовина, тим меншою буде її швидкість пересування по носію і меншим значення  $R_f$ . Отже, оскільки  $R_f$  аспарагінової кислоти менше, то ця амінокислота є більш гідрофільною.

### Приклад 3

При використанні фенолу, як рухомої фази, води – як нерухомої фази, а паперу – як інертного носія,  $R_f$  для амінокислот – глютамінова кислота, глікокол та лейцин – виявився рівним, відповідно, 0,16, 0,30, 0,79. Який висновок можна зробити щодо відносної гідрофобності цих амінокислот (розташувати їх в ряд в порядку зростання гідрофобності)

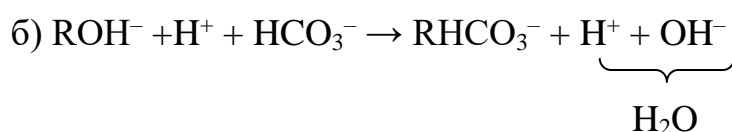
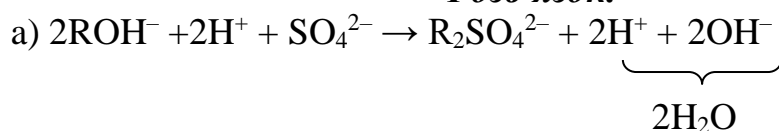
#### *Розв'язок:*

Коефіцієнт розподілу  $R_f$  дорівнює відношенню швидкості переміщення аналізованого компонента до швидкості переміщення розчинника на папері. Також відомо, що папір це гідрофільна речовина, тобто нерухомою рідиною на поверхні буде вода, а амінокислота, яка повільніше переміщується (має менше значення  $R_f$ ), характеризується більшою гідрофільністю. Відповідно можливо розташувати амінокислоти в ряд в порядку зростання гідрофобності: глютамінова кислота, глікокол, лейцин.

### Приклад 4

Навести схему очищення води від іонів  $\text{SO}_4^{2-}$  та  $\text{HCO}_3^-$  на аніоніті в  $\text{OH}^-$  формі.

#### *Розв'язок:*



### Приклад 5

Розрахувати масу іонів  $\text{Ca}^{2+}$  у розчині кальцій хлориду, якщо відомо, що на титрування фільтрату, отриманого при пропусканні його через аніоніт в  $\text{H}^+$ -формі, пішло 6 мл розчину калій гідроксиду з молярною концентрацією  $c(\text{KOH}) = 0,1$  моль/л.

|  |   |
|--|---|
| <b>Дано:</b><br>$V(\text{KOH}) = 6 \text{ мл} = 0,006 \text{ л}$<br>$c(\text{KOH}) = 0,1 \text{ моль/л}$ | <b>Знайти:</b><br>$m(\text{Ca}^{2+}) - ?$ |
|--|---|

#### Розв'язок:

1) Записати рівняння для розрахунку маси іонів за результатами титрування:

$$m(\text{Ca}^{2+}) = c(\text{KOH}) \cdot V(\text{KOH}) \cdot M\left(\frac{1}{2} \text{Ca}^{2+}\right)$$

2) Розрахувати масу іонів  $\text{Ca}^{2+}$ :

$$m(\text{Ca}^{2+}) = 0,1 \text{ моль/л} \cdot 0,006 \text{ л} \cdot \frac{40}{2} \text{ г/моль} = 0,012 \text{ г}$$

**Відповідь:**  $m(\text{Ca}^{2+}) = 0,012 \text{ г}$

### Приклад 6

Порівняйте поверхневу активність пропіонової та масляної кислот у водних розчинах, якщо відомо:

| Кислота    | $c$ , моль/л | $\sigma$ , Дж/м <sup>2</sup> |
|------------|--------------|------------------------------|
| Пропіонова | 0,0312       | 0,0695                       |
|            | 0,0625       | 0,0677                       |
| Масляна    | 0,0312       | 0,0658                       |
|            | 0,0625       | 0,0604                       |

Чи виконується правило Дюкло-Траубе в заданому інтервалі концентрацій?

#### Розв'язок:

1) Розраховуємо для відповідних речовин величину поверхневої активності

$$g = - \left( \frac{\Delta \sigma}{\Delta c} \right)$$

$$g(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = - \frac{(0,0677 - 0,0695) \text{ Дж/м}^2}{(0,0625 - 0,0312) \cdot 10^{-3} \text{ моль/м}^3} = 57,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}}{\text{моль}}$$

$$g(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}) = - \frac{(0,0604 - 0,0658) \text{ Дж/м}^2}{(0,0625 - 0,0312) \cdot 10^{-3} \text{ моль/м}^3} = 172,5 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}}{\text{моль}}$$

2) За правилом Дюкло-Траубе в гомологічному ряді карбонових кислот, спиртів, амінів при збільшенні довжини вуглеводневого ланцюга на одну  $\text{CH}_2$ -групу поверхнева активність речовин збільшується в 3 – 3,5рази:



$$\frac{g(C_3H_7COOH)}{g(C_2H_5COOH)} = \frac{172,5 \cdot 10^{-6}}{57,5 \cdot 10^{-6}} \approx 3$$

**Відповідь:** Отже в заданому інтервалі концентрацій правило Дюкло-Траубе виконується.

### Приклад 7

Розрахуйте величину адсорбції пропіонової кислоти на твердому адсорбенті, якщо її рівноважна концентрація становить 0,22 моль/л, а константи в рівнянні Фрейндліха дорівнюють  $K = 0,50$  моль/г,  $n = 0,45$ .

**Дано:**

$$C_p = 0,22 \text{ моль/л}$$

$$K = 0,50 \text{ л/г}$$

$$n = 0,45$$

**Знайти:**

$$\Gamma - ?$$

### Розв'язок:

Розраховуємо величину адсорбції, використовуючи рівняння Фрейндліха:

$$\Gamma = \frac{x}{m} = k \cdot c^n, \text{ якщо } n > 1; \frac{x}{m} = k \cdot c^n, \text{ якщо } n < 1, \text{ тоді:}$$

$$\Gamma = 0,50 \text{ л/г} \cdot 0,22^{0,45} \text{ моль/л} = 0,253 \text{ моль/г} = 253 \text{ ммоль/г}$$

**Відповідь:**  $\Gamma = 0,253 \text{ моль/г} = 253 \text{ ммоль/г}$

### Приклад 8

Обчислити адсорбцію органічної кислоти з водного розчину при 298 К, якщо рівноважна молярна концентрація її становить 0,1 моль/л а поверхнева активність дорівнює  $8,9 \cdot 10^{-4}$  Дж·м/моль.

**Дано:**

$$T = 298 \text{ К}$$

$$C_p = 0,1 \text{ моль/л} = 100 \text{ моль/м}^3$$

$$\frac{\Delta\sigma}{\Delta c(x)} = -8,9 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}}{\text{моль}}$$

**Знайти:**

$$\Gamma - ?$$

### Розв'язок:

Розраховуємо величину адсорбції, використовуючи рівняння Гіббса:

$$\Gamma = -\frac{c_p}{RT} \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta c(x)}$$

$$\Gamma = -\frac{100 \text{ моль/м}^3}{8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 298\text{К}} \cdot (-8,9 \cdot 10^{-4}) \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}}{\text{моль}} = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ моль/м}^2$$

**Відповідь:**  $\Gamma = 3,6 \cdot 10^{-5} \text{ моль/м}^2$

### Приклад 9

При зменшенні концентрації новокаїну в розчині з 0,2 моль/л до 0,15 моль/л

поверхневий натяг збільшився з  $6,9 \cdot 10^{-2}$  Дж/м<sup>2</sup> до  $7,1 \cdot 10^{-2}$  Дж/м<sup>2</sup>. Розрахуйте величину адсорбції в цьому інтервалі концентрацій. T = 293 К.

