

Практичне заняття. 6.

Тема. РОЗЧИНИ. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РОЗЧИНІВ. ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РОЗЧИНІВ. ГІДРОЛІЗ СОЛЕЙ.

Мета. визначати молярну c_m , моляльну c_m концентрації, молярну концентрацію еквівалентів c_n , масову частку в процентах (процентну концентрацію) $\omega(X)$, мольну частку розчиненої речовини і розчинника $x(X)$; вивчити поняття йонного добутку води, водневого показника (рН) розчину, добутку розчинності важкорозчинних сполук, прогнозувати можливість випадіння осаду, користуючись табличними значеннями добутку розчинності; навчитися писати рівняння гідролізу солей.

Вступ.

З розчинами ми зустрічаємося на кожному кроці: в повсякденному житті, в природі, на виробництві, в хімічній лабораторії. Хімічно чистих речовин практично немає. Навіть особливо чисті метали, які отримують методами вакуумної чи зонної плавки, містять певну кількість домішок 10^{-6} %(мас.) і по суті є твердими розчинами. Розчини широко розповсюджені в природі.

Вивчення фізико-хімічних властивостей розчинів, умов їх утворення збагачує та поглиблює уявлення про механізм та закономірності протікання хімічних процесів. Сучасна теорія розчинів відіграє важливу роль в розвитку неорганічної та органічної хімії, колоїдної хімії, біохімії, електрохімії, хімічної термодинаміки, хімічної кінетики, тісно пов'язана з проблемами розділення природних та промислових сумішей, отримання чистих речовин.

План.

1. Розчини як різновид дисперсних систем. Класифікація розчинів.
2. Способи вираження концентрації розчинів.
3. Властивості розчинів електролітів.
4. Особливості води як розчинника. Дисоціація води. Водневий показник.
5. Гідроліз солей. Константа та ступінь гідролізу.

Приклади розв'язання типових задач і виконання завдань

Приклад 1. Коефіцієнт розчинності CuSO_4 при 25°C дорівнює 25 г. Скільки грамів солі міститься у 200 г насиченого розчину?

Розв'язання. Маса насиченого розчину складається з маси солі і маси води. Коефіцієнт розчинності CuSO_4 показує, що 25 г солі розчиняється у 100 г води, тобто в такому випадку усього насиченого розчину утворюється 125 г. А далі складемо пропорцію:

$$\begin{array}{l} \underline{125 \text{ г}} \text{ розчину містить } \underline{25 \text{ г}} \text{ CuSO}_4; \\ 200 \text{ г} \text{ розчину містить } x \text{ г CuSO}_4. \end{array}$$

Звідси маса CuSO_4 у 200г насиченого розчину

$$x = \frac{200 \cdot 25}{125} = 40 \text{ г.}$$

Приклад 2. Натрій гідроксид кількістю речовини 1,5 моль розчинили у 140 г води. Визначити масову частку NaOH у розчині.

Розв'язання. З урахуванням співвідношення

$$n = \frac{m}{M}$$

обчислимо масу NaOH:

$$m(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) = 1,5 \text{ моль} \cdot 40 \text{ г/моль} = 60 \text{ г.}$$
 Маса усього розчину

складається з маси NaOH і маси води:

$$m(\text{розчину}) = 140 \text{ г} + 60 \text{ г} = 200 \text{ г.}$$

Знайдемо масову частку натрій гідроксиду в розчині:

$$w = \frac{m(\text{NaOH})}{m(\text{р-ну})} \cdot 100\% = \frac{60 \text{ г}}{200 \text{ г}} \cdot 100\% = 30\%.$$

Приклад 3. Розрахуйте: а) молярну концентрацію; б) молярну концентрацію еквівалента; в) мольну частку розчиненої речовини 49% розчину H_3PO_4 ($\rho = 1,33 \text{ г/мл}$).

Розв'язання: а) для зручності розрахунку беремо об'єм розчину таким, що дорівнює 1 л. Розраховуємо масу 1 л розчину:

$$m(\text{р-ну}) = V(\text{р-ну}) \cdot \rho = 1000 \text{ мл} \cdot 1,33 \text{ г/мл} = 1330 \text{ г.}$$

Розраховуємо масу H_3PO_4 в розчині:

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = m(\text{р-ну}) \cdot w(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1330 \text{ г} \cdot 0,49 = 650 \text{ г.}$$

Також розраховуємо масу води у розчині:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{р-ну}) - m(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1330 \text{ г} - 650 \text{ г} = 680 \text{ г.}$$

Розраховуємо молярну концентрацію H_3PO_4 :

$$C_M = \frac{n(\text{H}_3\text{PO}_4)}{V(\text{р-ну})} = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V(\text{р-ну})} = \frac{650 \text{ г}}{98 \text{ г/моль} \cdot 1 \text{ л}} = 6,6 \text{ моль/л.}$$

б) розраховуємо молярну концентрацію еквівалента H_3PO_4 :

$$C_H = \frac{n_{\text{екв}}(\text{H}_3\text{PO}_4)}{V(\text{р-ну})} = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{m_{\text{екв}}(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot V(\text{р-ну})} = \frac{650 \text{ г}}{32,67 \text{ г/моль-екв} \cdot 1 \text{ л}} = 19,9 \text{ моль-екв/л.}$$

в) для розрахунку мольної частки H_3PO_4 спочатку встановлюємо кількості компонентів розчину:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{680 \text{ г}}{18 \text{ г/моль}} = 37,78 \text{ моль};$$

$$n(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{m(\text{H}_3\text{PO}_4)}{M(\text{H}_3\text{PO}_4)} = \frac{650 \text{ г}}{98 \text{ г/моль}} = 6,63 \text{ моль.}$$

Розраховуємо мольну частку H_3PO_4 :

$$\chi(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{n(\text{H}_3\text{PO}_4)}{n(\text{H}_3\text{PO}_4) + n(\text{H}_2\text{O})} = \frac{6,63}{6,63 + 37,78} = 0,149.$$

Приклад 4. У трьох склянках міститься по 100 мл 0,1М розчину Na_2SO_4 з густиною 1,012 г/мл. До однієї з них додали 60 мл води, до другої – 10 г сухого Na_2SO_4 , а з третьої випарили 20 г води. Як змінилася масова частка у кожному випадку?

Розв'язання. Для визначення масової частки вихідного розчину w спочатку необхідно обчислити масу розчину

$$m(\text{р-ну}) = \rho(\text{р-ну}) \cdot V(\text{р-ну}) = 1,012 \text{ г/мл} \cdot 100 \text{ мл} = 101,2 \text{ г}$$

і масу речовини Na_2SO_4 , враховуючи об'єм 100 мл = 0,1 л і молярну масу солі $M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142 \text{ г/моль}$:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{C_M(p - \text{ну}) \cdot V(p - \text{ну})}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)} =$$

$$= \frac{0,1 \text{ моль/л} \cdot 0,1 \text{ л}}{142 \text{ г/моль}} = 1,42 \text{ г.}$$

Тоді масова частка вихідного розчину:

$$w = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m(p - \text{ну})} = \frac{1,42 \text{ г}}{101,2 \text{ г}} = 0,014 \text{ (або 14\%) .}$$

Після того як у першу склянку долили воду, маса одержаного розчину збільшилася на масу води:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \rho(\text{H}_2\text{O}) \cdot V(\text{H}_2\text{O}) = 1 \text{ г/мл} \cdot 60 \text{ мл} = 60 \text{ г,}$$

тобто маса першого розчину:

$$m(p - \text{ну})_1 = m(p - \text{ну}) + m(\text{H}_2\text{O}) = 101,2 \text{ г} + 60 \text{ г} = 161,2 \text{ г,}$$

а масова частка w_1 у ньому:

$$w_1 = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m(p - \text{ну})_1} = \frac{1,42 \text{ г}}{161,2 \text{ г}} = 0,0088 \text{ (або 0,88\%) .}$$

Отже, у першій склянці масова частка зменшилась у:

$$\frac{w}{w_1} = \frac{0,014}{0,0088} = 1,6 \text{ рази.}$$

У другій склянці після додавання 10 г Na_2SO_4 маса розчину становить:

$$m(p - \text{ну})_2 = m(p - \text{ну}) + m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 101,2 \text{ г} + 10 \text{ г} = 111,2 \text{ г, а маса речовини в ньому:}$$

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_2 = 1,42 \text{ г} + 10 \text{ г} = 11,42 \text{ г.}$$

Масова частка у другому розчині:

$$w_2 = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)_2}{m(p - \text{ну})_2} = \frac{11,42 \text{ г}}{111,2 \text{ г}} = 0,1027 \text{ (або 10,27\%) .}$$

Масова частка у другому розчині зросла у:

$$\frac{w_2}{w} = \frac{0,1027}{0,014} = 7,3 \text{ рази.}$$

Маса розчину у третій склянці після випаровування 20 г води дорівнює:

$$m(p - \text{ну})_3 = m(p - \text{ну}) - m(\text{H}_2\text{O}) = 101,2 \text{ г} - 20 \text{ г} = 81,2 \text{ г.}$$

Беручи до уваги, що маса речовини не змінилася, обчислимо масову частку у третьому розчині:

$$w_3 = \frac{m(\text{Na}_2\text{SO}_4)}{m(p - \text{ну})_3} = \frac{11,42 \text{ г}}{81,2 \text{ г}} = 0,0175 \text{ (або 1,75\%) .}$$

Отже, у третьому розчині масова частка теж зросла у:

$$\frac{w_3}{w} = \frac{0,0175}{0,014} = 1,2 \text{ рази.}$$

Приклад 5. При температурі 80°C у 500 г води можна максимально розчинити 325 г

NH_4Cl . Визначити коефіцієнт розчинності $\gamma_{\text{NH}_4\text{Cl}}^{80^\circ}$.

