

**Вінницький національний медичний університет
ім. М.І. Пирогова**

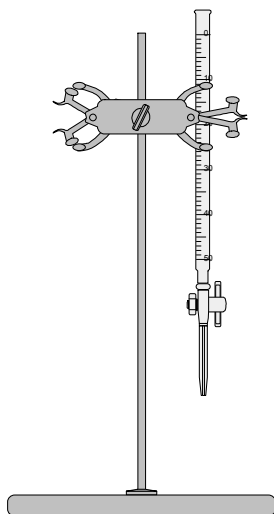
Кафедра загальної та біологічної хімії

СМІРНОВА О.В.

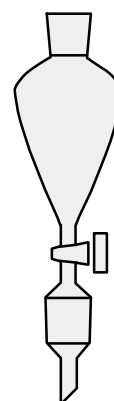
**ЗБІРНИК ЗАДАЧ ТА ВПРАВ
З МЕДИЧНОЇ ХІМІЇ**

Частина 1

**«Кисотно – основні рівноваги та
комплексоутворення в біологічних рідинах»**



Для студентів медичного, стоматологічного факультетів та факультету
медичної психології ВНМУ ім. М.І.Пирогова



Вінниця 2015

Збірка затверджена методичною радою загальнотеоретичних дисциплін 1 курсу Вінницького національного медичного університету імені М.І. Пирогова

(протокол № 1 від 31.08.2015р.)

Рецензенти:

Ющенко Т.І. – к.х.н., доцент
завідувач кафедри
фармацевтичної хімії
ВНМУ ім. М.І. Пирогова
Рибак П.Г. – к.б.н., доцент,
завідувач кафедри
природничих наук
ВНМУ ім. М.І.Пирогова

Зміст:

1. Способи вираження концентрації розчинів	4
2.Об'ємний аналіз	15
3. Реакція середовища водних розчинів – рН	26
4. Буферні системи	33
5. Колігативні властивості розчинів. Осмос. Кріометрія	41

СПОСОБИ ВИРАЖЕННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНІВ

Найчастіше використовують такі способи вираження концентрації розчинів.

1. **Масова частка ϖ** - це відношення маси розчиненої речовини m_x (г) до маси розчину m_{p-ny} (г):

$$\varpi = \frac{m_x}{m_{p-ny}} 100\% .$$

Одиниці вимірювання масової частки – відсотки або в частинах.

Маса розчину пов'язана із об'ємом та густиною розчину:

$$m_{p-ny} = V \cdot \rho ;$$

де m_{p-ny} – маса розчину в г;

V - об'єм розчину в мл;

ρ - густина розчину в г/мл.

Масу розчину можна знайти як суму маси води та маси розчиненої речовини:

$$m_{p-ny} = m_{води} + m_x .$$

2. **Молярна концентрація C_x** – це кількість розчиненої речовини ν в одиниці об'єму розчину:

$$C_x = \frac{\nu}{V} ; \quad \text{виражаємо } \nu = \frac{m_x}{M_x} , \quad \text{тоді}$$

$$C_x = \frac{m_x}{M_x \cdot V}$$

де, m_x - маса речовини в г ;

V - об'єм розчину в л.

Одиниці вимірювання – моль/л або ммоль/л.

З формули молярної концентрації можна знайти масу розчиненої речовини або **наважку**: $m_x = C_x \cdot M_x \cdot V$.

3. Але речовини реагують не в молярному співвідношенні, а в еквівалентному.

Еквівалент – це частинка речовини X, яка еквівалентна одному протону або одному електрону. Для знаходження еквівалента необхідно знати *фактор еквівалентності*.

$f_{ЕКВ.}$ – це число, яке показує, яка частинка речовини X еквівалентна одному протону або одному електрону.

Фактор еквівалентності обчислюють за формулою:

$$f_{ЕКВ.} = \frac{1}{z}$$

де z знаходять для кожного класу сполук:

а) z для кислот – це число протонів, яке заміщується на метал:

наприклад, $f_{\text{ЕКВ.}}(\text{HCl}) = \frac{1}{1}$;

$f_{\text{ЕКВ.}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2}$ або $\frac{1}{1}$, якщо заміщується тільки один протон.

б) z для основ – це число оксигруп:

наприклад, $f_{\text{ЕКВ.}}(\text{NaOH}) = \frac{1}{1}$; $f_{\text{ЕКВ.}}(\text{Ca(OH)}_2) = \frac{1}{2}$;

в) z для солей – це сумарна валентність металу (добуток валентності металу на його кількість):

наприклад, $f_{\text{ЕКВ.}}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2}$; $f_{\text{ЕКВ.}}(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{1}{6}$;

г) z для окислювально – відновних реакцій – це число електронів, яке віддає відновник або приймає окислювач:

наприклад, для реакції $\text{Fe}^{+2} - 1e \rightarrow \text{Fe}^{+3}$ $f_{\text{ЕКВ.}}(\text{Fe}^{+2}) = \frac{1}{1}$;

для реакції $\text{Mn}^{+7} + 5e \rightarrow \text{Mn}^{+2}$ $f_{\text{ЕКВ.}}(\text{Mn}^{+7}) = \frac{1}{5}$.

Використовуючи фактор еквівалентності можна обчислити молярну масу еквівалента: $M(f_{\text{ЕКВ.}X}) = f_{\text{ЕКВ.}} \cdot M_X$.

Знаючи молярну масу еквівалента, можна обчислити **молярну концентрацію еквівалента** $C_{f_{\text{ЕКВ.}X}}$ (раніше називалася нормальна концентрація C_H) – **це кількість речовини еквівалента в одиниці об'єму розчину**:

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЕКВ.}X} \cdot V}$$

де m_X - маса речовини в г
 V - об'єм розчину в л.

Одиниці вимірювання моль/л або ммоль/л.

З формули молярної концентрації еквівалента можна знайти масу розчиненої речовини або наважку: $m_X = C_X \cdot M_X \cdot f_{\text{ЕКВ.}} \cdot V$.

4) **Моляльна концентрація** b_X – кількість речовини ν_X в 1 кг розчинника:

$$b_X = \frac{\nu_X}{m_{\text{розчинника}}} = \frac{m_X}{M_X \cdot m_{\text{розчинника}}}$$

Одиниці вимірювання моль/кг розчинника.

5) **Титр розчину** t – це маса розчиненої речовини в 1мл розчину:

$$t = \frac{m_X}{V}. \quad \text{Одиниці вимірювання г/мл.}$$

б) Для обчислення концентрації розчинів за даними титрування використовують **закон еквівалентів – добуток молярної концентрації еквівалента розчину на об'єм розчину є величина**

стала:

$$C_{H1} \cdot V_1 = C_{H2} \cdot V_2.$$

7) Для обчислення концентрації розчинів використовують формули які зв'язують різні способи вираження концентрації:

$$C_X = \frac{\varpi\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X};$$

$$C_H = \frac{\varpi\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X \cdot f_{EKB}}$$

Приклади вирішення типових задач на приготування розчинів.

А. Приготування *розчинів з масовою часткою*.

Якщо в задачі дається масова частка або її треба знайти, рішення починають з формули масової частки.

Якщо густина розчину не дається за умовою задачі, то її приймають за 1. Якщо не даються одиниці вимірювання густини, то беруться одиниці г/мл.