**Дано:**

$$C_1 = 0,2 \text{ моль/л}$$

$$C_2 = 0,15 \text{ моль/л}$$

$$\sigma_1 = 6,9 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/м}^2$$

$$\sigma_2 = 7,1 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/м}^2$$

$$T = 293 \text{ К}$$

**Знайти:**

$$\Gamma - ?$$

**Розв'язок:**

Розраховуємо величину адсорбції, використовуючи рівняння Гіббса:

$$\Gamma = -\frac{C_p}{RT} \cdot \frac{\Delta\sigma}{\Delta C},$$

де  $\Gamma$  – величина адсорбції розчиненої речовини;  $c_p$  – рівноважна молярна концентрація розчиненої речовини, у вузьких інтервалах вимірювань

розраховується як середня величина  $\frac{c_1 + c_2}{2}$ ;  $-\frac{\Delta\sigma}{\Delta C}$  – поверхнева активність;

$\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1$ ,  $\Delta C = C_2 - C_1$ ; R - універсальна газова стала. Отже, величина адсорбції новокаїну дорівнює:

$$\Gamma = -\frac{\frac{(0,2 + 0,15)}{2} \text{ моль/л}}{8,31 \text{ Дж/(моль} \cdot \text{К)} \cdot 298 \text{ К}} \cdot \frac{(7,1 - 6,9) \cdot 10^{-2} \text{ Дж/м}^2}{(0,15 - 0,2) \text{ моль/л}} = 2,87 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$$

**Відповідь:**  $\Gamma = 2,87 \cdot 10^{-6} \text{ моль/м}^2$

### Приклад 10

Обчислити за рівнянням Ленгмюра адсорбцію ізоамілового спирту з розчину, якщо рівноважна молярна концентрація його дорівнює 0,7 моль/л;  $\Gamma_{\max} = 8,7 \cdot 10^{-12}$  моль/м<sup>2</sup>; K = 0,042, T=293 К.

**Дано:**

$$C_p = 0,7 \text{ моль/л} = 700 \text{ моль/м}^3$$

$$\Gamma_{\max} = 8,7 \cdot 10^{-12} \text{ моль/м}^2$$

$$K = 0,042 \text{ моль/л} = 42 \text{ моль/м}^3$$

$$T = 293 \text{ К}$$

**Знайти:**

$$\Gamma - ?$$

**Розв'язок:**

Розраховуємо величину адсорбції, використовуючи рівняння Ленгмюра:

$$\Gamma = \Gamma_{\max} \cdot \frac{C_p}{C_p + K}$$

$$\Gamma = 8,7 \cdot 10^{-12} \text{ моль/м}^2 \cdot \frac{700 \text{ моль/м}^3}{700 \text{ моль/м}^3 + 42 \text{ моль/м}^3} = 8,2 \cdot 10^{-12} \text{ моль/м}^2$$

**Відповідь:**  $\Gamma = 8,2 \cdot 10^{-12} \text{ моль/м}^2$

### Приклад 11

Обчислити довжину ( $l_0$ ) та площу ( $S_0$ ) молекули ізопентанолу в насиченому

адсорбційному шарі, якщо гранична адсорбція  $\Gamma_{\max}=7,6 \cdot 10^{-6}$  моль·м<sup>-2</sup>, густина ізопентанолу  $\rho=0,81$  г·см<sup>-3</sup>, відносна молекулярна маса  $M_r=88$ .

**Дано:**

$$\Gamma_{\max} = 7,6 \cdot 10^{-6} \text{ моль} \cdot \text{м}^{-2}$$

$$\rho = 0,81 \text{ г} \cdot \text{см}^{-3} = 810 \cdot 10^3 \cdot \text{г} \cdot \text{м}^{-3}$$

$$M_r = 88 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$$

**Знайти:**

$$l_0; S_0 \text{ -?}$$

**Розв'язок:**

Записуємо формули для розрахунку площі, що займає молекула ПАР, та довжини молекули ПАР:

$$S_0 = \frac{1}{\Gamma_{\max} \cdot N_A}$$

$$l_0 = \frac{\Gamma_{\max} \cdot M(x)}{\rho}$$

1) Розраховуємо площу молекули ізопентанолу:

$$S_0 = \frac{1}{7,6 \cdot 10^{-6} \text{ моль} / \text{м}^2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 2,19 \cdot 10^{-19} \text{ м}^2$$

2) Розраховуємо довжину молекули ізопентанолу:

$$l_0 = \frac{7,6 \cdot 10^{-6} \text{ моль} / \text{м}^2 \cdot 88 \text{ г} / \text{моль}}{810 \cdot 10^3 \text{ г} / \text{м}^3} = 8,25 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

**Відповідь:**  $S_0 = 2,19 \cdot 10^{-19} \text{ м}^2$ ;  $l_0 = 8,25 \cdot 10^{-10} \text{ м}$

### Приклад 12

Визначити граничну адсорбцію ізопентанолу  $\Gamma_{\max}$ , якщо площа, яка припадає на одну молекулу в насиченому адсорбційному шарі, дорівнює  $25 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$ .

**Дано:**

$$S_0 = 25 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2$$

**Знайти:**

$$\Gamma_{\max} \text{ -?}$$

**Розв'язок:**

1) Записуємо формулу для розрахунку площі, звідки виражаємо величину граничної адсорбції:

$$S_0 = \frac{1}{\Gamma_{\max} \cdot N_A} \implies \Gamma_{\max} = \frac{1}{S_0 \cdot N_A}$$

2) Розраховуємо граничну адсорбцію ізопентанолу:

$$\Gamma_{\max} = \frac{1}{25 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}} = 6,64 \cdot 10^{-6} \text{ моль} / \text{м}^2$$