Розв'язання. Складемо пропорцію:

$$\begin{array}{l} \text{у } 500 \text{ г} \quad \text{розчиняється} \quad 325 \text{ г } \text{NH}_4\text{Cl}; \\ \text{у } 100 \text{ г} \quad \text{розчиняється} \quad x \text{ г } \text{NH}_4\text{Cl}. \end{array}$$

Звідки знайдемо коефіцієнт розчинності:

$$x = \gamma_{\text{NH}_4\text{Cl}}^{80^\circ} = \frac{100 \text{ г} \cdot 325 \text{ г}}{500 \text{ г}} = 65 \text{ г}.$$

Приклад 6. У 1,2 л розчину міститься 20,5 мг сахарози $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$. Розрахуйте осмотичний тиск розчину при 22°C .

Розв'язання. З урахуванням маси сахарози ($m = 20,5 \text{ мг} = 2,05 \cdot 10^{-2} \text{ г}$) та її молярної маси ($M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 342 \text{ г/моль}$) обчислимо молярну концентрацію розчину

$$\begin{aligned} C_M &= \frac{n(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})}{V(p - \text{ну})} = \frac{m(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11})}{M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) \cdot V(p - \text{ну})} = \\ &= \frac{20,5 \cdot 10^{-2} \text{ г}}{342 \text{ г/моль} \cdot 1,2 \text{ л}} = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л} = 5,0 \cdot 10^{-5} \text{ моль/м}^3. \end{aligned}$$

При розв'язуванні задач, пов'язаних із знаходженням осмотичного тиску, слід пам'ятати, що одиницею його вимірювання є Па. З іншого боку, $[\text{Па}] \cdot \text{м}^3 = [\text{Дж}]$.

Відповідно до закону Вант-Гоффа осмотичний тиск розчину становить:

$$p_{\text{осм}} = CRT = 5 \cdot 10^{-2} \text{ моль/м}^3 \cdot 8,314 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К} \cdot 295 \text{ К} = 122,6 \text{ Па}.$$

Приклад 7. У 250 мл розчину міститься 17 мг розчиненої речовини. Осмотичний тиск розчину при 27°C становить 1,84 кПа. Визначте молярну масу речовини.

Розв'язання. Враховуючи, що

$$C = \frac{m}{MV} \Rightarrow p_{\text{осм}} = \frac{m}{MV} RT,$$

розраховуємо молярну масу речовини за формулою

$$M = \frac{mRT}{pV} = \frac{1,7 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot 8,314 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К} \cdot 300 \text{ К}}{1840 \text{ Па} \cdot 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3} = 9,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг/моль}.$$

Приклад 8. Розрахуйте тиск пари води над розчином, що містить 45 г глюкози $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ в 720 г води при 25°C . Тиск пари води при 25°C становить 3168 Па.

Розв'язання. Для даного випадку згідно з I (тонометричним) законом Рауля можна розрахувати тиск пари води над розчином за такою формулою:

$$P = P_0 \cdot \chi(\text{H}_2\text{O}),$$

де P - тиск пари води над розчином при 25°C ;

P_0 - тиск пари води при 25°C ;

$\chi(\text{H}_2\text{O})$ - мольна частка води в розчині.

Спочатку знайдемо мольну частку води в розчині:

$$\begin{aligned} \chi(\text{H}_2\text{O}) &= \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{n(\text{H}_2\text{O}) + n(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)} = \\ &= \frac{m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O})}{m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)/M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)} = \\ &= \frac{720 \text{ г}/18 \text{ г/моль}}{720 \text{ г}/18 \text{ г/моль} + 45 \text{ г}/180 \text{ г/моль}} = \frac{40 \text{ моль}}{40 \text{ моль} + 0,25 \text{ моль}} = 0,994. \end{aligned}$$

Тепер можна обчислити тиск насиченої пари розчинника над розчином:

$$p = p_0 \cdot \chi(\text{H}_2\text{O}) = 3168 \text{ Па} \cdot 0,994 = 3149 \text{ Па}.$$

Приклад 9. Розрахуйте молекулярну масу речовини, якщо відомо, що водний розчин, у якому міститься 5,12 г у 100 г води, замерзає при $-0,280^{\circ}\text{C}$; криоскопічна стала води $K_k(\text{H}_2\text{O}) = 1,86 \text{ K} \cdot \text{кг/моль}$.

Розв'язання. За наслідком закону Рауля зниження температури кристалізації (або замерзання) розчину порівняно з температурою кристалізації чистого розчинника пропорційно моляльній концентрації розчиненої речовини ($\Delta T_{\text{зам}} = K_k \cdot C_m$). Якщо підставити в рівняння Рауля вираз моляльної концентрації, одержимо

$$\Delta T_{\text{зам}} = K_k \cdot C_m; \quad \Delta T_{\text{зам}} = K_k \frac{m(\text{речовини}) \cdot 1000}{M(\text{речовини}) \cdot m(\text{H}_2\text{O})};$$

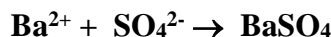
звідки молярна маса речовини становить:

$$M(\text{речовини}) = \frac{K_k \cdot m(\text{речовини}) \cdot 1000}{\Delta T \cdot m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{1,86 \text{ K} \cdot \text{кг/моль} \cdot 5,12 \text{ г} \cdot 1000}{0,280 \text{ K} \cdot 100 \text{ г}} = 340 \text{ г/моль}.$$

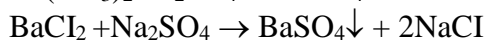
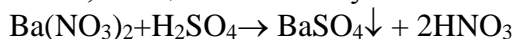
Оскільки відносна молекулярна маса чисельно дорівнює молярній масі, то маємо:

$$M_r(\text{речовини}) = 340.$$

Приклад 10. Складіть декілька молекулярних рівнянь, які відповідають молекулярно-іонному:



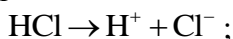
Розв'язання. При складанні молекулярного рівняння Ba^{2+} потрібно взяти у вигляді розчинної речовини, яка є сильним електролітом, це може бути основа чи сіль. Аналогічна вимога для SO_4^{2-} , але це вже може бути кислота або сіль.



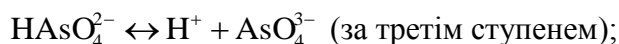
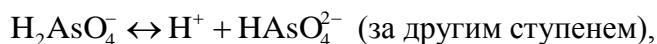
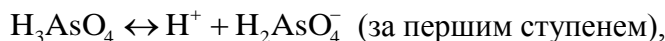
Приклад 11. Складіть рівняння електролітичної дисоціації таких речовин: а) хлоридної кислоти; б) ортоарсенатної кислоти; в) купрум(II) гідроксиду; г) ферум(III) сульфату; д) кальцій дигідрогенортофосфату; е) гідрсокупрум(II) хлориду.

Розв'язання. При виконанні подібних завдань ви маєте змогу перевірити заряди йонів у таблиці розчинності. У рівняннях дисоціації сильних електролітів замість знаку оборотності необхідно зазначати напрямок процесу за допомогою стрілочки.