1) *Розрахувати наважку для приготування 5л фізіологічного розчину ($\rho = 1,03$).*

$$\begin{array}{l} V_{P-HY} = 5\text{л}; \\ \rho_{P-HY} = 1,03; \\ \varpi(\text{NaCl}) = 0,9\%. \\ \hline m_X - ? \end{array}$$

Фізіологічний розчин - це 0,9% NaCl.
Для розрахунку використовуємо формулу масової частки:

$$\varpi = \frac{m_X}{m_{P-HY}} \cdot 100\%;$$

1) Знаходимо масу розчину, перевівши об'єм розчину у мл:

$$m_{P-HY} = V \rho = 5000 \cdot 1,03 = 5150(\text{г});$$

2) Знаходимо масу розчиненої речовини:

$$m_X = \frac{\varpi \cdot m_{P-HY}}{100\%} = \frac{0,9 \cdot 5150}{100} = 46,35\text{г}$$

Відповідь: 46,35г NaCl необхідно взяти і додати воду до 5л.

2) *Скільки мл 37% -го розчину HCl ($\rho = 1,18$) необхідно взяти для приготування 2л фармакопейного препарату HCl із масовою часткою 8,2% ($\rho = 1,04$).*

$$\begin{array}{l} \varpi_1(\text{HCl}) = 37\%; \\ \rho_1 = 1,18; \\ \varpi_2(\text{HCl}) = 8,2\%; \\ \rho_2 = 1,04; \end{array}$$

Задачу можна вирішувати двома способами.
І спосіб.

Позначимо параметри початкового 37%-го розчину цифрою 1, а розчину, який треба приготувати, цифрою 2.

$\frac{V_2 = 2\text{л}}{V_1 = ?}$ Для розрахунку використовуємо формулу масової частки:

$$\omega = \frac{m_X}{m_{p-ny}} \cdot 100\% ; \quad m_{p-ny} = V \rho;$$

- 1) Даних для першого розчину недостатньо для розрахунку за формулою масової частки, тому використовуємо цю формулу для знаходження маси другого розчину, перевівши об'єм у мл:

$$m_{p-ny2} = 2000 \cdot 1,04 = 2080(\text{г});$$

- 2) Знаходимо масу розчиненої речовини в цьому розчині:

$$m_{X2} = \frac{\omega_2 \cdot m_{p-ny2}}{100} = \frac{8,2 \cdot 2080}{100} = 170,56\text{г}(\text{HCl})$$

- 3) Маса розчиненої речовини однакова в обох розчинах тобто $m_{X1} = m_{X2}$;

- 4) Знаходимо масу першого розчину:

$$m_{p-ny1} = \frac{m_{X1}}{\omega} \cdot 100\% = \frac{170,56 \cdot 100}{37} = 460,97\text{г};$$

- 5) Знаходимо об'єм першого розчину:

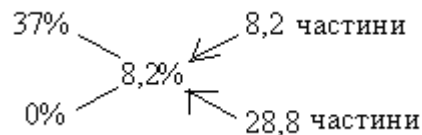
$$V_1 = \frac{m_{p-ny1}}{\rho_1} = \frac{460,97}{1,18} = 390,65\text{мл.}$$

Відповідь: необхідно взяти 390,65мл 37% - го розчину HCl і додати воду до 2л.

II спосіб.

Вирішуємо за правилом хреста:

1)



- 2) Всього частин: $8,2 + 28,8 = 37$ частин;

- 3) Знаходимо $m_{p-ny2} = 2000 \cdot 1,04 = 2080\text{г}$;

- 4) Знаходимо масу розчину, яка доводиться на 1 частину розчину:

$$2080 : 37 = 56,22\text{г};$$

- 5) Знаходимо масу першого розчину:

$$m_{p-ny1} = 56,22 \cdot 8,2 = 460,97\text{г};$$

- 6) Знаходимо об'єм першого розчину:

$$V_1 = \frac{m_{p-ny}}{\rho_1} = \frac{460,97}{1,18} = 390,65\text{мл.}$$

Відповідь: необхідно взяти 390,65мл 37% - го розчину HCl і додати воду до 2л.

- 3) **В якому об'ємі води необхідно розчинити 1моль KOH для приготування 5%-го розчину.**

$v = 1$ моль KOH;

$\omega = 5\%$;

- 1) Знаходимо масу розчиненої речовини:

$$V(\text{H}_2\text{O}) = ?$$

$$v = m / M; \quad m = v \cdot M = 1 \cdot 56 = 56\text{г};$$

2) Записуємо формулу масової частки:

$$\omega = \frac{m_x}{m_{\text{р-ну}}} 100\%; \quad \text{звідси маса розчину: } m_{\text{р-ну}} = \frac{m_x}{\omega} 100\% = \frac{56}{5} 100\% = 1120\text{г};$$

3) Розраховуємо масу води: $m_{\text{ВОДИ}} = m_{\text{р-ну}} - m_{\text{РЕЧ.}} = 1120 - 56 = 1064\text{г}.$
Відповідь: необхідно взяти 1064г води.

4) **Хворому необхідно ввести 100мг бемеґриду. Скільки мл 0,5%-го розчину його треба взяти?**

$$m_x = 100\text{мг};$$

$$\omega = 0,5\%;$$

$$V - ?$$

Для розрахунку використовуємо формулу масової частки:

$$\omega = \frac{m_x}{m_{\text{р-ну}}} 100\%; \quad m_{\text{р-ну}} = V \rho;$$

1) Переводимо масу речовини в г:

$$m_x = 100\text{мг} = 0,1\text{г};$$

2) Знаходимо масу розчину бемеґриду:

$$m_{\text{р-ну}} = \frac{m_x}{\omega} 100\% = \frac{0,1 \cdot 100}{0,5} = 20\text{г}.$$

3) Знаходимо об'єм розчину бемеґриду:

$$V = \frac{m_{\text{р-ну}}}{\rho} = \frac{20}{1} = 20\text{мл}.$$

Відповідь: 20мл..

5). **Дитині, яка народилася в асфіксії, вводять етимізол з розрахунку 1мг етимізолу на 1кг маси тіла дитини. Скільки мл 1,5%-го розчину цього препарату необхідно для дитини масою 2800г.**

$$m_{\text{дитини}} = 2800\text{г};$$

$$\text{доза} = 1\text{мг/кг маси};$$

$$\omega = 1,5\%;$$

$$V_{\text{р-ну}} - ?$$

1. Для розрахунку використовуємо формулу масової частки:

$$\omega = \frac{m_x}{m_{\text{р-ну}}} 100\%; \quad m_{\text{р-ну}} = V \rho;$$

2) Знаходимо масу етимізолу, яку треба ввести дитині:

1мг етимізолу – на 1кг маси тіла

X мг – на 2,8кг маси тіла

$$X = 2,8\text{мг} = 0,0028\text{г};$$

3) Знаходимо масу розчину етимізолу:

$$m_{\text{р-ну}} = \frac{m_x}{\omega} 100\% = \frac{0,0028}{1,5} 100 = 0,187\text{г} = 0,19\text{г}.$$

4) Оскільки густина розчину не дається, то приймаємо її за 1:

Тоді, об'єм розчину етимізолу дорівнює його масі, тобто 0,19мл.

Відповідь : необхідно ввести 0, 19мл розчину етимізолу.

6) Скільки грамів оксалатної (щавлевої) кислоти треба розчинити у 200мл води для приготування 10%-го розчину ?

$$V(\text{H}_2\text{O}) = 200\text{мл};$$

$$\omega = 10\%;$$

$$m_X = ?$$

I спосіб.