**Відповідь:**  $\Gamma_{\max} = 6,64 \cdot 10^{-6} \text{ моль} / \text{м}^2$

## 11. Одержання, очистка та властивості колоїдних розчинів

### Перелік основних термінів

| Термін                        | Змістове значення  |
|-------------------------------|--|
| Дисперсність                  | це ступінь подрібнення речовини.<br>$D = 1/d$<br>де D - ступінь дисперсності, $m^{-1}$ .<br>d – діаметр частинки, м.   |
| Дисперсними                   | є системи, в яких одна речовина (дисперсна фаза) в подрібненому стані рівномірно розподілена серед частинок іншої речовини(дисперсійне середовище). Головною особливістю дисперсних систем є наявність поверхні розподілу фаз, тобто гетерогенність. |
| Грубодисперсні системи        | Розмір частинок $10^{-7}$ - $10^{-4}$ м.<br>(суспензії, емульсії, порошки, аерозолі)   |
| Високодисперсні системи       | Розмір частинок $10^{-9}$ - $10^{-7}$ м.<br>(колоїдні розчини, золі)   |
| Молекулярно-дисперсні системи | Розмір частинок менше $10^{-9}$ м.<br>(істинні (молекулярні та іонні) розчини)<br>В таких розчинах вже немає поверхні поділу фаз і вони не належать до дисперсних систем.  |
| Ліофільні системи (оборотні)  | системи в яких дисперсні частинки сильно взаємодіють з розчинником. У випадку коли розчинником є вода, їх можна називати гідрофільними системами.  |
| Ліофобні системи (необоротні) | системи в яких дисперсні частинки слабо взаємодіють з розчинником. У випадку коли розчинником є вода ці системи можна називати гідрофобними, оскільки поверхня частинок слабо змочується водою.  |
| Золь                          | (нім. <i>Sol</i> — колоїдний розчин) ультрамікрогетерогенна дисперсна система.<br>Аерозолі - системи з газовим дисперсійним середовищем.<br>Ліозолі - з рідким дисперсійним середовищем.<br>Гідрозолі – з водним дисперсійним середовищем.           |
| Суспензія                     | дисперсна система з рідким дисперсійним середовищем та твердою дисперсною фазою.   |
| Емульсія                      | дисперсна система з рідким дисперсійним середовищем та рідкою дисперсною фазою.<br>Емульсії „першого роду” - емульсії типу „масло у воді”;<br>Емульсії „другого роду” - емульсії типу „вода у маслі”.  |

|   |   |
|---|---|
| Дисперсійний метод отримання колоїдних розчинів   | <p>полягає в подрібненні речовини до маленьких частинок.</p> <p>-механічним способом (кульові млини, ультразвук);</p> <p>-хімічна диспергація (пептизація): осад речовини переводиться в колоїдний стан додаванням поверхнево–активних сполук: мила, білків.</p>  |
| Конденсаційний метод отримання колоїдних розчинів | <p>фізична конденсація:</p> <p>-випаровування розчинника, внаслідок чого йде конденсація твердої фази;</p> <p>-заміна розчинника, наприклад, коли спиртовий розчин холестерину вилити у воду;</p> <p>хімічна конденсація – використання реакцій, в яких осади формуються з маленьких частинок.</p>  |
| Діаліз  | полягає в вилученні низькомолекулярних домішок шляхом дифузії крізь напівпроникну мембрану.   |
| Гемодіаліз  | Принципи діалізу використовують в апараті “штучна нирка”, де потік крові пропускають крізь штучні напівпроникні мембрани. З одного боку мембрани циркулює компенсаційна рідина, а з іншого боку - кров пацієнта. В результаті в компенсаційну рідину переходять надлишкові кількості метаболітів і токсинів, які накопичуються при захворюваннях нирок. |
| Електродіаліз                                     | Якщо домішками є лише електроліти, для прискорення діалізу можна створити електричне поле що прискорює перехід іонів.   |
| Ультрафільтрація                                  | Проводять фільтрування колоїдного розчину через напівпроникну мембрану при підвищеному тискові. При цьому колоїдні частки затримуються мембраною, а домішки покидають колоїдний розчин.   |
| Осмотичний тиск                                   | <p>рівняння Вант-Гоффа: <math>\pi_{\text{осм}} = \frac{\nu}{N_A} RT</math></p> <p>де R – газова стала;</p> <p>T – температура;</p> <p><math>N_A</math> – число Авогадро;</p> <p><math>\nu</math> – частинкова концентрація.</p> <p><math>\pi_{\text{осм}}(\text{колоїдних розчинів}) &lt; \pi_{\text{осм}}(\text{істинних розчинів})</math></p>         |
| Седиментація                                      | осадження частинок під дією сили земного тяжіння.   |
| Оптичні властивості колоїдних розчинів            | Проходження світла через колоїдну систему викликає три оптичних ефекти: поглинання, відбиття та розсіювання променів.   |
| Явище опалесценції колоїдних розчинів             | Розсіювання променів проявляється у вигляді матового світіння блакитного відтінку при освітленні боковим світлом.   |

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| Ефект Тіндаля               | при пропусканні паралельного пучка світла через колоїдний розчин спостерігається конус розсіяного світла (конус Тіндаля).   |
| Електроосмос                | явище пересування дисперсійного середовища (тобто розчинника) відносно нерухомої дисперсної фази.   |
| Електрофорез                | явище пересування колоїдних частинок відносно дисперсійного середовища (розчинника), під впливом постійного електричного струму.  |
| Мицела                      | електрично нейтральна частинка дисперсної фази з оточуючим її подвійним електричним шаром.  |
| Агрегат                     | складається з декількох сотень або тисяч атомів (m), являє собою мікрокристали важкорозчинної сполуки (в рівнянні реакції позначають як “↓”).<br>Наприклад: $AgNO_3 + KI \rightarrow AgI\downarrow + KNO_3$<br>$\{m[AgI] nI^-(n-x)K^+\}^{x-} xK^+$  |
| Потенціалвизначальний іон   | іон, здатний до вибіркової адсорбції на поверхні агрегата. Вибіркова адсорбція відбувається відповідно до правила Панета - Фаянса: це іони, які входять до складу кристалічної ґратки (або ізоморфні їм) агрегата.<br>Наприклад:<br>Якщо реакція відбуватиметься в надлишку KI, то на поверхні агрегата AgI будуть адсорбуватися іони I <sup>-</sup> , їх кількість n. Іони йодиду визначають потенціал і заряд поверхні. $\{m[AgI] nI^-(n-x)K^+\}^{x-} xK^+$ |
| Ядро колоїдної частинки.    | Агрегат разом з потенціалвизначальними іонами<br>Наприклад: $\{m[AgI] nI^-(n-x)K^+\}^{x-} xK^+$   |
| Протиіони                   | іони протилежного знаку до ядра, які під дією електростатичних сил притягуються до ядра, компенсуючи заряд ядра. Їх кількість рівна кількості потенціалвизначальних іонів (n).<br>$\{m[AgI] nI^-(n-x)K^+\}^{x-} xK^+$   |
| Адсорбційний шар            | Потенціалвизначальні іони та частина протиіонів (n-x), які найближче розташовані до ядра.<br>Наприклад: $\{m[AgI] nI^-(n-x)K^+\}^{x-} xK^+$   |
| Гранула (колоїдна частинка) | Ядро разом з адсорбційним шаром протиіонів. Знак її заряду визначається знаком заряду потенціалвизначальних іонів.<br>Наприклад: $\{m[AgI] nI^-(n-x)K^+\}^{x-} xK^+$  |
| Дифузний шар                | Решта x протиіонів, які нейтралізують заряд гранули та які слабкіше зв'язані з ядром (тільки електростатичними силами), розташовуються під впливом теплового руху в рідкій фазі дифузно.<br>$\{m[AgI] nI^-(n-x)K^+\}^{x-} xK^+$   |

|  |   |
|--|---|
| дзета–потенціал ( $\zeta$ )<br>або<br>електрокінетичний<br>потенціал | Наявність поверхні поділу фаз між адсорбційним та дифузним шарами міцели обумовлює виникнення дзета–потенціалу, який представляє собою різницю між загальним зарядом потенціалвизначальних іонів і зарядом протиіонів, що знаходяться у адсорбційному шарі. Електрокінетичний потенціал вимірюють за швидкістю руху гранули колоїдної частинки в електричному полі при електрофорезі. |
| Ізоелектричний стан  | Якщо загальний заряд потенціалвизначальних іонів дорівнює заряду протиіонів, то $\zeta$ -потенціал має нульове значення, а міцела знаходиться в ізоелектричному стані.<br>Наприклад: $\{m[AgI] nI^{-n} K^{+}\}^0$   |

### Приклади виконання вправ

#### Приклад 1

Як зміниться інтенсивність розсіяного світла у колоїдної системи, якщо довжину хвилі падаючого світла зменшити вдвічі?