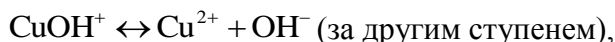
а) хлоридна кислота – сильний електроліт, отже, дисоціює практично повністю:



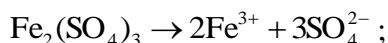
б) ортоарсенатна кислота є слабким електролітом, піддається ступеневій дисоціації, причому на кожному ступені дисоціація проходить частково:



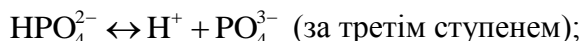
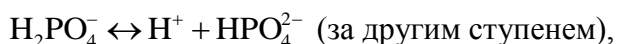
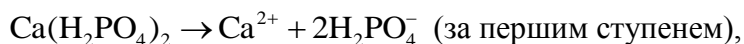
в) купрум(II) гідроксид є слабким електролітом, теж дисоціює по всім ступеням неповністю:



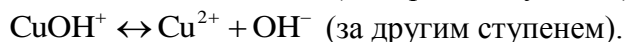
г) ферум(III) сульфат – сильний електроліт, добре розчинна сіль, тому дисоціює в одну стадію повністю:



д) кальцій дигірогенортофосфат – кисла сіль, яка за першим ступенем дисоціює повністю, а з іншими – ні:



е) гідроксокупрум(II) хлорид – основна сіль, яка за першим ступенем дисоціює повністю, а за другим – тільки частково:



Приклад 12. Складіть молекулярні рівняння можливих хімічних реакцій, які відбуваються при зливанні розчинів таких речовин: а) калій сульфід та хлоридної кислоти; б) аргентум нітрату та калій ортофосфату; в) купрум(II) гідроксиду та нітратної кислоти; г) натрій гідрогенкарбонату та сульфатної кислоти; д) барій гідроксиду та натрій гідроксиду.

Розв'язання. При виконанні подібних завдань дотримуються такого алгоритму:

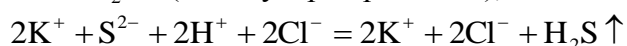
1 Уявно прогнозують можливі продукти реакції обміну, аналізують їх з урахуванням умов перебігу реакцій йонного обміну до кінця (випадіння осаду, утворення слабого електроліту, утворення легкої сполуки) і роблять висновок про можливість або неможливість перебігу хімічної реакції.

2 Якщо перебіг реакції можливий, складають її рівняння в молекулярному вигляді.

3 Потім складають рівняння реакції в повному йонному вигляді (формули неелектролітів та слабких електролітів записують у молекулярному вигляді, а формули сильних електролітів – у йонному), встановлюють «йони-спостерігачі» – ті, що не брали участі у реакції.

4 Записують скорочене йонне рівняння реакції, в якому наводять формули лише тих іонів і речовин, які взаємодіють.

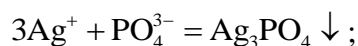
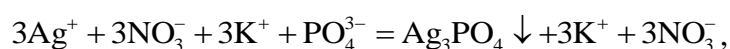
а) $\text{K}_2\text{S} + 2\text{HCl} = 2\text{KCl} + \text{H}_2\text{S} \uparrow$ (молекулярне рівняння),



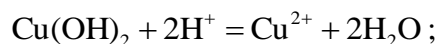
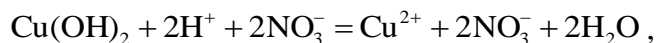
(повне йонне рівняння),



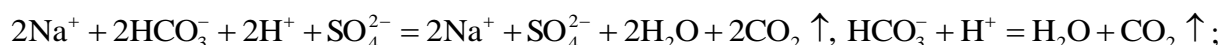
б) $3\text{AgNO}_3 + \text{K}_3\text{PO}_4 = \text{Ag}_3\text{PO}_4 \downarrow + 3\text{KNO}_3$,



в) $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$,

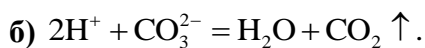
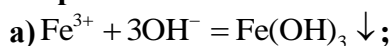


г) $2\text{NaHCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 \uparrow$,



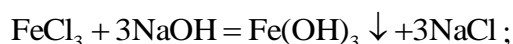
д) якщо уявити можливість перебігу реакції між сильними електролітами BaCl_2 і NaOH , то можна очікувати утворення продуктів $\text{Ba}(\text{OH})_2$ і NaCl , які теж є сильними електролітами, завдяки чому перебувають в розчинах у вигляді іонів. Оскільки не виконується умова необоротності процесу, тобто не утворюються нерозчинні, легкі чи малодисоційовані сполуки, перебіг реакції між BaCl_2 і NaOH неможливий.

Приклад 13. Складіть молекулярні рівняння хімічних реакцій за наведеними скороченими йонними:

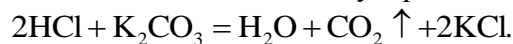


Розв'язання. При виконанні завдань такого типу необхідно спочатку проаналізувати схему реакції, а потім на підставі таблиці розчинності (додаток Д) та відомостей про сильні та слабкі електроліти запропонувати формули реагентів внаслідок дисоціації яких у розчині утворюються наведені йони.

а) очевидно, що катіони Fe^{3+} утворюються під час дисоціації розчинних солей Феруму (III), а гідроксид-іони – при дисоціації лугів. Тому наведеному йонному рівнянню реакції може відповідати таке молекулярне:



б) можна зробити висновок, що катіони H^+ утворюються під час дисоціації розчинних сильних кислот, а карбонат-іони – при дисоціації розчинних карбонатів. Отже, наведеному йонному рівнянню реакції може відповідати таке молекулярне:



Приклад 14. Обчислити рН розчину, у 2 л якого знаходиться 0,8 г NaOH. Дисоціацію лугу вважати повною.

Розв'язання. Луг дисоціює цілком ($\alpha = 1$), і з однієї молекули NaOH утворюється один іон OH^- ($n = 1$):



Обчислимо молярну концентрацію іонів OH^- у цьому розчині:

$$[\text{OH}^-] = m(\text{NaOH}) / (M(\text{NaOH}) \cdot V) = 0,8 / (40 \cdot 2) = 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

Обчислимо $p\text{OH}$ розчину: $p\text{OH} = -\lg [\text{OH}^-] = -\lg 10^{-2} = 2$.

Враховуючи, що $p\text{H} + p\text{OH} = 14$, знаходимо рН:

$$p\text{H} = 14 - p\text{OH} = 14 - 2 = 12.$$

Приклад 15. Визначте рН в 10^{-3}M розчині $\text{Zn}(\text{OH})_2$. Відомо, що $K_{\text{д1}}(\text{Zn}(\text{OH})_2) = 1,3 \cdot 10^{-5}$.

Розв'язання. Оскільки $\text{Zn}(\text{OH})_2$ є слабким електролітом, то значенням константи дисоціації за другим ступенем можна знехтувати. За законом розбавлення Оствальда розраховуємо ступінь дисоціації $\text{Zn}(\text{OH})_2$:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K_{\text{д1}}}{C_{\text{M}}}} = \sqrt{\frac{1,3 \cdot 10^{-5}}{10^{-3}}} = 0,114.$$

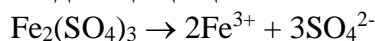
Розраховуємо концентрацію гідроксид-іонів:

$$[\text{OH}^-] = \alpha \cdot c = 0,114 \cdot 10^{-3} = 1,14 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}; p\text{OH} = -\lg[\text{OH}^-] = -\lg 1,14 \cdot 10^{-4} = 3,94;$$

$$p\text{H} = 14 - p\text{OH} = 14 - 3,94 = 10,06.$$

Приклад 16. Розрахуйте концентрацію катіонів і аніонів в 0,01M розчині сульфату заліза(III) $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, якщо ступінь дисоціації солі 80%.

Розв'язання. Складаємо рівняння дисоціації цієї солі:



Розраховуємо концентрацію іонів Fe^{3+} ($\alpha = 0,8$; $n = 2$):

$$c_{\text{м}}(\text{Fe}^{3+}) = 0,01 \cdot 0,8 \cdot 2 = 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

Розраховуємо концентрацію іонів SO_4^{2-} ($\alpha = 0,8$; $n = 3$):

$$c_{\text{м}}(\text{SO}_4^{2-}) = 0,01 \cdot 0,8 \cdot 3 = 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

Приклад 17. Розрахуйте молярну концентрацію іонів водню і молекул, які не продисоціювали, у 0,01M розчині азотистої кислоти HNO_2 .

Розв'язання. Азотиста кислота – слабкий електроліт і дисоціює оборотно:



З рівняння видно, що з однієї молекули кислоти при дисоціації утворюється один іон водню, $n = 1$. Із довідника знаходимо значення константи дисоціації: $K_{\text{д}} = 4 \cdot 10^{-4}$.

Розраховуємо ступінь дисоціації:

$$\alpha = \sqrt[1]{(4 \cdot 10^{-4}) / (1 \cdot 10^{-2})} = 0,2.$$

Знаходимо молярну концентрацію іонів водню у розчині:

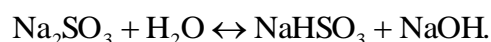
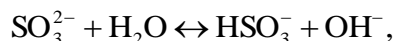
$$c_{\text{м}}(\text{H}^+) = 1 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л} \cdot 0,2 \cdot 1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Розраховуємо молярну концентрацію молекул кислоти, які не продисоціювали, за формулою:

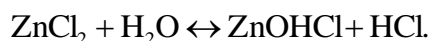
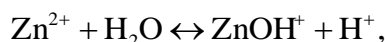
$$c_{\text{м}}(\text{HNO}_2) = c_{\text{м}}(\text{розчин}) \cdot (1 - \alpha) = 1 \cdot 10^{-1} \cdot (1 - 0,2) = 8 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

Приклад 18. Складіть рівняння гідролізу в йонному та молекулярному вигляді, зазначте реакцію середовища у розчинах таких солей: а) Na_2SO_3 ; б) ZnCl_2 ; в) $\text{Al}_2(\text{CO}_3)_3$.