1) Якщо позначити масу речовини m_X , тоді маса розчину $m_{p-HY} = 200 + m_X$;
(200мл $\text{H}_2\text{O} = 200\text{г } \text{H}_2\text{O}$);

2) Використовуємо формулу масової частки:

$$\omega = \frac{m_X}{m_{p-HY}} \cdot 100\%; \quad 10 = \frac{m_X}{200 + m_X} \cdot 100\%$$

В результаті розрахунків отримуємо $m_X = 22,2\text{г}$.

Відповідь: необхідно взяти 22,2г щавлевої кислоти.

II спосіб

1) Яка масова частка води в розчині?

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = 100\% - 10\% = 90\%;$$

2) Знайдемо масу розчину:

$$m_{p-HY} = \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{\omega} \cdot 100\% = \frac{200}{90} \cdot 100 = 222,2\text{г};$$

3) Знаходимо масу щавлевої кислоти:

$$222,2 - 200 = 22,2\text{г}.$$

Відповідь: необхідно взяти 22,2г щавлевої кислоти.

7) У якому співвідношенні необхідно взяти 30%-ний розчин пероксиду водню та води для приготування 3%-го розчину?

30%-ний розчин треба розбавити в 10 разів. Тобто треба взяти 1мл 30%-го розчину та 9мл води.

Б. Приготування розчинів з молярною концентрацією C_X .

Якщо в задачі дається молярна концентрація або її треба знайти рішення починають із формули молярної концентрації.

1) Розрахувати наважку NaOH для приготування 2л 0,3М розчину його.

$$C_{X(\text{NaOH})} = 0,3\text{моль/л};$$

$$V = 2\text{л};$$

$$m_X = ?$$

1) Записуємо формулу молярної концентрації:

$$C_X = \frac{m_X}{M_X \cdot V}$$

2) З цієї формули знаходимо m_X :

$$m_X = C_X \cdot M_X \cdot V = 0,3 \cdot 40 \cdot 2 = 24\text{г}.$$

Відповідь: необхідно взяти 24г NaOH.

2) **Обчислити молярну концентрацію розчину КОН, якщо в 3л розчину міститься 10г речовини.**

$$m_{X(\text{KOH})} = 10\text{г};$$

$$V = 3\text{л};$$

$$C_X = ?$$

1) Записуємо формулу молярної концентрації:

$$C_X = \frac{m_X}{M_X \cdot V}$$

2) Розраховуємо C_X

$$C_X = \frac{100}{56 \cdot 3} = 0,59 \text{ моль / л.}$$

Відповідь: молярна концентрація 0,59 моль/л.

3) **Розрахувати об'єм 15%-го розчину H_2SO_4 ($\rho = 1,105$) необхідного для приготування 4л 0,5М розчину?**

$$\omega_1 = 15\%;$$

$$\rho_1 = 1,105;$$

$$V_2 = 4\text{л};$$

$$C_{X2} = 0,5 \text{ моль/л};$$

$$V_1 = ?$$

1) Параметри початкового (15%-го) розчину позначимо індексом 1; параметри другого (0,5 моль/л) розчину позначимо індексом 2.

Даних першого розчину недостатньо для розрахунку за формулою масової частки, тому використовуємо формулу молярної концентрації для знаходження маси розчиненої речовини m_X в другому розчині:

$$C_X = \frac{m_X}{M_X \cdot V} \text{ звідси}$$

$$m_X = C_X \cdot M_X \cdot V = 0,5 \cdot 98 \cdot 4 = 196\text{г};$$

2) Маса розчиненої речовини однакова в обох розчинах, тобто $m_{X1} = m_{X2}$;

3) Використовуючи формулу масової частки, знаходимо масу початкового розчину 1:

$$\varpi = \frac{m_X}{m_{P-HY}} \cdot 100\%; \text{ звідси } m_{P-HY} = \frac{m_X}{\varpi} \cdot 100 = \frac{196}{15} \cdot 100 = 1306,7\text{г};$$

4) Знаходимо об'єм початкового розчину 1:

$$V_{P-HY} = \frac{m_{P-HY}}{\rho} = \frac{1306,7}{1,105} = 1182,5 \text{ мл.}$$

Відповідь: необхідно взяти 1182,5мл 15% - го розчину і довести водою до 4л.

4) **Якій молярній концентрації відповідає розчин соляної кислоти шлункового соку, якщо масова частка HCl в ньому становить 0,5-0,54%?**

$$\omega(HCl) = 0,5-0,54\%; \text{ I спосіб.}$$

$$C_X = ?$$

1) Знаходимо середньо арифметичний вміст соляної кислоти шлункового соку:

$$\omega_{CP} = \frac{0,5 + 0,54}{2} = 0,52\%;$$

- 2) Нехай є 100г (100мл) шлункового соку. В ньому міститься 0,52г HCl. Молярна концентрація розраховується на 1000мл розчину. Приймаючи густину шлункового соку за 1, знаходимо масу соляної кислоти в 1000мл розчину:

$$\begin{array}{l} \text{у 100мл розчину} - 0,52\text{г HCl} \\ \text{у 1000г(мл)} - X \\ X = \frac{1000 \cdot 0,52}{100} = 5,2\text{г HCl}; \end{array}$$

- 3) Знаходимо молярну концентрацію C_X :

$$C_X = \frac{5,2}{36,5 \cdot 1} = 0,142\text{моль/л.}$$

Відповідь: молярна концентрація HCl шлункового соку становить 0,142моль/л.

II спосіб.

- 1) Знаходимо середньо арифметичний вміст соляної кислоти шлункового соку:

$$\omega_{CP} = \frac{0,5 + 0,54}{2} = 0,52\%;$$

- 2) Використовуємо формулу, яка зв'язує два способи виразу концентрації розчину C_X та ω :

$$C_X = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X} = \frac{0,52 \cdot 1 \cdot 10}{36,5} = 0,142\text{моль/л.}$$

Відповідь: молярна концентрація HCl шлункового соку становить 0,142моль/л.

V. Приготування розчинів з молярною концентрацією еквівалента C_H .

Якщо в задачі дається молярна концентрація еквівалента, або її треба знайти, рішення починають із формули молярної концентрації еквівалента.

- 1) У 250мл розчину міститься 26,5г Na_2CO_3 . Обчислити C_H .

$$\begin{array}{l} V = 250\text{мл}; \\ m_X = 26,5\text{г}; \\ \hline C_H = ? \end{array}$$

- 1) Записуємо формулу молярної концентрації еквівалента і обчислюємо її (об'єм розчину в л), враховуючи фактор еквівалентності соди 1/2:

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{EKB} \cdot V} = \frac{26,5}{106 \cdot 1/2 \cdot 0,25} = 2\text{моль/л.}$$

Відповідь: молярна концентрація еквівалента розчину соди – 2моль/л.