*Розв'язок:*

Інтенсивність розсіяного світла ( $I$ ) зворотно пропорційна довжині хвилі світла в четвертому ступені ( $\lambda^4$ ):

$$I = k \frac{I_0 n V^2}{\lambda^4}$$

Якщо довжина хвилі падаючого світла зменшується вдвічі, то  $\lambda^4 = 2^4 = 16$ . Так як інтенсивність розсіяного світла зворотно пропорційна довжині хвилі світла, то інтенсивність розсіяного світла ( $I$ ) збільшиться у 16 разів.

#### Приклад 2

Пояснити структуру будови та склад міцели золю  $AgI$  утвореного при взаємодії аргентум нітрату в розчині з надлишком калій йодиду.

*Розв'язок:*

Золь утворюється за реакцією:  $AgNO_3 + KI \rightarrow AgI \downarrow + KNO_3$

Основою колоїдної частинки є електронейтральний *агрегат*, що складається з декількох сотень або тисяч атомів, являє собою мікрористали важкорозчинної сполуки (в нашому випадку  $m AgI$ ).

Реакція відбуватиметься в надлишку  $KI$ , то *потенціалвизначальними іонами*, за правилом Панета — Фаянса, є іони йоду, бо вони добудовують кристалічну решітку  $AgI$ , і тому саме вони, а не іони калію, утворюють потенціалвизначальний шар, їх кількість  $n$ .

Іони йодиду є потенціалвизначальними, визначають потенціал і заряд поверхні.

Агрегат разом з потенціалвизначальними іонами називається *ядром* колоїдної частинки.



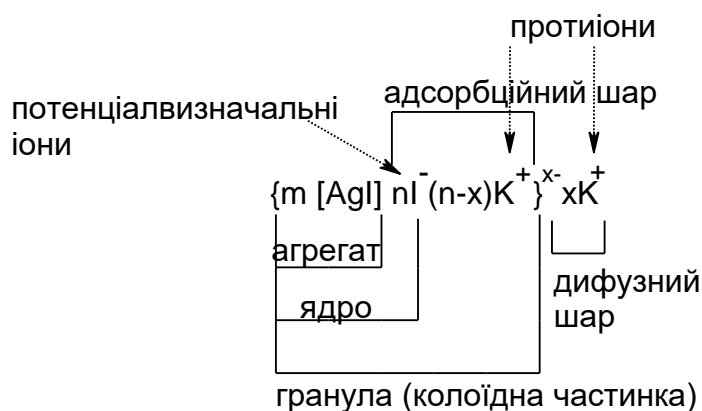
Під дією електростатичних сил до ядра притягується  $n$  іонів протилежного знаку – *протиіони*, які компенсують заряд ядра. У даному випадку цю роль виконують іони  $K^+$ .

Частина протиіонів ( $n-x$ ), які найближче розташовані до ядра, перебувають в шарі рідини і створюють *адсорбційний шар*.

Ядро разом з адсорбційним шаром протиіонів називається *гранулою* (або колоїдною частинкою).

Решта  $x$  протиіонів, які нейтралізують заряд поверхні та які слабкіше зв'язані з ядром (тільки електростатичними силами), розташовуються під впливом теплового руху в рідкій фазі дифузно. Тому цей шар називається *дифузним*.

Гранула разом з дифузним шаром називається *міцелюю*. Структуру міцели можна зобразити формулою:



### Приклад 3

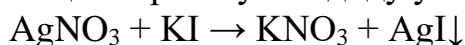
Яку будову матиме міцела золю аргентум йодиду, що одержаний з розчинів  $AgNO_3$  та  $KI$ :

- за надлишком калій йодиду;
- за надлишком аргентум нітрату?

В якій міцелі гранула буде рухатися до катоду при електрофорезі?

*Розв'язок:*

Міцела аргентум йодиду утворюється за наступною реакцією:



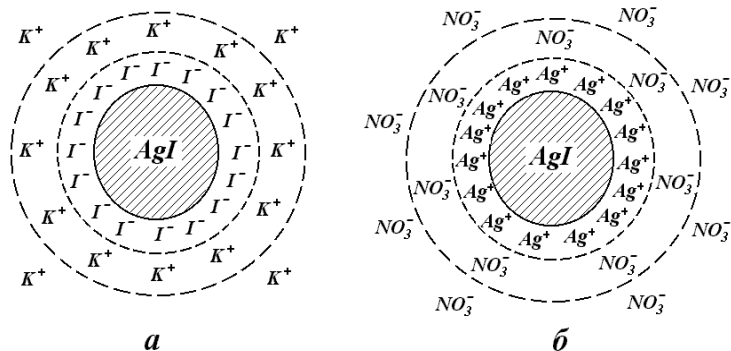
а) В розчині з надлишком  $KI$  будова міцели буде такою:



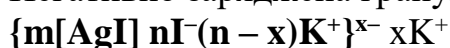
б) В розчині з надлишком  $AgNO_3$ :

Ядро міцели утворюється з малорозчинного  $AgI$ . На його поверхні починають у відповідності з правилом вибіркової адсорбції Панета – Фаянса, адсорбуватись іони  $Ag^+$ , які знаходяться в розчині в надлишку і які можуть піти на добудову кристалу  $AgI$ . Вони створюють позитивний заряд ядра і є потенціалвизначальними. До цього шару приєднуються негативно заряджені іони  $(n-x)NO_3^-$ , які утворюють адсорбційний шар. Частина іонів ( $x$ )  $NO_3^-$  формує дифузний шар.

Будова міцели буде такою:  $\{m[AgI] \cdot nAg^+(n-x)NO_3^-\}^{x+} \cdot xNO_3^-$

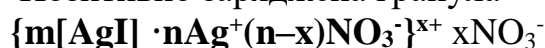


Негативно заряджена гранула



При електрофорезі в міцелі  $\{m[\text{AgI}] \cdot n\text{Ag}^+(n-x)\text{NO}_3^-\}^{x+} x\text{NO}_3^-$  гранула буде рухатися до катоду, тому що вона заряджена позитивно.

Позитивно заряджена гранула



#### Приклад 4

До катоду чи аноду при електрофорезі рухатимуться протиіони дифузного шару в міцелі  $\{m[\text{AgI}] n\text{Ag}^+(n-x)\text{NO}_3^-\}^{x+} x\text{NO}_3^-$ ?

*Розв'язок:*

Дифузний шар формують протиіони  $x\text{NO}_3^-$ , отже дифузний шар негативно заряджений і тому при електрофорезі іони  $x\text{NO}_3^-$  будуть рухатися до аноду.