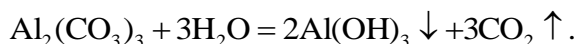
Розв'язання: а) Na_2SO_3 – сіль, утворена катіоном сильної основи (NaOH) та аніоном слабкої кислоти (H_2SO_3), гідроліз відбувається по аніону за першим ступенем. Унаслідок цього утворюється слабка кислота HSO_3^- і накопичуються йони OH^- , тому реакція середовища лужна, $\text{pH} > 7$:



б) ZnCl_2 – сіль, утворена катіоном слабкої основи ($\text{Zn}(\text{OH})_2$) та аніоном сильної кислоти (HCl), гідроліз відбувається по катіону за першим ступенем. Унаслідок цього утворюється слабка основа ZnOH^+ і накопичуються йони H^+ , тому реакція середовища кисла, $\text{pH} < 7$:

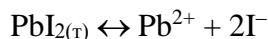


в) $\text{Al}_2(\text{CO}_3)_3$ – сіль, утворена катіоном слабкої основи ($\text{Al}(\text{OH})_3$) та аніоном слабкої кислоти (H_2CO_3), тому гідролізується одночасно як за катіоном, так і за аніоном. Завдяки зв'язуванню іонів H^+ і OH^- у недисоційовані сполуки (осад і газ) гідроліз солі $\text{Al}_2(\text{CO}_3)_3$ проходить необоротно. Реакція середовища нейтральна, $\text{pH} \approx 7$:



Приклад 19. Добуток розчинності йодиду свинцю(II) при 20°C дорівнює $8 \cdot 10^{-9}$. Розрахуйте розчинність солі (в моль/л і в г/л) при вказаній температурі.

Розв'язання. Запишемо рівняння дисоціації цієї солі у водному розчині:



$$1 \text{ моль} \quad 1 \text{ моль} \quad 2 \text{ моль}$$

З рівняння видно, що при розчиненні кожного моля PbI_2 в розчин переходять 1 моль іонів Pb^{2+} і 2 моль іонів I^- . Позначимо розчинність цієї солі через x , тоді у насиченому розчині PbI_2 містяться x моль/л іонів Pb^{2+} і $2x$ моль/л іонів I^- . Отже: $\text{ДР} = [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}^-]^2 = x \cdot (2x)^2 = 4x^3$, звідки:

$$x = \sqrt[3]{\text{ДР}/4} = \sqrt[3]{(8 \cdot 10^{-9})/4} = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Щоб розрахувати розчинність цієї солі в г/л, потрібно помножити цю молярну концентрацію на молярну масу солі $M(\text{PbI}_2) = 461$ г/моль:

$$x = 1,26 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л} \cdot 461 \text{ г/моль} = 0,58 \text{ г/л.}$$

Приклад 20. Чи утвориться осад барій хромату при зливанні 0,02 М розчину BaCl_2 та 0,01 М розчину K_2CrO_4 однакового об'єму? Добуток розчинності BaCrO_4 дорівнює $2,4 \cdot 10^{-10}$.

Розв'язання. Осад випадає за умови, що добуток концентрацій йонів перевищує їх добуток розчинності: $\text{ДК} > \text{ДР}$.

1 Складаємо рівняння реакцій дисоціації реагентів і визначаємо концентрації катіонів Барію та дихромат-іонів у вихідних розчинах.



З рівняння дисоціації BaCl_2 видно, що початкова концентрація катіонів Барію у вихідному розчині дорівнює концентрації барій хлориду:

$$[\text{Ba}^{2+}]_0 = c(\text{BaCl}_2) = 0,02 \text{ моль/л.}$$

У свою чергу, з рівняння дисоціації K_2CrO_4 випливає, що початкова концентрація дихромат-іонів у вихідному розчині дорівнює концентрації калій дихромату:

$$[\text{CrO}_4^{2-}]_0 = c(\text{K}_2\text{CrO}_4) = 0,01 \text{ моль/л.}$$

2 При зливанні вихідних розчинів однакового об'єму концентрація йонів зменшується вдвічі і набуває значень:

$$[\text{Ba}^{2+}] = 0,01 \text{ моль/л;} \quad [\text{CrO}_4^{2-}] = 0,005 \text{ моль/л.}$$

3 Знаходимо добуток концентрацій ДК катіонів Барію та дихромат-іонів, враховуючи, що



$$\text{ДК}(\text{BaCrO}_4) = [\text{Ba}^{2+}][\text{CrO}_4^{2-}] = 0,01 \cdot 0,005 = 5 \times 10^{-5}.$$

4 Порівнюємо значення добутку концентрацій $[\text{Ba}^{2+}][\text{CrO}_4^{2-}]$ з довідковим значенням добутку розчинності $\text{ДР}(\text{BaCrO}_4)$. Встановлюємо, що

$$[\text{Ba}^{2+}][\text{CrO}_4^{2-}] = 5 \cdot 10^{-5} > \text{ДР}(\text{BaCrO}_4) = 2,4 \cdot 10^{-10}.$$

Порівняння згаданих величин доводить, що при зливанні названих розчинів осад випадає.

Приклад 21. До 50 мл 0,001н розчину HCl додано 450 мл 0,0001н розчину AgNO_3 . Чи випаде в осад хлорид срібла в цих умовах? $\text{ДР}(\text{AgCl}) = 1,8 \cdot 10^{-10}$. Ступені дисоціації HCl і AgNO_3 прийняти рівними 100%.

Розв'язання. Умовою випадання осаду в даному разі є $[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-] > 1,8 \cdot 10^{-10}$. Далі послідовно розраховуємо концентрації іонів у розчині. Маса HCl в 50 мл вихідного 0,001н розчину:

$$\begin{aligned} m(\text{HCl}) &= c(1/\text{HCl}) \cdot M(1/\text{HCl}) \cdot V(\text{л}) = \\ &= 1 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л} \cdot 36,5 \text{ г/моль} \cdot 0,05 \text{ л} = 1,825 \cdot 10^{-3} \text{ г.} \end{aligned}$$

Сумарний об'єм розчину після зливання вихідних розчинів:

$$V = 50 + 450 = 500 \text{ мл} = 0,5 \text{ л.}$$

Молярна концентрація HCl після зливання розчинів:

$$c(\text{HCl}) = \frac{m(\text{HCl})}{M(\text{HCl}) \cdot V_{\text{розч.}}(\text{л})} = \frac{1,825 \cdot 10^{-3} \text{ г}}{36,5 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ л}} = \frac{1,825 \cdot 10^{-3} \text{ г}}{18,25 \text{ г/моль} \cdot \text{л}} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$
 Концентрація іонів Cl⁻ в

отриманому після зливання розчині:

$$c(\text{Cl}^-) = 1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л} \cdot 1 \cdot 1 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Маса AgNO₃ в 450 мл вихідного 0,0001н розчину:

$$m(\text{AgNO}_3) = c(1/1 \text{ AgNO}_3) \cdot M(1/1 \text{ AgNO}_3) \cdot V(\text{л}) = \\ = 1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л} \cdot 170 \text{ г/моль} \cdot 0,45 \text{ л} = 7,65 \cdot 10^{-3} \text{ г}$$

Молярна концентрація AgNO₃ після зливання розчинів:

$$c(\text{AgNO}_3) = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{M(\text{AgNO}_3) \cdot V_{\text{розч.}}(\text{л})} = \frac{7,65 \cdot 10^{-3} \text{ г}}{170 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ л}} = \frac{7,65 \cdot 10^{-3} \text{ г}}{85 \text{ г/моль} \cdot \text{л}} = 0,9 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$$
 Концентрація іонів срібла

після зливання розчинів:

$$c(\text{Ag}^+) = 0,9 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л} \cdot 1 \cdot 1 = 0,9 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Розрахуємо фактичний добуток концентрацій іонів у новому розчині: $[\text{Ag}^+] \cdot [\text{Cl}^-] = 0,9 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \cdot 10^{-4} = 0,9 \cdot 10^{-8}$

Порівнюємо одержане числове значення с ДР:

$$[\text{Ag}^+] \cdot [\text{Cl}^-] > 1,8 \cdot 10^{-10}$$

Таким чином, в заданих умовах AgCl випадає в осад.

Приклад 22. Визначити масову частку в процентах розчиненої речовини у розчині, отриманому змішенням 300 г 25%-го і 400 г 40%-го (по масі) розчинів цієї речовини.