2) Скільки гр. $KMnO_4$ необхідно для приготування 2л розчину із $C_H = 0,1$ моль/л, якщо реакція проходить в кислому середовищі?

$$C_H = 0,1 \text{ моль/л};$$

$$V = 2\text{л};$$

$$f_{\text{екв.}}(KMnO_4) = 1/5;$$

$$m(KMnO_4) = ?$$

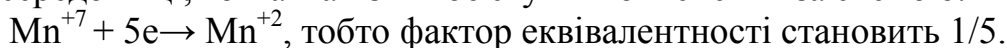
1) Записуємо формулу молярної концентрації еквівалента:

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{екв.}} \cdot V} = ;$$

$$\text{Звідси: } m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{екв.}} \cdot V ;$$

2) Так як реакція проходить в кислому

середовищі, то манган змінює ступінь окиснення за схемою:



Знаходимо масу $KMnO_4$:

$$m = 0,1 \cdot 158 \cdot 1/5 \cdot 2 = 31,6\text{г.}$$

Відповідь: маса $KMnO_4$ становить 31,6г.

3) Обчислити C_H розчину H_2SO_4 з $w = 30\%$ ($\rho = 1,22$, $f_{\text{екв.}} = 1/2$).

$$w = 30\%;$$

$$\rho = 1,22;$$

$$f_{\text{екв.}} = 1/2;$$

$$C_H = ?$$

1) Використовуємо формулу, яка зв'язує C_H та w :

$$C_H = \frac{w\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X \cdot f_{\text{екв.}}} = \frac{30 \cdot 1,22 \cdot 10}{98 \cdot 1/2} = 7,47 \text{ моль/л.}$$

Відповідь: 30%-му розчину відповідає розчин із $C_H = 7,47$ моль/л.

4) Який об'єм 30%-го розчину H_3PO_4 ($\rho = 1,18$) необхідно для приготування 5л розчину із $C_H = 2$ моль/л, якщо фосфатна кислота реагує повністю?

$$w_1 = 30\%;$$

$$\rho_1 = 1,18;$$

$$V_2 = 5\text{л};$$

$$C_{H2} = 2 \text{ моль/л}$$

$$V_1 = ?$$

Позначимо параметри початкового 30%-го розчину цифрою 1, а розчину, який треба приготувати, тобто 2-го – цифрою 2.

1) Даних першого розчину недостатньо для розрахунку за формулою масової частки, тому використовуємо формулу молярної концентрації еквівалента C_H для знаходження маси розчиненої речовини в другому розчині:

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{екв.}} \cdot V} = ; \quad \text{звідси} \quad m_{X2} = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{екв.}} \cdot V =$$

$$= 0,2 \cdot 98 \cdot 1/3 \cdot 5 = 326,6\text{г. (оскільки фосфатна кислота реагує}$$

повністю, тобто всі три атоми гідрогену заміщуються металом, то фактор еквівалентності дорівнює 1/3);

2) Маса розчиненої речовини однакова в обох розчинах, тобто

$$m_{X1} = m_{X2}.$$

3) Використовуючи формулу масової частки, знаходимо масу першого розчину (30%-го):

$$\omega = \frac{m_x}{m_{p-HY}} 100\% ; \quad \text{звідси} \quad m_{p-HY} = \frac{m_x}{\omega} 100\% = \frac{326,6}{30} 1090 = 1088,2.$$

5) Знаходимо об'єм 30%-го розчину:

$$V = \frac{m_{p-HY}}{\rho} = \frac{1088}{1,18} = 922 \text{ мл.}$$

Відповідь: необхідно взяти 922мл 30%-го розчину і долити водою до 5л.

6) **Як зміниться концентрація розчину HCl із $C_H = 0,2$ моль/л, якщо до 50мл його долити 100мл води?**

$$C_{H1}(\text{HCl}) = 0,2 \text{ моль/л;}$$

$$V_{p-HY} = 50 \text{ мл;}$$

$$V_{\text{ВОДИ}} = 100 \text{ мл.}$$

$$C_{H2}(\text{HCl}) = ?$$

1) Об'єм розчину після додавання води:

$$50 + 100 = 150 \text{ мл;}$$

2) Згідно закону еквівалентів:

$$C_{H1} \cdot V_1 = C_{H2} \cdot V_2;$$

3) Знаходимо концентрацію після додавання

$$\text{води:} \quad C_{H2} = \frac{C_{H1} \cdot V_1}{V_2} = \frac{0,2 \cdot 50}{150} = 0,067 \text{ моль/л.}$$

Відповідь: 0,067 моль/л.

Завдання для самостійного розв'язання.

- 1) Розрахувати наважку NaCl для приготування 4л гіпертонічного розчину із $\omega = 10\%$ (відповідь: 42,8 г)
- 2) Скільки мл 30%-го розчину H_2O_2 ($\rho = 1,11$) необхідно взяти для приготування 2л фармакопейного препарату із $\omega(\text{H}_2\text{O}_2) = 3\%$ ($\rho = 1,007$)? (відповідь: 181 мл)
- 3) Дітям вводять но-шпу із розрахунку 2мг/кг маси тіла . Скільки мл 2%-го розчину цього препарату ($\rho = 1,04$) необхідно ввести дитині масою 25кг? (відповідь: 0,2 мл)
- 4) Відомо, що 1 ОД інсуліну сприяє засвоєнню в організмі 5г глюкози. Скільки одиниць інсуліну необхідно додати до 500 мл 5 % - го розчину глюкози ? (відповідь: 5 ОД)
- 5) Хворому масою 76 кг необхідно ввести розчин NaHCO_3 із розрахунку 0,66 ммоль/кг маси тіла. Скільки мл 4,2 % -го розчину його треба взяти ? (відповідь: 100 мл)
- 6) В якому об'ємі води треба розчинити 2 моль NaOH, щоб отримати 10 % -ний розчин? (відповідь: 320 г)
- 7) Розчин еуфілліну випускають у вигляді 2,4 % - 10 мл розчину. Скільки міліграмів чистої речовини в 1 ампулі? (відповідь: 240 мг)
- 8) Для введення хворого в наркоз використовують оксибутират натрію (ГОМК), який випускають по 20 % - 10 мл. Маса тіла хворого 60 кг. Препарат вводять із розрахунку 70 мг/кг. Скільки мл розчину необхідно ввести хворому ? (відповідь: 21мл)
- 9) Розрахувати наважку NaOH для приготування 2 л розчину