#### Приклад 5

Написати формулу міцели і гранули (в ізоелектричному стані) одержаних при надлишку  $\text{BaCl}_2$ :  $\text{BaCl}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_4 = \text{BaSO}_4 \downarrow + 2\text{NaCl}$ ;

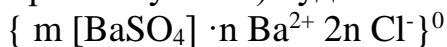
*Розв'язок:*

Малорозчинний барій сульфат утворює кристалічний агрегат, який складається з  $m \text{BaSO}_4$ . На поверхні агрегата адсорбується  $n$  іонів  $\text{Ba}^{2+}$  (так як в надлишку  $\text{BaCl}_2$ ). З рівняння дисоціації  $n \text{BaCl}_2 \rightarrow n \text{Ba}^{2+} + 2n \text{Cl}^-$  випливає, що  $n \text{Ba}^{2+}$  відповідає  $2n \text{Cl}^-$ . З поверхнею ядра зв'язано  $(2n-x)$  іонів  $\text{Cl}^-$ . Решта протиіонів ( $x$ )  $\text{Cl}^-$  розміщуються в дифузному шарі.

Будова міцели буде такою:  $\{m [\text{BaSO}_4] n \text{Ba}^{2+} (2n-x) \text{Cl}^-\}^{x+} x \text{Cl}^-$

Якщо гранула знаходиться в ізоелектричному стані, то загальний заряд потенціалвизначальних іонів дорівнює заряду протиіонів. На поверхні агрегата адсорбується  $n$  іонів  $\text{Ba}^{2+}$ . З поверхнею ядра зв'язано  $2n$  хлорид іонів  $\text{Cl}^-$ , дифузний шар відсутній.

Будова гранули (в ізоелектричному стані) буде такою:

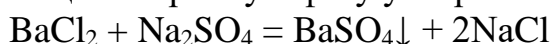


#### Приклад 6

Золь  $\text{BaSO}_4$  одержали при зливанні однакових об'ємів розчинів  $\text{BaCl}_2$  з молярною концентрацією 0,005 моль/л та  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  з молярною концентрацією 0,02 моль/л. Які іони утворюють дифузний шар?

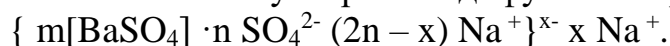
*Розв'язок:*

Міцела барій сульфату утворюється за наступною реакцією:



Малорозчинний барій сульфат утворює кристалічний агрегат, який складається з  $m$   $\text{BaSO}_4$ . На його поверхні починають у відповідності з правилом вибіркової адсорбції Панета – Фаянса, адсорбуватись  $n$  іонів  $\text{SO}_4^{2-}$ , які знаходяться в розчині в надлишку (так як молярна концентрація  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  більша) і які можуть піти на добудову  $\text{BaSO}_4$ . Вони створюють негативний заряд ядра і є потенціалвизначальними. До цього шару приєднуються протилежно заряджені  $(2n-x)$  іони  $\text{Na}^+$ , які утворюють адсорбційний шар. Решта протиіонів  $(x)$   $\text{Na}^+$  розміщуються в дифузному шарі.

Отже  $x\text{Na}^+$  іони утворюють дифузний шар міцели:

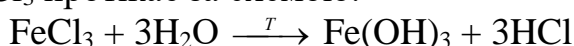


### Приклад 7

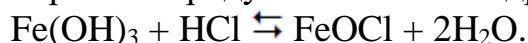
Яка формула міцели золю, отриманого в результаті реакції гідролізу ферум (III) хлориду, враховуючи, що потенціалвизначальними іонами є іони  $\text{FeO}^+$ ?

*Розв'язок:*

Реакція гідролізу  $\text{FeCl}_3$  протікає за схемою:



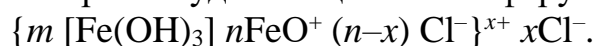
Ядром міцели стає малорозчинний  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , поверхневі молекули якого взаємодіють із  $\text{HCl}$  і утворюють продукт неповного гідролізу  $\text{FeOCl}$ :



Молекули  $\text{FeOCl}$  дисоціюють:

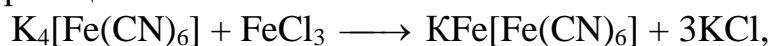


Утворені іони  $\text{FeO}^+$  стабілізують колоїдну частинку, адсорбуючись на її поверхні. Будова міцели золю ферум (III) гідроксиду:



### Приклад 8

Яку формулу матиме міцела золю берлінської лазурі  $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , одержаного за реакцією:



якщо під час електрофорезу гранула переміщується до аноду?

*Розв'язок:*

Якщо під час електрофорезу гранула переміщується до аноду, то це означає, що гранула заряджена негативно. Знак її заряду визначається знаком заряду потенціалвизначального іона.

Якщо реакція відбуватиметься в надлишку  $\text{FeCl}_3$ , то на поверхні агрегата  $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  будуть адсорбуватися іони  $\text{Fe}^{3+}$  (Вибіркова адсорбція відбувається відповідно до правила Панета - Фаянса: це іони, які входять до

складу кристалічної ґратки агрегата.). Іони  $\text{Fe}^{3+}$  є потенціалвизначальними тобто створюють позитивний заряд ядра і гранули.

Якщо реакція відбуватиметься в надлишку  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , то на поверхні агрегата  $\text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  будуть адсорбуватися іони  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  (Вибіркова адсорбція відбувається відповідно до правила Панета - Фаянса: це іони, які входять до складу кристалічної ґратки агрегата.). Іони  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-}$  створюють негативний заряд ядра і гранули, тобто є потенціалвизначальними.

Таким чином формула міцели золю берлінської лазурі в надлишку  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  має формулу:  $\{m \text{KFe}[\text{Fe}(\text{CN})_6] n[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{4-} (4n-x) \text{K}^+ \}^{x-} x \text{K}^+$ .

### Приклад 9

Поясніть чому при запальних процесах відбувається злипання та осідання еритроцитів.

*Розв'язок:*

При запальних процесах в плазмі крові підвищується вміст білків гострої фази - фібриногену, імуноглобулінів та інших. Ці білки адсорбуються на поверхні еритроцитів, що зменшує їх дзета-потенціал. Фактори, що призводять до зменшення дзета-потенціалу, підвищують імовірність злипання клітин між собою та впливають на швидкість осідання еритроцитів під дією сили земного тяжіння.

## 12. Коагуляція колоїдних розчинів. Властивості розчинів біополімерів.

### Перелік основних термінів

| Термін   | Змістове значення  |
|--|--|
| Коагуляція колоїдних розчинів                          | процес агрегації (злипання) твердих частинок.  |
| Правило Шульце-Гарді                                   | коагулююча дія властива тому іону електроліту, заряд якого протилежний заряду колоїдної частинки (гранули), причому його коагулююча дія тим сильніше, чим вищий його заряд.  |
| Поріг коагуляції<br>$C_k \left( \frac{1}{z} x \right)$ | мінімальна молярна концентрація електроліту, при котрій настає коагуляція колоїдного розчину.<br>$C_k \left( \frac{1}{z} x \right) = \frac{C \left( \frac{1}{z} x \right) \cdot V_{(ел-ту)}}{V_{(золя)} + V_{(ел-ту)}}, \text{ ммоль/л}$<br>$C \left( \frac{1}{z} x \right)$ – молярна концентрація еквівалента електроліту;<br>$V_{(золя)}$ – об'єм золя;<br>$V_{(ел-ту)}$ – об'єм електроліту. |
| Коагулююча здатність $V_k(x)$                          | величина, обернена порогу коагуляції,  |