Розв'язання. Масова частка визначається формулою

$$\omega\%(X) = (m_2 / m) \cdot 100\%$$

а) Знаходимо масу розчину, що утворився при змішуванні:

$$m = m_1 + m_2 = 300 + 400 = 700 \text{ г}$$

б) Маса розчиненої речовини в 25%-му розчині (I):

$$m_2(\text{I}) = 300 \cdot 0,25 = 75 \text{ г}$$

і в 40%-му розчині (II):

$$m_2(\text{II}) = 400 \cdot 0,4 = 160 \text{ г.}$$

в) Визначаємо загальну масу розчиненої речовини в отриманому розчині:

$$m_2 = m_2(\text{I}) + m_2(\text{II}) = 75 + 160 = 235 \text{ г}$$

і розраховуємо її масову частку в розчині:

$$\omega\%(X) = (235/700) \cdot 100 = 33,6\%.$$

Приклад 23. Густина 15%-го розчину H₂SO₄ дорівнює 1,105 г/мл. Обчислити: а) молярну концентрацію еквівалентів; б) молярність; в) моляльність розчину.

Розв'язання. Будемо вести розрахунки на $m=100$ г розчину, що містять $m_2 = 15$ г розчиненої речовини (H₂SO₄) і $m_1=85$ г розчинника (H₂O). Об'єм V цього розчину дорівнює: $V = m / \rho = 100 / 1,105 = 90,5$ мл або 0,0905 л.

а) Молярну концентрацію еквівалентів (або нормальну концентрацію) $c_{\text{н}}$ визначають по формулі:

$$c_{\text{н}} = n_{\text{екв}}(X_2) / V = m_2 / (M_{\text{екв}}(X_2) \cdot V),$$

де $n_{\text{екв}}(X_2)$ - число моль еквівалентів розчиненої речовини.

Визначаємо молярну масу еквівалентів сірчаної кислоти:

$$M_{\text{екв}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = f \cdot M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1/2 \cdot 98 = 49 \text{ г/моль},$$

де f – фактор еквівалентності (найменший) сірчаної кислоти.

Підставляємо знайдені величини у формулу для c_n і знаходимо: $c_n = 15 / (49 \cdot 0,0905) = 3,38$ моль/л.

б) Молярну концентрацію обчислюємо за формулою:

$$c_M = m_2 / (M(X_2) \cdot V) = 15 / (98 \cdot 0,0905) = 1,69 \text{ моль/л.}$$

в) Молярну концентрацію знаходимо за формулою:

$$c_m = m_2 \cdot 1000 / (M(X_2) \cdot m_1) = 15 \cdot 1000 / (98 \cdot 85) = 1,8 \text{ моль/кг.}$$

Приклад 24. Яку масу хлориду натрію $m(\text{NaCl})$ і води $m(\text{H}_2\text{O})$ необхідно взяти, щоб приготувати $m_{\text{розчину}} = 500$ г з масовою концентрацією $\omega = 2\%$?

Розв'язання. Обчислюємо за формулою:

$$\omega = m_{\text{р.р.}} \cdot 100\% / (m_{\text{р.р.}} + m_{\text{H}_2\text{O}}).$$

$$\omega = m_{\text{NaCl}} \cdot 100\% / m_{\text{NaCl}} + m_{\text{H}_2\text{O}}; \quad 2 = x \cdot 100 / 500;$$

$$x = 2 \cdot 500 / 100 = 10 \text{ г NaCl.}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 500 \text{ г} - 10 \text{ г} = 490 \text{ г}.$$

Для приготування 500 г 2%-го розчину необхідно взяти 10 г солі і розчинити в 490 г (або 490 мл) води.

Якщо змішують два розчини з різною масовою часткою, нову концентрацію можна знайти за формулою $m_1\omega_1 + m_2\omega_2 = (m_1 + m_2)\omega_3$; де m_1, m_2 – маси розчинів; ω_1, ω_2 – масові концентрації. При розбавленні першого розчину водою концентрація води ω_2 дорівнює нулю, і формула має вигляд:

$$m_1 \cdot \omega_1 + m_{\text{H}_2\text{O}} \cdot 0 = (m_1 + m_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot \omega_3;$$

$$m_1 \omega_1 = (m_1 + m_2) \cdot \omega_3.$$

Приклад 25. Змішали 200 г розчину сульфатної кислоти з масовою часткою $\omega_1 (\text{H}_2\text{SO}_4) = 10\%$ і 300 г розчину з масовою часткою $\omega_2 (\text{H}_2\text{SO}_4) = 40\%$. Якою стала масова частка кислоти в розчині?

Розв'язання. За формулою змішування $m_1 \omega_1 + m_2 \omega_2 = (m_1 + m_2)\omega_3$, - знаходимо концентрацію сульфатної кислоти після змішування

$$200\text{г} \cdot 10\% + 300\text{г} \cdot 40\% = (200\text{г} + 300\text{г}) \cdot \omega_3;$$

$$2000 + 12000 = 500 \cdot \omega_3;$$

$$14000 = 500 \omega_3;$$

$$\omega_3 = 14000 / 500 = 28\%.$$

Масова частка кислоти в одержаному розчині дорівнює 28%.

Приклад 26. Яку масу води необхідно додати до 20 кг розчину сульфатної кислоти з масовою часткою H_2SO_4 40%, щоб одержати розчин з масовою часткою 25%?

Розв'язання. За формулою змішування розчину з водою:

$$m_1 \omega_1 = (m_1 + m_{\text{H}_2\text{O}})\omega_3, \text{ - знаходимо:}$$

$$20 \text{ кг} \cdot 40\% = (20 \text{ кг} + x) 25\%;$$

$$800 = 500 + 25x;$$

$$25x = 300;$$

$$x = 12 \text{ кг.}$$

До розчину необхідно додати 12 кг (або літрів) води.

Приклад 27. До розчину об'ємом 1 л з масовою часткою HNO_3 60% і густиною 1,31 г/мл долили 700 мл води. Яка масова частка кислоти в одержаному розчині?

Розв'язання. В цьому прикладі дана не маса (m), а об'єм розчину (V), тому для розв'язання необхідно перевести об'єм в масу за формулою

$$m_{\text{розчину}} = V \cdot \rho = 1000 \text{ мл} \cdot 1,31 \text{ г/мл} = 1310 \text{ г розчину кислоти.}$$

За формулою змішування знаходимо масову частку кислоти в розчині після змішування $m_1 \cdot \omega_1 = (m_1 + m_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot \omega_3$;

$$1310\text{г} \cdot 60\% = (1310\text{г} + 700\text{г})\omega_3$$

$$\omega_3 = 78600\text{г} / 2010\text{г} = 39,1\% \text{ HNO}_3$$

Приклад 28. Яка кількість моль сульфатної кислоти міститься в 4 літрах 0,25 М розчину?

Розв'язання. За формулою: $C_M = \nu / V$, - знаходимо кількість моль ν :

$$\nu = C_M \cdot V = 0,25 \text{ моль/л} \cdot 4 \text{ л} = 1,0 \text{ моль (H}_2\text{SO}_4)$$

Приклад 29. У воді розчинили 8 г гідроксиду натрію. Об'єм розчину довели до 500 мл. Знайти молярну концентрацію NaOH в розчині. $M(\text{NaOH}) = 23+16+1 = 40$ г/моль.

Розв'язання. За формулою: $C_M = m \cdot 1000 / M \cdot V$, - знаходимо молярну концентрацію: $C_M = 8 \text{ г} \cdot 1000 \text{ мл} / 40 \text{ г/моль} \cdot 500 \text{ мл} = 0,4 \text{ моль/л}$ (або = 0,4 М).

Приклад 30. Яка молярна концентрація 14,6 %-го розчину фосфатної кислоти з густиною 1,08 г/мл? $M(\text{H}_3\text{PO}_4) = 98$ г/моль.

Розв'язання. Для обчислення молярної концентрації використаємо формулу

$$C_M = \omega \cdot \rho \cdot 10 / M;$$

$$C_M = 14,6 \cdot 1,08 \cdot 10 / 98 = 1,6 \text{ моль/л (1,6М).}$$

При розгляді властивостей неелектролітів необхідно пам'ятати, що неелектроліти - це речовини, що не проводять електричний струм, тому що при розчиненні молекули неелектролітів не розпадаються на іони.

Тиск насиченої пари над розчином завжди нижчий, ніж над чистим розчинником. Кількісна залежність зниження тиску насиченої пари над розчином неелектроліту від концентрації розчину описується законом Рауля і виражається формулою:

$$\Delta P = P_0 \cdot x(\text{X}_2),$$

де P_0 – тиск насиченої пари над чистим розчинником; P - тиск насиченої пари над розчином; $\Delta P = (P_0 - P)$ - зниження тиску насиченої пари над розчином; $x(\text{X}_2)$ - мольна частка розчиненої речовини, що визначається за формулою:

$$x(\text{X}_2) = n(\text{X}_2) / (n(\text{X}_1) + n(\text{X}_2)),$$

де $n(\text{X}_2)$ і $n(\text{X}_1)$ - кількість моль розчиненої речовини і розчинника, відповідно.