- із $C_H = 1$ моль/л, який використовується у фармації для встановлення титру фосфатної кислоти. (відповідь: 80 г)
- 10) Який об'єм 20 % -го розчину H_3PO_4 ($\rho = 1,18$) необхідний для приготування 4 л розчину її із $C_H = 1,5$ моль/л ($f_{екв} = 1/3$).
(відповідь: 553,67 мл)
 - 11) Розрахувати наважку для приготування 0,5 л розчину аскорбінової кислоти із масовою часткою її 5 % ($\rho = 1,08$). (відповідь: 27 г)
 - 12) Приготувати 3 л фізіологічного розчину ($\rho = 1,03$) (зробити необхідні розрахунки). (відповідь 27,8г)
 - 13) Скільки мл 10 % -го розчину H_2SO_4 ($\rho = 1,065$) необхідно для приготування 5 л її розчину із $C_H = 0,1$ моль/л ($f_{екв} = 0,5$).
(відповідь: 230 мл)
 - 14) Розрахувати наважку для приготування 4л розчину $FeSO_4$ із $C_H = 0,1$ моль/л, якщо реакція йде за схемою: $Fe^{+2} \rightarrow Fe^{+3}$.
(відповідь: 60,8г)
 - 15) Розрахувати наважку для приготування 3л 0,1М розчину HCl .
(відповідь: 10,96г)
 - 16) Розрахувати C_X розчину, який містить 30г $NaOH$ в 2л розчину.
(відповідь: 0,375моль/л)
 - 17) В якому об'ємі води необхідно розчинити 1,5моль $NaOH$ для отримання 5%-го розчину? (відповідь: 1140мл)
 - 18) В якому співвідношенні треба взяти 37%-ний розчин HCl і воду для приготування 8,2%-го розчину (фармакопейний препарат).
(відповідь: 1мл 37%-ного розчину HCl та 3,5мл води)
 - 19) Скільки мл води треба додати до 50г 2%-го розчину $NaCl$ для приготування 0,9%-го розчину? (відповідь: 48,9мл води)
 - 20) Хворому масою тіла 60кг необхідно ввести 0,1%-ний розчин адреналіну із розрахунку 0,5мкг/кг. Скільки мл цього розчину треба взяти?
 - 21) Під час отруєння сполуками арсену вводять унітіол із розрахунку 56мг речовини на 10кг ваги людини. Обчислити об'єм 5%-го розчину унітіолу, який необхідно ввести хворому вагою 60кг. ($\rho = 1,12$).
(відповідь: 6мл)
 - 22) Під час отруєння ціанідами вводять 2%-ний розчин натрій нітриту ($\rho=1,01$). Розрахувати молярну концентрацію цього розчину.
(відповідь: 0,29моль/л)
 - 23) Загальна концентрація іонів кальцію в крові становить 2,5ммоль/л, але тільки 46% перебуває у вільному іонізованому стані. Враховуючи, що вільні іони кальцію перебувають у вигляді кальцій хлориду, обчислити масову частку кальцій хлориду в плазмі крові. (відповідь: 0,012%)

ОБ'ЄМНИЙ АНАЛІЗ

Об'ємний або титриметричний аналіз ґрунтується на точному вимірюванні об'єму титрованого розчину, що витрачається на реакцію із досліджуваною речовиною.

Титрованим називається розчин із точно відомою концентрацією.

Вихідними називають речовини, із яких можна приготувати титрований розчин за точною наважкою.

Індикатори – це слабкі органічні кислоти або основи, які змінюють своє забарвлення залежно від рН розчину.

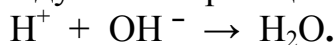
Інтервал переходу забарвлення індикатора – це інтервал рН, в якому індикатор змінює своє забарвлення.

Індикатор	Забарвлення в кислому середовищі	Інтервал переходу забарвлення (рН)	Забарвлення в лужному середовищі
Метилоранж	рожеве	3,1 – 4,4	жовте
Фенолфталеїн	безбарвне	8,2 – 10,5	малинове
Метилловий червоний	червоне	4,2 – 6,2	жовте
Лакмус	червоне	5 - 8	синє

Метод нейтралізації

Метод нейтралізації - це метод об'ємного аналізу, в якому використовують титровані розчини кислот та лугів.

В основі методу лежить реакція нейтралізації:



Залежно від титрованого розчину, метод нейтралізації ділять на *алкаліметрію та ацидиметрію*.

Алкаліметрія - це метод визначення кислот та солей, що дають під час гідролізу кислу реакцію, за допомогою титрованого розчину лугу.

Титровані розчини лугів NaOH та KOH, готують за приблизною наважкою, а потім встановлюють їх титр, тобто точну концентрацію, за вихідними речовинами: оксалату (щавлева кислота) $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ та сукцинату - (янтарна кислота) $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$. Розчини лугів готують приблизно такої ж концентрації як і вихідна речовина, тобто наважку лугу розраховують знаючи концентрацію вихідної речовини.

Задачі на приготування розчинів в алкаліметрії

1) Розрахувати наважку для приготування 2л розчину NaOH, якщо титр його встановлюватимуть за 0,1Н розчином оксалату(щавлевої кислоти).

$$\begin{array}{l} V = 2\text{л;} \\ C_{\text{H}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,1\text{моль/л;} \\ \hline m(\text{NaOH}) = ? \end{array}$$

1) Оскільки титр лугу встановлюватимуть за 0,1Н розчином $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, то розчин лугу повинен бути теж 0,1Н-ним.

2) Для розрахунку маси лугу використовуємо формулу C_{H} :

$$C_{\text{H}} = \frac{m_{\text{X}}}{M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V};$$

звідси $m_{\text{X}} = C_{\text{H}} \cdot M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V = 0,1 \cdot 40 \cdot 1 \cdot 2 = 8\text{г.}$

Відповідь: маса лугу 8г.

2) Розрахувати наважку для приготування 1л 0,15Н розчину КОН.

$$\begin{array}{l} V = 1\text{л;} \\ C_{\text{H}} = 0,15\text{моль/л;} \\ \hline m(\text{KOH}) = ? \end{array}$$

1) Для розрахунку запишемо формулу C_{H}

$$C_{\text{H}} = \frac{m_{\text{X}}}{M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V};$$

звідси $m_{\text{X}} = C_{\text{H}} \cdot M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V = 0,15 \cdot 56 \cdot 1 \cdot 1 = 8,4\text{г.}$

Відповідь: маса лугу 8,4г.

3) Розрахувати наважку для приготування 2л розчину КОН, якщо титр його встановлюватимуть за 0,1Н розчином сукцинату.

$$\begin{array}{l} V = 2\text{л;} \\ C_{\text{H}}(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4) = 0,1\text{моль/л;} \\ \hline m(\text{KOH}) = ? \end{array}$$

1) Оскільки титр лугу встановлюватимуть за 0,1Н розчином $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4$, то розчин її повинен бути теж 0,1Н-ним.

2) Для розрахунку маси лугу використовуємо формулу C_{H} :

$$C_{\text{H}} = \frac{m_{\text{X}}}{M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V};$$

звідси $m_{\text{X}} = C_{\text{H}} \cdot M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V = 0,1 \cdot 56 \cdot 1 \cdot 2 = 11,2\text{г.}$

Відповідь: маса лугу 11,2г.

4) Який об'єм 30%-го розчину H_2SO_4 ($\rho = 1,18$) необхідно для приготування 2л робочого розчину із $C_{\text{H}} = 0,1\text{моль/л}$, якщо кислота реагує повністю?

$$\begin{array}{l} \omega_1 = 30\%; \\ \rho_1 = 1,18; \\ V_2 = 2\text{л;} \end{array}$$

Позначимо параметри початкового 30%-го розчину цифрою 1, а розчину, який треба приготувати (0,1Н-го) - цифрою 2.

$$C_{H_2} = 0,1 \text{ моль/л};$$

$$V_1 = ?$$

1) Даних першого розчину недостатньо для розрахунку за формулою масової частки, тому використовуємо формулу молярної концентрації еквівалента C_H для знаходження маси речовини у другому розчині:

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{EKB} \cdot V}; \text{ звідси } m_{X2} = C_H \cdot M_X \cdot f_{EKB} \cdot V =$$

$= 0,1 \cdot 98 \cdot 1/2 \cdot 2 = 9,8\text{г}$. (оскільки сульфатна кислота реагує повністю, тобто обидва атоми гідрогену заміщаються металом, то фактор еквівалентності дорівнює 1/2).