|   |  |
|---|--|
|   | $V_k(x) = \frac{1}{C_k \left(\frac{1}{z}x\right)}, \text{ л/ммоль.}$   |
| Теорія ДЛФО                                 | пори́г коагуляції обернено пропорційний заряду коагулюючого іону у шостому ступені (для сильно заряджених частинок золя).  |
| Колоїдний захист                            | стабілізація ліофобних дисперсних систем за допомогою ВМС, які адсорбуються на поверхні частинок й перешкоджають їх злипанню.  |
| Захисне число                               | дорівнює масі (в мг) сухої високомолекулярної речовини, що здатна захистити 10мл золю від коагуляції при додаванні до нього 1мл розчину натрій хлориду з масовою часткою NaCl 10%.   |
| Високомолекулярні сполуки (ВМС)<br>Полімери | речовини з молекулярною масою більшою 10000 відносних одиниць маси. Макромoleкули побудовані з великого числа ланок (мономерів), що повторюються.  |
| Набрякання                                  | самодовільне проникнення низькомолекулярної рідини в середовище молекул ВМС і зв'язане з цим розсовування ланок, а потім і ланцюгів макромoleкул. На першій стадії утворюються сольватні оболонки із молекул розчинника ( $\Delta H < 0$ ). На другій стадії відбувається дифузія молекул розчинника в порожнечі між ланками і ланцюгами макромoleкул ( $\Delta H = 0$ ), що супроводжується значним збільшенням об'єму системи. Розчинення ВМС самодовільний процес ( $\Delta G < 0$ ). |
| Необмежене набрякання                       | набрякання, яке завершується повним розчиненням полімеру та утворенням молекулярного розчину.  |
| Обмежене набрякання                         | набрякання йде до певної межі і завершується утворенням драглів, що містять просторову сітку з ланцюгів полімеру, заповнену молекулами розчинника.   |
| Тиксотропія                                 | Гелі та драглі частинки яких зв'язані слабкими міжмолекулярними силами (водневі зв'язки, сили Ван-дер-Ваальса, гідрофобні взаємодії) при механічному впливі здатні розріджуватися, а потім у стані спокою – знову драглюватись (ізотермічний процес).  |
| Синерезис                                   | процес самодовільного поділу драглів на дві фази. З виділенням рідини драглі зменшуються в об'ємі і стають менш прозорими.   |
| Коацервація                                 | процес самовільного об'єднання водних оболонок кількох частинок, без злиття самих частинок.  |
| Висолювання                                 | процес осадження білків з розчину під дією   |

|                              |  |
|------------------------------|--|
|                              | водопоглинаючих речовин. Такими є солі лужних металів та амонію, іони яких утворюють власні великі гідратні оболонки ( $\text{Li}^+$ , $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{SO}_4^{-2}$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{CH}_3\text{COO}^-$ )  |
| Ізоелектрична точка білка    | це таке значення рН при якому молекула білка знаходиться в ізоелектричному стані, тобто коли число позитивних зарядів на молекулі дорівнює числу негативних зарядів.<br>$\text{H}_2\text{N}-\text{R}-\text{COOH} \rightarrow \text{H}_3\text{N}^+-\text{R}-\text{COO}^-$ (біполярний іон)  |
| Методи визначення ІЕТ        | 1) за електрофоретичною рухливості білка: у розчині, рН якого дорівнює ІЕТ, електрофорез не спостерігається;<br>2) за інтенсивністю помутніння розчину ВМС при додаванні солей: максимальне помутніння спостерігається в розчині, рН якого максимально наближається до ІЕТ;<br>3) за інтенсивністю набрякання: мінімальне набрякання спостерігається в розчині, рН котрого максимально наближається до ІЕТ;<br>4) за швидкістю драглеутворення: максимальна швидкість драглеутворення спостерігається в розчині, рН якого максимально наближається до ІЕТ. |
| Осмотичний тиск розчинів ВМС | Рівняння Галлера: $\pi = \frac{\rho(X)}{M(X)} \cdot R \cdot T + k \cdot \rho^2(X),$<br>$\rho(X)$ – масова концентрація ВМС;<br>$R$ – універсальна газова стала,<br>$T$ – температура,<br>$k$ – константа, яка залежить від властивостей ВМС та розчинника (у випадку макромолекул, що мають глобулярну форму, $k = 0$ ).   |
| Онкотичний тиск              | Частина (0,5%) від загального осмотичного тиску плазми крові, що обумовлена наявністю білків у крові. Онкотичний тиск плазми крові дорівнює $3,5 \cdot 10^3 - 3,9 \cdot 10^3$ Па.  |
| Рівновага Доннана            | Між вмістом невеликих катіонів та аніонів в середині клітини та в міжклітинній рідині встановлюється рухлива рівновага, але таким чином, що в середині клітини концентрація іонів завжди буде вищою, ніж в міжклітинній рідині, за рахунок тих іонів які зв'язуються з білковими молекулами. В результаті цього в клітині осмотичний тиск дещо вищий, що і створює певний її тургор. Ця мембранна рівновага описується рівнянням Доннана:<br>$X = \frac{C_3^2}{C_B + 2C_3}$  |

|                    |  |
|--------------------|--|
|                    | $C_3$ – початкова молярна концентрація низькомолекулярного електроліту в розчині зовні клітини; $C_B$ – початкова молярна концентрація високомолекулярного електроліту усередині клітини; $X$ – зменшення молярної концентрації електроліту, який із зовнішнього розчину перейшов усередину клітини. |
| Якщо $C_3 \gg C_B$ | можна знехтувати доданком $C_B$ , тоді: $\chi = \frac{C_3^2}{2C_3} = \frac{C_3}{2}$ .<br>Рівномірний розподіл іонів по обидва боки мембрани.   |
| Якщо $C_3 = C_B$   | то $\chi = \frac{C_3^2}{3C_3} = \frac{C_3}{3}$ . В середину клітини може перейти третя частина кількості іонів із зовнішнього розчину.   |
| Якщо $C_3 \ll C_B$ | можна знехтувати доданком $C_3$ , тоді: $\chi = \frac{C_3^2}{C_B}$<br>$X \approx 0$ , тобто перехід іонів через мембрану в малій кількості.  |

### Приклади виконання вправ

#### Приклад 1

При коагуляції золю електролітами одержані такі величини порогів коагуляції (ммоль/л):  $c_k(\text{KNO}_3) = 50,0$ ;  $c_k(1/2\text{MgCl}_2) = 0,8$ ;  $c_k(\text{NaBr}) = 49,0$ .

Який з наведених електролітів має найбільшу коагулюючу здатність?

Вказати коагулюючий іон.

Який знак заряду мають частинки (гранули) цього золю?

*Розв'язок:*

Величина, обернена порогу коагуляції, називається коагулююча здатність:

$$V_k(x) = \frac{1}{C_k \left( \frac{1}{z} x \right)}, \text{ л/ммоль.}$$

$$V_k(\text{KNO}_3) = \frac{1}{50} = 0.02 \text{ л/ммоль};$$

$$V_k(\text{MgCl}_2) = \frac{1}{0.8} = 1.25 \text{ л/ммоль};$$

$$V_k(\text{NaBr}) = \frac{1}{49.0} = 0.0204 \text{ л/ммоль.}$$

$\text{MgCl}_2$  має найбільшу коагулюючу здатність.

Так як коагулююча дія тим сильніше, чим вищий заряд іона (правило Шульце-Гарді), порівняємо величину зарядів аніонів та катіонів:

Аніони ( $\text{NO}_3^-$ ;  $\text{Cl}^-$ ;  $\text{Br}^-$ ): заряди однакові.

Катіони ( $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ): найвищий заряд має іон  $\text{Mg}^{2+}$ .