Приклад 31. Чому дорівнює тиск насиченої пари води над 10%-м розчином карбаміду $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ при 100°C ?

Розв'язання. При 100°C тиск насиченої пари над водою P_0 дорівнює 760 мм.рт.ст., або 101,3 кПа. З умови задачі випливає, що маса карбаміду на кожні 100 г розчину складає 10 г, а маса води - 90 г. Визначаємо мольну частку карбаміду у цьому розчині:

$$x(\text{X}_2) = n(\text{X}_2) / (n(\text{X}_1) + n(\text{X}_2)) = m_2 / M(\text{X}_2) / (m_1 / M(\text{X}_1) + m_2 / M(\text{X}_2)) =$$

$$= (10/60) / (90/18 + 10/60) = 0,167 / (5 + 0,167) = 0,032.$$

Розраховуємо зниження тиску насиченої пари води над розчином згідно із законом Рауля:

$$\Delta P = P_0 \cdot x(X_2) = 101,3 \cdot 0,032 = 3,24 \text{ кПа.}$$

Знаходимо тиск насиченої пари над розчином:

$$P = P_0 - \Delta P = 101,3 - 3,24 = 98,06 \text{ кПа.}$$

При визначенні температур кипіння і замерзання розчинів неелектролітів треба пам'ятати, що розчини киплять при більш високих, а замерзають при більш низьких температурах, ніж чисті розчинники. Як впливає з закону Рауля, підвищення температури кипіння ΔT_k і зниження температури замерзання ΔT_z розчину неелектроліту прямо пропорційні моляльній концентрації розчину:

$$\Delta T_k = K_e \cdot c_m, \quad \Delta T_z = K_k \cdot c_m,$$

$$\text{де } \Delta T_k = T_k(\text{розчину}) - T_k(\text{розчинника}) = T_k - T_k^0;$$

$$\Delta T_z = T_z(\text{розчинника}) - T_z(\text{розчину}) = T_z^0 - T_z.$$

(В наших позначках температура з верхнім "ноликом" відноситься до чистого розчинника, а без нього – до розчину).

Ебуліоскопічна K_e і кріоскопічна K_k константи рівні, відповідно, підвищенню температури кипіння і зниженню температури замерзання одномоляльного розчину ($c_m = 1$).

Приклад 32. У радіатор автомобіля залили 9 л води і додали 2 л метилового спирту ($\rho = 0,8$ г/мл). При якій щонайнижчій температурі можна після цього залишати автомобіль на відкритому повітрі, не побоюючись, що вода у радіаторі замерзне?

Розв'язання. Відповідно до закону Рауля:

$$\Delta T_z = K_k \cdot c_m = K_k \cdot n(X_2) \cdot 1000 / m_1 = K_k \cdot m_2 \cdot 1000 / M(X_2) \cdot m_1.$$

Для води $K_k = 1,86$ К·кг/моль. Маса метилового спирту дорівнює: $m_2 = V \cdot \rho = 2000 \cdot 0,8 = 1600$ г, а молярна маса: $M_2(\text{CH}_3\text{OH}) = 32$ г/моль.

Маса води m_1 у розчині дорівнює: $m_1 = 9000 \cdot 1,0 = 9000$ г.

Підставляємо дані у формулу і визначаємо зниження температури замерзання розчину:

$$\Delta T_z = 1,86 \cdot 1600 \cdot 1000 / (32 \cdot 9000) = 10,3 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Знаходимо температуру замерзання даного розчину:

$$T_z = T_z^0 - \Delta T_z = 0 - 10,3 = -10,3 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Це щонайнижча температура, при якій ще можна залишати автомобіль на морозі.

Приклад 33. Скільки сахарози $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ треба розчинити в 100 г води, щоб: а) знизити температуру кристалізації на 1 градус? б) підвищити температуру кипіння на один градус?

Розв'язання. По закону Рауля:

$$\Delta T_z = K_k \cdot c_m = K_k \cdot m_2 \cdot 1000 / M(X_2) \cdot m_1$$

Визначаємо звідси масу сахарози m_2 , необхідну для зниження температури кристалізації на 1°C :

$$m_2 = \Delta T_z \cdot M(X_2) \cdot m_1 / (K_k \cdot 1000)$$

$$M(X_2) = M(\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}) = 324 \text{ г/моль}$$

$$m_2 = 1 \cdot 324 \cdot 100 / (1,86 \cdot 1000) = 18,4 \text{ г.}$$

Аналогічно визначаємо масу сахарози, необхідну для підвищення температури кипіння на 1°C :

$$m_2 = T_k \cdot M(X_2) \cdot m_1 / (K_e \cdot 1000)$$

$$m_2 = 1 \cdot 324 \cdot 100 / (0,52 \cdot 1000) = 65,8 \text{ г}$$

Дуже часто по підвищенню температури кипіння і зниженню температури замерзання розчину визначають експериментально молярну масу розчиненої речовини.

а) Ебуліоскопічний метод визначення молярної маси:

$$M(X_2) = K_e \cdot m_2 \cdot 1000 / (\Delta T_k \cdot m_1);$$

б) Криоскопічний метод визначення:

$$M(X_2) = K_k \cdot m_2 \cdot 1000 / (\Delta T_3 \cdot m_1).$$

Приклад 34. Водно-спиртовий розчин, що містить 15% спирту, кристалізується при -10,26°C. Знайти молярну масу спирту.

Розв'язання. Так як мова йде про кристалізацію розчину, то застосуємо криоскопічний метод для визначення молярної маси спирту. За умовами: $m_2(\text{спирт}) = 15 \text{ г}$, $m_1(\text{вода}) = 85 \text{ г}$.

$$\Delta T_3 = 0 - (-10,26) = 10,26^\circ\text{C}. \text{ Константа } K_k(\text{H}_2\text{O}) = 1,86.$$

Знаходимо молярну масу спирту:

$$M(X_2) = K_k \cdot m_2 \cdot 1000 / (T_3 \cdot m_1) = 1,86 \cdot 15 \cdot 1000 / (10,26 \cdot 85) = 32 \text{ г/моль}.$$

Приклад 35. Визначити реакцію середовища розчину ціаніду амонію.

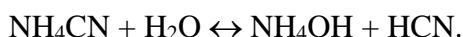
Розв'язання. Ціанід амонію в розчині дисоціює на іони:



Оскільки ця сіль утворена слабкою основою NH_4OH і слабкою кислотою HCN , то в реакції гідролізу беруть участь і катіон, і аніон:



або в молекулярній формі:

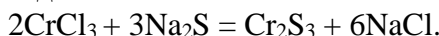


У результаті реакції утворюються слабка основа і слабка кислота, але так як $K_d(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5} > K_d(\text{HCN}) = 8 \cdot 10^{-10}$,

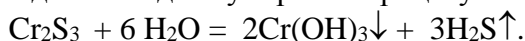
то середовище розчину буде слабколужним.

Приклад 36. Скласти рівняння реакцій, що протікають при зливанні водних розчинів хлориду хрому (III) і сульфід натрію.

Розв'язання. Спочатку запишемо рівняння реакції, знаючи, що при обмінній взаємодії двох солей повинні утворитися дві нові солі:



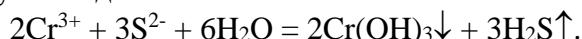
Користуючись таблицею розчинності солей, перевіряємо, чи існують продукти реакції у водному розчині. Хлорид натрію існує, а проти сульфід хрому(III) стоїть прочерк, тобто ця сіль піддається повному гідролізу. Тому не можна обмежитися вищенаведеним рівнянням реакції, а треба написати ще одне - повний гідроліз сульфід хрому(III) - і скласти обидва рівняння. Тоді маємо для сумарного процесу:



Сумарне рівняння повного гідролізу:



і в іонно-молекулярному вигляді:



Література.

1. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия. Учеб. для вузов. – 4-е изд., испр. – Москва: Высш. шк., Изд. центр «Академия», 2001. – 743 с., ил.
2. Пономарьова В.В. Основні класи неорганічних сполук: Навч. пос. Для студентів нехім. спец. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2003. – 39 с.