2) Маса розчиненої речовини однакова в обох розчинах, тобто

$$m_{X1} = m_{X2}$$

3) Використовуючи формулу масової частки, знаходимо масу першого розчину:

$$\varpi = \frac{m_X}{m_{P-HY}} 100\%; \quad \text{звідси} \quad m_{P-HY} = \frac{m_X}{\varpi} 100\% = \frac{9,8}{30} 100\% = 32,7\text{г}$$

7) Знаходимо об'єм 30%-го розчину:

$$V = \frac{m_{P-HY}}{\rho} = \frac{32,7}{1,18} = 27,68\text{мл}$$

Відповідь: необхідно взяти 27,68мл 30%-го розчину H_2SO_4 і долити водою до 2л.

Задачі для самостійного розв'язанн:

- 1) Скільки мл 50%-го розчину H_2SO_4 ($\rho = 1,7$) необхідно для приготування 3л робочого розчину її із $C_H = 0,1$ моль/л, якщо кислота реагує повністю? (16,66мл)
- 2) Обчислити наважку КОН для приготування 3л розчину, якщо титр його встановлюють за 0,1Н розчином оксалату. (16,8г)
- 3) Обчислити C_H соляної кислоти, якщо на титрування 5мл її розчину витрачено 5,1мл 0,1Н розчину КОН. (0,1 моль/л)
- 4) Наважку NaOH розчинили в мірній колбі на 500мл. На титрування 25мл цього розчину витратили 50мл 0,1Н розчину HCl. Яку наважку NaOH було взято? (40г)
- 5) Обчислити наважку фосфатної кислоти для приготування 2л 0,1Н розчину, якщо вона реагує повністю. (6,53г)

Задачі підвищеної складності

- 1) На титрування 20 мл розчину ацетату (оцтової кислоти) було витрачено 14,86мл розчину NaOH із $C_H = 0,01$ моль/л. Розрахувати масу ацетату в розчині. (відповідь: 0,0089г)
- 2) Яка маса сульфатної кислоти у 20мл розчину, на титрування якого витрачено 15,89мл розчину $Ca(OH)_2$ із $C_H = 0,01$ моль/л? (відповідь: 0,015г)

Ацидіметрія - це метод визначення основ та солей, що дають під час гідролізу лужну реакцію, за допомогою титрованого розчину кислоти. Титровані розчини кислот HCl та H₂SO₄ готують за приблизною наважкою, а потім встановлюють їх титр, тобто точну концентрацію, за вихідними речовинами: натрій карбонату Na₂CO₃, натрій тетраборату (бура) Na₂B₄O₇ · 10 H₂O та натрій оксалату Na₂C₂O₄. Розчини кислот готують приблизно такої ж концентрації як і вихідна речовина, тобто наважку кислоти розраховують знаючи концентрацію початкової речовини.

Задачі на приготування розчинів в ацидіметрії

- 1) **Обчислити масу хлороводневої (соляної) кислоти, необхідної для приготування 3л розчину її, якщо титр розчину встановлюватимуть за 0,1Н розчином натрій карбонату.**

$$\begin{array}{l} V(\text{HCl}) = 3\text{л}; \\ C_{\text{H}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1\text{моль/л}; \\ \hline m(\text{HCl}) = ? \end{array}$$

- 1) Оскільки титр соляної кислоти встановлюватимуть за 0,1Н розчином натрій карбонату, то розчин кислоти повинен бути теж 0,1Н-ним. Для розрахунку маси кислоти

використовуємо формулу C_H:

$$C_{\text{H}} = \frac{m_{\text{X}}}{M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V};$$

звідси $m_{\text{X}} = C_{\text{H}} \cdot M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V = 0,1 \cdot 36,5 \cdot 1 \cdot 3 = 10,5\text{г.}$

Відповідь: маса кислоти 10,5г.

- 2) **Обчислити молярну концентрацію H₂SO₄, якщо в 400мл розчину міститься 49г кислоти.**

$$\begin{array}{l} V = 400\text{мл}; \\ m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 49\text{г}; \\ \hline C_{\text{X}} = ? \end{array}$$

- 1) Записуємо формулу молярної концентрації:

$$C_{\text{X}} = \frac{m_{\text{X}}}{M_{\text{X}} \cdot V} = \frac{49}{98 \cdot 0,4} = 1,25\text{моль/л.}$$

Відповідь: C_X (H₂SO₄) = 1,25моль/л.

3. **Обчислити наважку Na₂CO₃ для приготування 1л титрованого розчину із C_H = 0,1моль/л.**

$$\begin{array}{l} V = 1\text{л}; \\ C_{\text{H}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,1\text{моль/л}; \\ \hline m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = ? \end{array}$$

- 1) Для розрахунку маси Na₂CO₃ використовуємо формулу C_H:

$$C_{\text{H}} = \frac{m_{\text{X}}}{M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V},$$

звідси $m_{\text{X}} = C_{\text{H}} \cdot M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V = 0,1 \cdot 106 \cdot 1/2 \cdot 1 = 5,3\text{г.}$

Відповідь: маса карбонату 5,3г.

4. Обчислити масу фосфатної кислоти, необхідної для приготування 2л розчину, якщо титр його встановлюватимуть за 0,1Н розчином бури.

$$V = 2\text{л};$$

$$C_{\text{H}}(\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7) = 0,1\text{ моль/л};$$

$$m(\text{H}_3\text{PO}_4) = ?$$

1) Оскільки титр фосфатної кислоти встановлюватимуть за 0,1Н розчином бури, то розчин кислоти повинен бути теж 0,1Н-ним.

2) Для розрахунку маси кислоти

використовуємо формулу C_{H} :

$$C_{\text{H}} = \frac{m_{\text{X}}}{M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V}$$

звідси $m_{\text{X}} = C_{\text{H}} \cdot M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V = 0,1 \cdot 202 \cdot 1/2 \cdot 2 = 20,2\text{г}.$

Відповідь: маса кислоти 20,2г.

Задачі для самостійного розв'язання:

- 1) Обчислити наважку бури для приготування 0,5л титрованого розчину із $C_{\text{H}} = 0,1\text{ моль/л}.$ (4,55г)
- 2) Обчислити C_{H} розчину фосфатної кислоти, якщо в 1,5л його міститься 7,5г кислоти. (0,15моль/л)
- 3) Обчислити молярну концентрацію соляної кислоти, якщо в 700мл розчину міститься 3,5г її. (0,13моль/л)
- 4) Обчислити молярну концентрацію еквівалента сульфатної кислоти, якщо в 600мл розчину міститься 5,5г її.. (0,18моль/л)
- 5) Обчислити C_{H} розчину соляної кислоти, якщо в 200мл розчину міститься 15г кислоти. (0,2моль/л)
- 6) Для визначення кислотності шлункового соку на 15мл соку витрачено 6,5мл 0,02 М розчину NaOH. Обчислити масу соляної кислоти у 200мл шлункового соку. (0,064г)

Задачі підвищеної складності

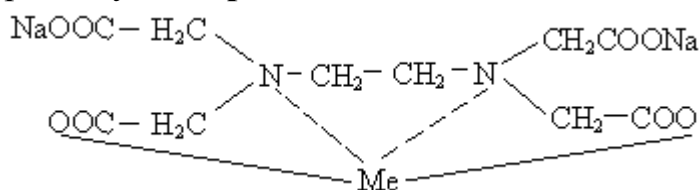
- 1) Розрахувати масу аміаку у 10мл розчину, якщо на титрування цього розчину витрачено 9,79мл розчину H_2SO_4 із $C_{\text{H}} = 0,01\text{ моль/л}.$ (відповідь: 0,0016г)
- 2)) Розрахувати масу КОН у 30мл розчину, якщо на титрування цього розчину витрачено 26,33мл розчину H_2SO_4 із $C_{\text{H}} = 0,02\text{ моль/л}.$ (відповідь: 0,0294г)

КОМПЛЕКСОНОМЕТРІЯ

Комплексонометрія – це метод об'ємного аналізу, в якому використовують титровані розчини комплексонів.