Оскільки аніони в усіх електролітах однозарядні то іонами – коагулянтами є катіони. Найвищий заряд має іон  $\text{Mg}^{2+}$ , отже він є коагулюючим іоном.



Коагулююча дія властива тому іону електроліту, заряд якого протилежний заряду колоїдної частинки (гранули), (правило Шульце- Гарді), відповідно заряд гранули цього золю – негативний.

### Приклад 2

Золь AgI одержали при надлишку AgNO<sub>3</sub>. Який з наведених коагулюючих електролітів матиме найменший поріг коагуляції: KCl, FeSO<sub>4</sub>, Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>?

*Розв'язок:*

На поверхні агрегату AgI, адсорбуються іони Ag<sup>+</sup>, які знаходяться в розчині в надлишку. Вони створюють позитивний заряд ядра і гранули і є потенціалвизначальними.

Коагулююча дія властива тому іону електроліту, заряд якого протилежний заряду колоїдної частинки (гранули), (правило Шульце- Гарді), відповідно заряд коагулюючого іона- негативний.

Коагулююча дія тим сильніше, чим вищий заряд іона (правило Шульце- Гарді). Найвищий заряд серед аніонів (Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) має аніон SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, отже він є коагулюючим іоном.

Отже найбільшу коагулюючу здатність має електроліт FeSO<sub>4</sub>.

Оскільки коагулююча здатність обернено пропорційна порогу коагуляції, то FeSO<sub>4</sub> матиме найменший поріг коагуляції.

### Приклад 3

Який знак заряду мають гранули золю, якщо при коагуляції золю електролітами  $c_k(\frac{1}{2} \text{MgSO}_4) > c_k(\frac{1}{3} \text{Al(NO}_3)_3)$ ?

*Розв'язок:*

Порівнюємо величину зарядів аніонів та катіонів:

Аніони (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>; SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>): найвищий заряд має іон SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>.

Катіони (Al<sup>3+</sup>, Mg<sup>2+</sup>): найвищий заряд має іон Al<sup>3+</sup>.

Оскільки Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> має менший поріг коагуляції, то відповідно він має більшу коагулюючу здатність і коагулюючим іоном є іон Al<sup>3+</sup>.

Коагулююча дія властива тому іону електроліту, заряд якого протилежний заряду гранули (правило Шульце- Гарді), відповідно заряд гранули цього золю- негативний.

### Приклад 4

Коагуляція 4 л золю ферум (III) гідроксиду відбулася при додаванні до нього 0,4 л розчину магній сульфату з молярною концентрацією еквівалента 0,0025 моль/л. Розрахувати поріг коагуляції.

*Розв'язок:*

Визначаєм поріг коагуляції:

$$C_k\left(\frac{1}{z}x\right) = \frac{C\left(\frac{1}{z}x\right) \cdot V_{(ел-ту)}}{V_{(золя)} + V_{(ел-ту)}} = \frac{0.0025 \cdot 0.4}{4 + 0.4} = 2.27 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

### Приклад 5

Коагулююча здатність іонів магнію, стосовно золю ферум (III) гідроксиду дорівнює 62,5 л/ммоль. Розрахувати мінімальну молярну концентрацію еквіваленту електроліта  $MgSO_4$ , що викликає коагуляцію золя  $Fe(OH)_3$ .

*Розв'язок:*

Коагулююча здатність - величина, обернена порогу коагуляції:

$$V_k(x) = \frac{1}{C_k \left( \frac{1}{z} x \right)}, \text{ Поріг коагуляції - мінімальна молярна концентрація}$$

електроліту, при котрій настає коагуляція колоїдного розчину.

$$C_k \left( \frac{1}{z} x \right) = \frac{1}{V_k(x)} = \frac{1}{62.5} = 0.016 \text{ ммоль/л.}$$

### Приклад 6

Розташуйте іони  $Cs^+$ ,  $Li^+$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Rb^+$  в ряд зростання їх коагулюючої дії.

*Розв'язок:*

В ряду неорганічних іонів з однаковим зарядом коагулююча дія тим більша, чим більший радіус іона (іони з більшими радіусами слабкіше гідратовані).

$Li^+ < Na^+ < K^+ < Rb^+ < Cs^+$  зростання коагулюючої дії.

### Приклад 7

Користуючись величинами золотого числа (в мг) виберіть ВМС, яка матиме найбільшу захисну дію для підвищення агрегативної стійкості фармацевтичного препарату: желатин – 0,01; декстрин – 20,0; сапонін – 115,0; яєчний альбумін – 2,5.

*Розв'язок:*

Золоте число – мінімальна маса ВМС, яка захищає від коагуляції 10мл червоного золю золота при додаванні 1мл розчину натрій хлориду з масовою часткою 10%.

Найменше золоте число має желатин – 0,01, отже желатин матиме найбільшу захисну дію.

### Приклад 8

Ізоелектрична точка білка дорівнює 6,6. Білок знаходиться в буферному розчині з  $[H^+] = 10^{-8}$  моль/л. До якого електроду буде рухатися білок під час електрофорезу?

*Розв'язок:*

$$pH \text{ буферного розчину } pH = -\lg[H^+] = -\lg(10^{-8}) = 8.$$

Якщо ІЕТ білка 6,6, то при  $pH = 8,00$  (лужне середовище) макроіони будуть мати негативний заряд:

$H_3N^+-R-COO^- + OH^- \rightarrow H_2N-R-COO^- + H_2O$  (аніон білка в лужному середовищі) і білок буде рухатися до аноду.

### Приклад 9

Ізоелектрична точка білка дорівнює 4,5. Білок знаходиться в буферному розчині з  $[H^+] = 10^{-3}$  моль/л. До якого електроду буде рухатися білок під час електрофорезу?

*Розв'язок:*

pH буферного розчину  $pH = -\lg[H^+] = -\lg(10^{-3}) = 3$ .

Якщо ІЕТ білка 4,5, то при pH = 3,00 (кисле середовище) макроіони будуть мати позитивний заряд:

$H_3N^+-R-COO^- + H^+ \rightarrow H_3N^+-R-COOH$  (катіон білка в кислому середовищі) і білок буде рухатися до катоду.

### Приклад 10

ІЕТ казеїну 4,50, до якого електроду буде рухатися білок під час електрофорезу при pH = 4,5?

*Розв'язок:*

Якщо ІЕТ білка 4,5, то при pH = 4,5 електрофорез не спостерігається, тому що в ізоелектричному стані молекула білка електронейтральна (число позитивних зарядів на молекулі дорівнює числу негативних зарядів:  $H_2N-R-COOH \rightarrow H_3N^+-R-COO^-$ ).

## Додаток. Деякі математичні відомості

### 1. Числа з плаваючою комою

Плаваюча кома – форма подання чисел, в якій число зберігається у вигляді мантиси та показника степеня. Число  $n$  можна виразити в такий спосіб:

$$n = a \cdot b^m$$

де:

$a$  – мантиса (виражає значення числа без врахування порядку; як правило, значення мантиси, обирають так, щоб  $1 \leq a \leq 10$ )

$b$  – основа (найчастіше в ролі основи використовується 10);

$m$  – порядок (виражає степінь основи числа, на яке множиться мантиса).