3. Кириченко В.І. Загальна хімія: Навчальний посібник. [для студ. інженер.–техн. спец. вищ. навч. закл.] / Віктор Іванович Кириченко; [Мін-во освіти і науки України; гриф: лист №14/18.2–1285 від 03.06.2005]. – Київ: Вища шк., 2005. –639с.: іл., 83 рис., 80 табл. – Інформаційне середовище: на поч. розд. – Контрол. запитання: після розд. – Структурно-логічні схеми: після розд. – Бібліогр.: с. 635 (22 назви). – ISBN 966-642-182-8.
4. Михалічко Б.М. Курс загальної хімії. Теоретичні основи: Навчальний посібник / Михалічко Борис Миронович; [Мін-во освіти і науки України; гриф: лист № 1.4/18-Г-1180 від 22.11.2006]. – Київ: Знання, 2009. – 548 с. - Бібліогр.: с. 511 (21 назва). – Предм. покажч.: с. 543–548. – ISBN 978-966-346-712-2.
5. Неорганическая химия: В 3 т. /Под редакцией Ю.Д.Третьякова. Т.1: Физико-химические основы неорганической химии: Учебник для студ. высш. учеб. заведений /М.Е.Тамм, Ю.Д.Третьяков; - М.: Издательский центр «Академия», 2004.-240 с. ISBN 5-7695-1446-9.
6. Неорганическая химия: В 3 т. /Под редакцией Ю.Д.Третьякова. Т.2: Химия непереходных элементов: Учебник для студ. высш. учеб. заведений /А.А.Дроздов, В.П.Зломанов, Г.Н.Мазо, Ф.М.Спиридонов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.-368 с. ISBN 5-7695-1436-9.
7. Неорганическая химия: В 3 т. /Под редакцией Ю.Д.Третьякова. Т.3: Химия переходных элементов. Кн.1 : Учебник для студ. высш. учеб. заведений /А.А.Дроздов, В.П.Зломанов, Г.Н.Мазо, Ф.М.Спиридонов. – М.: Издательский центр «Академия», 2007.-352 с. ISBN 5-7695-2532-0.
8. Неорганическая химия: В 3 т. /Под редакцией Ю.Д.Третьякова. Т.3: Химия переходных элементов. Кн.2 : Учебник для студ. высш. учеб. заведений /А.А.Дроздов, В.П.Зломанов, Г.Н.Мазо, Ф.М.Спиридонов. – М.: Издательский центр «Академия», 2007.-400 с. ISBN 5-7695-2533-9.
9. Загальна та неорганічна хімія у двох частинах: Підручник. Частина II [для студ. вищ. навч. закл.] / О.М. Степаненко, Л.Г. Рейтер, В.М. Ледовських, С.В. Іванов; [Мін-во освіти і науки України; гриф: лист № 212 від 03.06.1999]. – Київ: Пед. преса, 2000. – 784с.: іл., 125 рис., 63 табл. – Бібліогр.: с. 771 (28 назв). – Імен. покажч.: с.772–773. – Предметн. покажч.: с.774–783. – ISBN 955-7320-13-8.
10. Романова Н.В. Загальна та неорганічна хімія: Підручник [для студ. вищ. навч. закл.] / Неоніла Володимирівна Романова; [Мін-во освіти і науки України; гриф: лист №13710594 від 30.06.1995]. – Київ: Ірпінь: ВТФ «Перун», 2004. – 480с.: 54 рис., 30 табл. – Бібліогр.: с. 465 (25 назв). – Імен. покажч.: с. 466–467. – Предм. покажч.: с. 468–477. – ISBN 966-569-106-6.
11. Угай Я.А. Общая и неорганическая химия. – Москва: Высш. шк., 1997. – 527 с.
12. Самостійна робота студентів при вивченні хімії: навч. посіб. / Ю.В. Ліцман, Л.І. Марченко, С.Ю. Лебедев.– Суми: Сумський державний університет, 2011. – 349 с. ISBN 978-966-657-338-7.
13. Методичні вказівки до практичних робіт з загальної хімії (для студентів усіх спеціальностей) (Уклад.: Т.М.Волох, Н.М.Максименко, В.В.Приседський, Л.І.Рубльова, С.Г.Шейко; Під ред. В.В.Приседського. – Донецьк: ДонНТУ, 2005. – 183 с.
14. Буря О.І., Повхан М.Ф., Чигвінцева О.П., Антрапцева Н.М. Загальна хімія: Навчальний посібник. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2002. – 306 с.

Запитання для самоперевірки.

- 1 Який об'єм 14%-го (по масі) розчину HCl ($\rho=1,07$ г/мл) буде потрібен для повного розчинення: а) 24,3 г Mg? б) 27,0 г Al? Відповідь: а) 487,3 мл; б) 731,0 мл.

- 2 Для нейтралізації 20 мл 0,1 н розчину кислоти треба 8 мл розчину NaOH. Скільки грамів NaOH містить 1 л цього розчину? Відповідь: 10 г.
- 3 Розрахуйте молярну концентрацію хлориду магнію в підземних водах, якщо відомо, що його процентна концентрація складає 1%. Відповідь: 0,1 моль/кг.
- 4 Є розчини хлориду алюмінію і хлориду магнію у воді. Молярна концентрація у них однакова. У якому випадку молярність розчину буде більша? Поясніть, застосувавши найпростіший розрахунок. Відповідь: $c_m(\text{AlCl}_3)$ буде більша.
- 5 Розчин складається з 50 г метилового спирту (CH_3OH) і 50 г етилового ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$). Як варто назвати цей розчин: розчином етилового спирту в метиловому або метилового в етиловому? Відповідь перевірте розрахунком мольних часток цих речовин. Відповідь: $x(\text{CH}_3\text{OH}) = 0,59$; $x(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0,41$.
- 6 При 315 К тиск насиченої пари над водою дорівнює 8,2 кПа. Як понизиться тиск пари при зазначеній температурі, якщо в 540 г води розчинити 36 г глюкози $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$? Відповідь: на 54 Па.
- 7 При 293 К тиск насиченої пари над водою дорівнює 2,34 кПа. Скільки грамів гліцерину $\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$ треба розчинити в 180 г води, щоб понизити тиск пари на 133,3 Па? Відповідь: 55,6 г.
- 8 Обчисліть масову частку водного розчину глюкози $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$, знаючи, що цей розчин кипить при 100,26°C. Відповідь: $\omega\%(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 8,3\%$
- 9 Розчин, що містить 25,65 г деякого неелектроліту в 300 г H_2O , кристалізується при -0,465°C. Обчисліть молярну масу розчиненої речовини. Відповідь: 342 г/моль.
- 10 Обчисліть температуру кипіння 15%-го водного розчину пропілового спирту $\text{C}_3\text{H}_7\text{OH}$. Відповідь: 101,5°C.
- 11 Вкажіть, які з перелічених нижче речовин відносяться до сильних і які до слабких електролітів: HCN , $\text{Sr}(\text{OH})_2$, K_2SO_4 , H_2SiO_3 , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, HNO_3 , CH_3COOH , KOH , NH_4OH , NaF , H_2S .
- 12 Напишіть рівняння дисоціації наступних електролітів: HNO_3 , H_2S , $\text{Ba}(\text{OH})_2$, $\text{Zn}(\text{OH})_2$, $\text{Fe}(\text{OH})_2\text{NO}_3$, NaHSO_4 .
- 13 Складіть у молекулярному і молекулярно-іонному виді рівняння реакцій між: а) гідроксидом цинку і соляною кислотою; б) гідрокарбонатом калію і гідроксидом калію; в) гідроксохлоридом міді(II) і соляною кислотою.
- 14 На основі кожного з наведених нижче молекулярно-іонних рівнянь складіть по два молекулярних:
- $$\text{ZnS} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{Zn}^{2+} + \text{H}_2\text{S}, \quad \text{Al}(\text{OH})_2^+ + \text{H}^+ \rightarrow \text{AlOH}^{2+} + \text{H}_2\text{O},$$
- $$\text{PbS} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Pb}(\text{OH})_2 + \text{S}^{2-}, \quad \text{H}_2\text{PO}_4^- + \text{OH}^- \rightarrow \text{HPO}_4^{2-} + \text{H}_2\text{O}.$$
- 15 Розрахуйте концентрації катіонів і аніонів в 0,1М розчині подвійної солі $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2$, якщо ступінь дисоціації цієї солі 70 %. Відповідь: $c(\text{NH}_4^+) = 0,07$ моль/л; $c(\text{Fe}^{3+}) = 0,07$ моль/л; $c(\text{SO}_4^{2-}) = 0,14$ моль/л.
- 16 Розрахуйте молярні концентрації іонів H^+ і недисоційованих молекул H_2SO_3 в 0,02М розчині сірчистої кислоти. Дисоціацією кислоти за другим ступенем знехтуйте. Відповідь: $1,73 \cdot 10^{-2}$ моль/л; $2,1 \cdot 10^{-3}$ моль/л.
- 17 У насиченому розчині йодиду свинцю(II) встановилася рівновага: $\text{PbI}_{2(\text{т})} \leftrightarrow (\text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^-)_{\text{розчин}}$. Яка речовина випаде в осад при додаванні йодиду калію KI? Як буде впливати на розчинність малорозчинного електроліту додавання в насичений розчин малорозчинної солі сильного електроліту, який містить однойменний іон?
- 18 Розчин, який містить 11,1 г CaCl_2 в 310 г води, кристалізується при -1,68 °C. Визначте уявну ступінь дисоціації солі. Відповідь: $\alpha = 90 \%$.
- 19 Розчинність CaCO_3 при 35 °C дорівнює $6,9 \cdot 10^{-5}$ моль/л. Розрахуйте добуток розчинності цієї солі при вказаній температурі. Відповідь: $\text{ДР}(\text{CaCO}_3) = 4,8 \cdot 10^{-9}$.