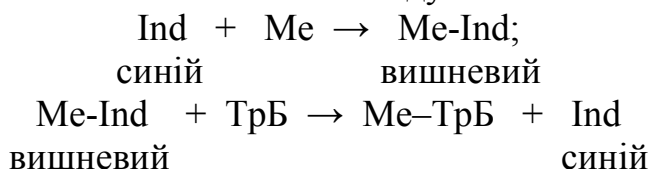
Комплекси – амінополікарбоніві кислоти та їх похідні.

Частіше використовують **Трилон Б**, який із катіонами металів дає хелати:



Для визначення кінця титрування використовують індикатори – мурексид, еріохром чорний Т, хромоген синій і ін.

Хімізм методу:



Вихідні речовини методу: MgO ; CaCO_3 , Zn .

Приклади розв'язання задач

1) Скільки грамів Трилону Б необхідно для приготування 250мл розчину з $C_H = 0,05$ моль/л?

$V = 250$ мл;
 $C_H = 0,05$ моль/л;

1) Оскільки в задачі дається молярна концентрація еквівалента C_H , то рішення починаємо із формули C_H :

$m_X = ?$

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V}$$

звідси $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V = 0,05 \cdot 372 \cdot 1/2 \cdot 0,25 = 2,3$ г.

Відповідь: маса ТрБ 2,3г.

2) На титрування 10мл розчину MgCl_2 із $C_H = 0,1$ моль/л витрачено 11,9мл робочого розчину Трилону Б. Обчислити концентрацію розчину Трилону Б.

$V(\text{MgCl}_2) = 10$ мл;
 $C_H(\text{MgCl}_2) = 0,1$ моль/л;
 $V(\text{ТрБ}) = 11,9$ мл;

1) Для вирішення використовуємо закон еквівалентності:

$$C_H(\text{MgCl}_2) \cdot V(\text{MgCl}_2) = C_H(\text{ТрБ}) \cdot V(\text{ТрБ});$$

$C_H(\text{ТрБ}) = ?$

$$\text{звідси } C_H(\text{ТрБ}) = \frac{C_H(\text{MgCl}_2) \cdot V(\text{MgCl}_2)}{V(\text{ТрБ})} =$$

$$= \frac{0,1 \cdot 10}{11,9} = 0,084 \text{ моль/л.}$$

Відповідь: $C_H(\text{ТрБ}) = 0,084$ моль/л.

3) Обчислити загальну твердість води, якщо на титрування 30мл її витрачено 2,7мл 0,1N Трилону Б.

$V(\text{H}_2\text{O}) = 30$ мл;
 $V(\text{ТрБ}) = 2,7$ мл;
 $C_H(\text{ТрБ}) = 0,1$ моль/л;

Для вирішення використовуємо закон еквівалентності:

$$C_H(H_2O) = ?$$

$$C_H(H_2O) \cdot V(H_2O) = C_H(\text{ТрБ}) \cdot V(\text{Тр Б});$$

$$\text{звідси } C_H(H_2O) = \frac{C_H(\text{ТрБ}) \cdot V(\text{ТрБ})}{V(H_2O)}$$

$$= \frac{0,1 \cdot 2,7}{30} = 0,009 = 9 \text{ ммоль/л.}$$

Відповідь: загальна твердість води 9 ммоль/л.

4) Обчислити наважку Трилону Б для приготування 1л розчину його, якщо титр (точна концентрація) встановлюватиметься за 0,1Н розчином вихідної речовини MgO.

$$V(\text{ТрБ}) = 1 \text{ л};$$

$$C_H(\text{MgO}) = 0,1 \text{ моль/л};$$

$$m(\text{MgO}) = ?$$

1) Так як титр ТрБ встановлюватимуть за 0,1Н розчином вихідної речовини MgO, то наважку ТрБ розраховуємо також виходячи із концентрації 0,1 моль/л. Оскільки в задачі дається молярна концентрація еквівалента C_H , то рішення починаємо із формули C_H :

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V}$$

$$\text{звідси } m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V = 0,1 \cdot 372 \cdot 1/2 \cdot 1 = 18,6 \text{ г.}$$

Відповідь: маса ТрБ 18,6г.

5) Обчислити наважку цинк сульфату для приготування 200г розчину із масовою часткою солі 1,5% .

$$m_{\text{р-ну}} = 200 \text{ г};$$

$$\omega(\text{ZnSO}_4) = 1,5\%;$$

$$m(\text{ZnSO}_4) = ?$$

1) Оскільки в задачі дається масова частка, то використовуємо формулу:

$$\omega = \frac{m_X}{m_{\text{р-ну}}} \cdot 100\%;$$

$$\text{звідси } m_X = \frac{\omega \cdot m_{\text{р-ну}}}{100\%} = \frac{1,5\% \cdot 200}{100} = 3 \text{ г.}$$

Відповідь: наважка ZnSO₄ 3г.

Задачі для самостійного розв'язання:

- 1) Обчислити наважку Трилону Б для приготування 0,5л розчину його якщо титр (точна концентрація) встановлюватиметься за 0,1Н розчином вихідної речовини CaCO₃. (відповідь: 9,3г)
- 2) Обчислити наважку нікель сульфату для приготування 400г розчину із масовою часткою солі 1,5% . (відповідь: 6г)
- 3) Скільки грамів Трилону Б необхідно для приготування 250мл розчину із $C_H = 0,05$ моль/л? (відповідь: 2,325г)
- 4) Обчислити наважку меркурій (II) нітрату для приготування 500мл

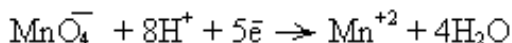
0,1Н розчину.

(відповідь: 6,575г)

МЕТОД ПЕРМАНГАНАТОМЕТРІЇ

Перманганатометрія – це метод об'ємного аналізу, в якому використовують титрований розчин калій перманганату KMnO_4 .

Основне рівняння методу:



Титрований розчин KMnO_4 готують за приблизною наважкою, а потім титр встановлюють за вихідними речовинами: $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ або $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$. Титрування проводять в кислому середовищі. Кінець титрування встановлюють за появою рожевого забарвлення після додавання однієї зайвої краплі розчину KMnO_4 .

Приклади вирішення задач

1) Обчислити наважку для приготування 400мл розчину KMnO_4 , якщо титр його встановлюватимуть за 0,1Н розчином вихідної речовини $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$.

$$\begin{array}{l} V_{(\text{P-НУ})} = 400\text{мл}; \\ C_{\text{H}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 0,1\text{моль/л}; \\ \hline m(\text{KMnO}_4) = ? \end{array}$$

1) Оскільки титр розчину KMnO_4 встановлюватимуть за 0,1Н розчином $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, то концентрація розчину KMnO_4 також має бути приблизно 0,1моль/л. Використовуємо формулу молярної концентрації еквіваленту:

$$C_{\text{H}} = \frac{m_{\text{X}}}{M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V};$$

звідси $m_{\text{X}} = C_{\text{H}} \cdot M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V = 0,1 \cdot 158 \cdot 1/5 \cdot 0,4 = 12,64\text{г}.$

Відповідь: маса KMnO_4 12,64г.