Такий спосіб подання чисел зручний при роботі з дуже великими або дуже маленькими числами. Приклади:

$$0,01 = 10^{-2}$$

$$0,0001 = 10^{-4}$$

$$100000 = 10^5$$

$$0,000054 = 5,4 \cdot 10^{-5}$$

$$12000000 = 1,2 \cdot 10^7$$

### 2. Деякі властивості показників степені

| Дія                         | Приклад                           |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| $a^n \cdot a^m = a^{n+m}$   | $10^{-4} \cdot 10^{-5} = 10^{-9}$ |
| $\frac{a^n}{a^m} = a^{n-m}$ | $\frac{10^{-3}}{10^{-6}} = 10^3$  |
| $(a^n)^m = a^{n \cdot m}$   | $(10^4)^2 = 10^8$                 |

Будь-яке число в степені 0 дорівнює одиниці, крім  $0^0 = 0$ ,  $0^n = 0$ .

**3. Логарифмом** числа  $a$  за основою  $b$  називають показник степеня  $n$ , до якого потрібно піднести число  $b$ , щоб отримати  $a$ .

Запис  $\log_b a = n$  рівнозначний запису  $b^n = a$

Найчастіше використовують:

- десятковий логарифм (основа 10, позначення  $\lg$ );
- натуральний логарифм (основа  $e = 2.7183\dots$ , позначення  $\ln$ ).

### 4. Деякі властивості логарифмів

- 1) Логарифми чисел, більших за одиницю, позитивні, чисел, менших за одиницю – негативні.
- 2) Логарифм числа 1 за будь-якої основи дорівнює 0:  $\log_b 1 = 0$
- 3) Логарифм числа, рівного основі, дорівнює 1:  $\log_b b = 1$  ( $\lg 10 = 1$ )
- 4) Логарифм добутку дорівнює сумі логарифмів:  
 $\log_b (a \cdot c) = \log_b a + \log_b c$  ( $\lg(a \cdot c) = \lg a + \lg c$ )
- 5) Логарифм частки дорівнює різниці логарифмів:  
 $\log_b \frac{a}{c} = \log_b a - \log_b c$  ( $\lg \frac{a}{c} = \lg a - \lg c$ )
- 6) Логарифм числа  $a$  в степені  $n$  дорівнює логарифму числа  $a$ , помноженому на  $n$ :  $\log_b a^n = n \cdot \log_b a$

$$(lga^n = n \cdot lga ; lg10^n = n)$$

### 5. Знаходження десяткового логарифму числа за допомогою таблиці логарифмів.

Для того, щоб за допомогою таблиці відшукати десятковий логарифм числа, необхідно спочатку знайти його порядок, тобто подати число у вигляді:

$$283500 = 2,835 \cdot 10^5 \text{ (п'ятий порядок)}$$

Округлити число до двох значущих цифр:

$$2,835 \cdot 10^5 \approx 2,8 \cdot 10^5$$

На перетині ряду 2 та колонки 0,8 (див. Таблиця 9) знайти значення та додати до нього порядок числа:

$$lg283500 = lg(2,835 \cdot 10^5) \approx lg(2,8 \cdot 10^5) = lg2,8 + lg10^5 = 0,447 + 5 = 5,447$$

*Приклади:*

$$lg0,00283 = lg(2,83 \cdot 10^{-3}) \approx lg(2,8 \cdot 10^{-3}) = lg2,8 + lg10^{-3} = 0,447 + (-3) = -2,553$$

$$lg0,000006 = lg(6 \cdot 10^{-6}) = lg6 + lg10^{-6} = 0,778 + (-6) = -5,222$$

$$lg0,000368 = lg(3,68 \cdot 10^{-4}) \approx lg(3,7 \cdot 10^{-4}) = lg3,7 + lg10^{-4} = 0,568 + (-4) = -3,432$$

$$lg0,0561 = lg(5,61 \cdot 10^{-2}) \approx lg(5,6 \cdot 10^{-2}) = lg5,6 + lg10^{-2} = 0,748 + (-2) = -1,252$$

### 6. Знаходження числа за десятковим логарифмом за допомогою таблиці

Для того, щоб за допомогою таблиці відшукати десятковий антилогарифм позитивного числа (піднести 10 у позитивний степінь), необхідно спочатку подати показник степеня у вигляді суми цілої та дробової частин:

$$2,93423 = 2 + 0,93423$$

Округлити дробову частину до трьох значущих цифр:

$$0,93423 \approx 0,934$$

Знайти в таблиці логарифмів найближче число та скласти значення відповідних йому ряду та колонки (див. Таблиця 9):

$$8 + 0,6 = 8,6$$

Помножити отримане значення на 10 в степені, рівному цілій частині вихідного числа:

$$10^{2,93423} \approx 10^2 \cdot 10^{0,934} \approx 10^2 \cdot 8,6 = 860$$

Якщо необхідно піднести 10 у від'ємний степінь, то спочатку треба подати показник степеня у вигляді суми від'ємної цілої частини та позитивної дробової частини:

$$-1,05782 = -2 + 0,94218$$

А далі діяти аналогічно:

$$10^{-1,05782} \approx 10^{0,942} \cdot 10^{-2} = 8,7 \cdot 10^{-2} = 0,087$$

*Приклади:*

$$10^{-5,483} = 10^{0,517} \cdot 10^{-6} \approx 3,3 \cdot 10^{-6}$$

$$10^{-3,947} = 10^{0,053} \cdot 10^{-4} \approx 1,1 \cdot 10^{-4}$$

$$10^{-9,54} = 10^{0,56} \cdot 10^{-10} \approx 3,6 \cdot 10^{-10}$$

$$10^{-7,401} = 10^{0,599} \cdot 10^{-8} \approx 4 \cdot 10^{-8}$$

$$10^{-2,457} = 10^{0,543} \cdot 10^{-3} \approx 3,5 \cdot 10^{-3}$$

**Таблиця 9. Таблиця десяткових логарифмів**

| <b>0,m<br/>n</b>   | <b>0,0</b>   | <b>0,1</b> | <b>0,2</b> | <b>0,3</b> | <b>0,4</b> | <b>0,5</b> | <b>0,6</b> | <b>0,7</b> | <b>0,8</b> | <b>0,9</b> |
|--|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <b>1</b>   | <b>0,000</b> | 041        | 079        | 114        | 146        | 176        | 204        | 230        | 255        | 279        |
| <b>2</b>   | 301          | 322        | 342        | 362        | 380        | 398        | 415        | 431        | 447        | 462        |
| <b>3</b>   | 477          | 491        | 505        | 519        | 532        | 544        | 556        | 568        | 580        | 591        |
| <b>4</b>   | 602          | 613        | 623        | 634        | 644        | 653        | 663        | 672        | 681        | 690        |
| <b>5</b>   | 699          | 708        | 716        | 724        | 732        | 740        | 748        | 756        | 763        | 771        |
| <b>6</b>   | 778          | 785        | 792        | 799        | 806        | 813        | 820        | 826        | 833        | 839        |
| <b>7</b>   | 845          | 851        | 857        | 863        | 869        | 875        | 881        | 887        | 892        | 898        |
| <b>8</b>   | 903          | 909        | 914        | 919        | 924        | 929        | 935        | 940        | 945        | 949        |
| <b>9</b>   | 954          | 959        | 964        | 969        | 973        | 978        | 982        | 987        | 991        | 996        |
| $lg(n, m) = 0,xyz$ <span style="margin-left: 200px;"><math>10^{0,xyz} = n, m</math></span> |              |            |            |            |            |            |            |            |            |            |