- 20 Розрахуйте, чи буде утворюватися осад малорозчинного хромату кальцію CaCrO_4 ($D_p = 7,1 \cdot 10^{-4}$) при зливанні рівних об'ємів 0,1М розчинів CaCl_2 і K_2CrO_4 . Відповідь: осад випаде.
- 21 Обчисліть рН і рОН у 0,01М розчині гідроксиду барію $\text{Ba}(\text{OH})_2$, якщо ступінь дисоціації $\text{Ba}(\text{OH})_2$ дорівнює 90%. Відповідь: рН = 12,26; рОН = 1,74.
- 22 Кислі стічні води після травлення виробів зі сталі послідовно нейтралізують вапняним молоком до рН=8. Обчисліть концентрацію іонів H^+ і OH^- в отриманих розчинах. Чому дорівнює рОН у цьому розчині? Відповідь: $[\text{H}^+] = 10^{-8}$ моль/л; $[\text{OH}^-] = 10^{-6}$ моль/л; рОН=6.
- 23 У 5 л шахтної води однієї із шахт Донбасу утримується 0,05 молей азотної кислоти. Вважаючи дисоціацію кислоти повною, обчисліть концентрацію іонів OH^- у цій воді. Відповідь: 10^{-12} моль/л.
- 24 Обчисліть рН 0,001н розчину KOH , якщо $\alpha = 100\%$. Яке забарвлення набуде лакмус у цьому розчині? Відповідь : рН = 11.
- 25 Які солі із наведених нижче будуть піддаватися гідролізу при розчиненні у воді: NaCl , K_2CO_3 , $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$, ZnCl_2 , $(\text{NH}_4)_2\text{S}$? Складіть рівняння реакцій гідролізу цих солей в іонному та іонно-молекулярному вигляді і вкажіть значення рН у розчинах даних солей (більше або менше 7).
- 26 Які солі із приведених нижче будуть піддаватися повному гідролізу при розчиненні у воді: NaCl , Na_2CO_3 , $\text{Al}_2(\text{CO}_3)_3$, SnSO_3 , FeCl_3 ? Складіть рівняння реакцій гідролізу цих солей в іонному і іонно-молекулярному вигляді.
- 27 При зливанні водних розчинів карбонату натрію і сульфату алюмінію випадає білий осад і виділяється газ. Яка речовина випадає в осад? Який газ виділяється? Складіть рівняння реакцій, що протікають у розчині, у молекулярному та іонно-молекулярному вигляді.
- 28 В окремих пробірках знаходяться розчини солей: NaCl , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, Na_2CO_3 . Як за допомогою індикатора встановити, в якій пробірці знаходиться яка сіль? Відповідь мотивуйте, склавши рівняння гідролізу солей.
- 29 Враховуючи можливість повного гідролізу солей у воді, напишіть рівняння реакцій обміну між водними розчинами хлориду хрому(III) і карбонату натрію в молекулярному й іонно-молекулярному вигляді. Яка речовина випадає в осад? Який газ виділяється при нагріванні розчину?
- 30 Складіть рівняння повної електролітичної дисоціації для сильних електролітів та ступінчастої – для слабких: а) сульфатної кислоти; б) кальцій гідроксиду; в) ортофосфатної кислоти; г) алюміній сульфату; д) карбонатної кислоти.
- 31 Складіть рівняння хімічних реакцій, які можуть відбутися при зливанні розчинів таких речовин: а) AlCl_3 і AgNO_3 ; б) K_2S і ZnCl_2 ; в) $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ і KI ; г) K_2CO_3 і CaCl_2 ; д) K_3PO_4 і BaCl_2 .
- 32 Складіть молекулярні рівняння хімічних реакцій за наведеними скороченими йонними:
а) $\text{Cu}^{2+} + 2\text{OH}^- = \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow$; б) $2\text{H}^+ + \text{SO}_3^{2-} = \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 \uparrow$;
в) $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$; г) $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- = \text{NH}_3 \uparrow + \text{H}_2\text{O}$.
- 33 Чи можливе одночасне перебування у розчині таких пар речовини: а) P_2O_5 і KOH ; б) BaCl_2 і KOH ; в) KCl і AgNO_3 ; г) K_2CO_3 і Na_2SO_4 ? Відповідь поясніть.
- 34 Складіть молекулярні та йонні рівняння реакцій взаємодії купрум(II) хлориду з представниками таких класів неорганічних речовин: а) кислот; б) лугів; в) солей.
- 35 Складіть рівняння електролітичної дисоціації таких електролітів: NaHCO_3 , NaOH , CrOHCl_2 , KNaSO_4 , $\text{Al}(\text{OH})_2\text{NO}_3$, $\text{NH}_4\text{K}_2\text{PO}_4$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

- 36 Складіть рівняння хімічних реакцій, які відбуваються між такими речовинами: а) $\text{Al}(\text{OH})_3$ і HNO_3 ; б) NH_4Cl і KOH ; в) K_2SO_3 і H_2SO_4 ; г) $\text{Al}(\text{OH})_2\text{NO}_3$ і HNO_3 .
- 37 Складіть молекулярні рівняння хімічних реакцій за наведеними скороченими йонними:
- а) $\text{Cu}(\text{OH})_2 + 2\text{H}^+ = \text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}$;
- б) $\text{Al}^{3+} + 6\text{OH}^- = [\text{Al}(\text{OH})_6]^{3-}$;
- в) $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- = \text{CO}_3^{2-} + \text{H}_2\text{O}$;
- г) $\text{Cu}^{2+} + \text{S}^{2-} = \text{CuS} \downarrow$.
- 38 Складіть молекулярні та йонні рівняння реакцій взаємодії барій гідроксиду з представниками таких класів неорганічних речовин: а) кислот; б) амфотерних гідроксидів; в) кислотних оксидів; г) солей.
- 39 Складіть молекулярні та йонні рівняння реакцій взаємодії хлоридної кислоти з представниками таких класів неорганічних речовин, як: а) луги; б) амфотерні гідроксиди; в) метали; г) солі; д) основні оксиди.
- 40 Визначте, при якій концентрації розчину (моль/л) ступінь дисоціації HNO_2 становитиме 20% ($K_d(\text{HNO}_2) = 5,1 \times 10^{-4}$)?
- 41 Розрахуйте ступінь дисоціації фторидної кислоти HF , якщо масова частка кислоти становить 2% ($\rho = 1 \text{ г/см}^3$), а $K_d(\text{HF}) = 6,7 \times 10^{-4}$.
- 42 Розрахуйте добуток розчинності барій карбонату, якщо розчинність солі становить $8,37 \times 10^{-5}$ моль/л при 25°C .
- 43 Для таких солей: а) кальцій нітрит; б) хром(III) нітрат; в) натрій сульфід; г) купрум(II) хлорид складіть рівняння гідролізу за першим ступенем у молекулярному та йонному вигляді і назвіть реакцію середовища.
- 44 При змішуванні розчинів хром(III) сульфату та натрій сульфід утворюється осад хром(III) гідроксиду. Складіть рівняння цієї хімічної реакції у молекулярному та йонному вигляді.
- 45 При якій концентрації розчину (моль/л) ступінь дисоціації кислоти становитиме 3%? Константа дисоціації кислоти дорівнює 1×10^{-9} .
- 46 Розрахуйте концентрацію катіонів Гідрогену (моль/л) у 0,02 М розчині сульфідної кислоти ($K_1(\text{H}_2\text{SO}_3) = 1,7 \times 10^{-2}$), дисоціацією кислоти за другим ступенем можна знехтувати.
- 47 Чи утвориться осад при змішуванні 0,005 М розчину MnSO_4 та 0,003 М розчину $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ однакових об'ємів? Добуток розчинності MnS дорівнює $5,6 \times 10^{-15}$.
- 48 Для таких солей: а) алюміній сульфат; б) цинк хлорид; в) калій карбонат; г) амоній ціанід складіть рівняння гідролізу за першим ступенем у молекулярному та йонному вигляді і назвіть реакцію середовища.
- 49 При змішуванні розчинів алюміній хлориду та амоній сульфід утворюється осад алюміній гідроксиду. Складіть рівняння цієї хімічної реакції у молекулярному та йонному вигляді.