2) В лабораторії є 10%-ний розчин KMnO_4 ($\rho = 1,4$).

Обчислити C_{H} .

$$\omega(\text{KMnO}_4) = 10\%;$$

$$\rho = 1,4;$$

$$C_{\text{H}}(\text{KMnO}_4) = ?$$

1) Використовуємо формулу, яка зв'язує C_{H} та ω :

$$C_{\text{H}} = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_{\text{X}} \cdot f_{\text{ЕКВ}}} = \frac{10\% \cdot 1,4 \cdot 10}{158 \cdot 1/5} = 4,43\text{моль/л}.$$

Відповідь: $C_{\text{H}}(\text{KMnO}_4) = 4,43\text{моль/л}.$

3) Обчислити наважку $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ для приготування 500мл 0,1Н розчину.

$$V_{(\text{P-НУ})} = 500\text{мл};$$

$$C_{\text{H}} = 0,1\text{Н};$$

1) Використовуємо формулу молярної концентрації еквівалента:

$m(\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4) - ?$

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V};$$

звідси $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V = 0,1 \cdot 134 \cdot 1/2 \cdot 0,5 = 3,35\text{г.}$

Відповідь: маса $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 3,35г.

4) Скільки грамів ферум(II) сульфату необхідно для приготування 100мл розчину, якщо він титрується розчином KMnO_4

із $C_H = 0,08$ моль/л.

$V_{\text{P-НУ}} = 100\text{мл};$

$C_H(\text{KMnO}_4) = 0,08$ моль/л;

$m(\text{FeSO}_4) = ?$

1) Оскільки титрування проводиться 0,08Н розчином KMnO_4 , то розчин FeSO_4 необхідно приготувати такої ж концентрації. Використовуємо формулу молярної концентрації еквівалента C_H :

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V};$$

звідси $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V = 0,08 \cdot 152 \cdot 1 \cdot 0,1 = 1,216\text{г.}$

Відповідь: маса FeSO_4 1,216г.

3) Обчислити об'єм 30%-го розчину H_2O_2 ($\rho = 1,27$) для приготування 2л розчину, якщо титрування проводиться 0,09Н розчином KMnO_4 в кислому середовищу.

$\omega_1(\text{H}_2\text{O}_2) = 30\%;$

$\rho_1 = 1,27;$

$V_{\text{P-НУ } 2}(\text{H}_2\text{O}_2) = 2\text{л};$

$C_H(\text{KMnO}_4) = 0,09$ моль/л;

$V_{\text{P-НУ } 1}(\text{H}_2\text{O}_2) = ?$

1) Оскільки титрування проводиться 0,09Н розчином KMnO_4 , то розчин H_2O_2 необхідно приготувати такої ж концентрації. Використовуючи формулу молярної концентрації еквівалента C_H знаходимо масу H_2O_2 в 200мл 0,09Н розчину:

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V};$$

звідси $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V = 0,09 \cdot 34 \cdot 1/2 \cdot 2 = 3,06\text{г};$

2) Маса пероксиду однакова в розчинах 1 та 2:

$$m_{X1} = m_{X2};$$

4) Використовуючи формулу масової частки, знаходимо масу розчину 1:

$$\varpi = \frac{m_X}{m_{\text{P-НУ}}} \cdot 100\%; \quad \text{звідси} \quad m_X = \frac{\varpi \cdot m_{\text{P-НУ}}}{100\%} = \frac{3,06 \cdot 100}{30} = 10,2\text{г.};$$

2) Знаходимо об'єм розчину 1:

$$V = \frac{m_{\text{P-НУ}}}{\rho} = \frac{10,2}{1,27} = 8,03\text{мл.}$$

Відповідь: об'єм 30%-го розчину пероксиду водню 8,03мл.

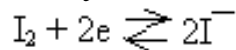
Задачі для самостійного розв'язання:

- 1) Обчислити наважку для приготування 400мл розчину KMnO_4 , якщо титр його встановлюватимуть за 0,1Н розчином вихідної речовини $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$. (відповідь: 1,26г)
- 2) Обчислити C_H розчину H_2O_2 , якщо на титрування 5мл його витрачено 4,8мл 0,092Н розчину KMnO_4 (титрування ведеться в кислому середовищі). (відповідь: 0,086)
- 3) В лабораторії є 5%-ний розчин калій перманганату ($\rho = 1,15$). Скільки мл цього розчину необхідно для приготування 1л 0,1Н розчину калій перманганату? (відповідь: 54,96г)
- 4) Скільки мл 5%-го розчину $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ($\rho = 1,1$) необхідно для приготування 200мл 0,1Н розчину? (відповідь: 24,36мл)

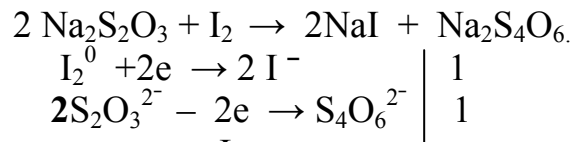
МЕТОД ІОДОМЕТРІЇ

Іодометрія – це метод об'ємного аналізу, в якому використовують розчини I_2 або I^- .

Основне рівняння методу:



Оскільки титрування йодом відбувається повільно, то до досліджуваного розчину додають надлишок йоду, а залишок відтитрують натрій тіосульфатом $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$:



Вихідна речовина методу - I_2 .

Титрування проводять в кислому або нейтральному середовищах.

Індикатором є крохмаль. Кінець титрування встановлюють за зникненням синього забарвлення йоду з крохмалем.

Приклади розв'язання задач

1) Обчислити наважку йоду для приготування 500мл 0,1Н розчину.

$V_{(p-ny)} = 500\text{мл};$
 $C_H = 0,1\text{Н};$

1) Так як в задачі дається молярна концентрація еквівалента C_H , то використовуємо формулу:

$m(\text{I}_2) = ?$

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V};$$

звідси $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{\text{ЕКВ}} \cdot V = 0,1 \cdot 254 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,5 = 6,35\text{г};$

Відповідь: наважка йоду 6,35г.

2) Обчислити наважку $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ для приготування 200мл розчину, якщо титр його встановлюють за 0,1Н розчином I_2 .

$$V_{(P-HY)} = 200 \text{ мл};$$

$$C_H(I_2) = 0,2 \text{ моль/л};$$

$$m(Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O) = ?$$

- 1) Оскільки титр $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ встановлюється за 0,1Н розчином йоду, то концентрація тіосульфату повинна бути приблизно такою ж. Оскільки в задачі дається молярна концентрація еквівалента C_H , то використовуємо формулу:

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{EKB} \cdot V};$$

звідси $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{EKB} \cdot V = 0,1 \cdot 248 \cdot 1 \cdot 0,2 = 4,96 \text{ г};$

Відповідь: наважка $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ 4,96г.

- 3) Для встановлення титру розчину $Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$ використовують як вихідну речовину калій дихромат $K_2Cr_2O_7$. Обчислити C_H розчину тіосульфату, якщо на титрування 5мл його пішло 4,8мл 0,1 розчину калій дихромату.

$$V_{P-HY}(Na_2S_2O_3) = 5 \text{ мл};$$

$$C_H(K_2Cr_2O_7) = 0,1 \text{ моль/л};$$

$$V_{P-HY}(K_2Cr_2O_7) = 4,8 \text{ мл};$$

- 1) Використовуємо рівняння закону еквівалентності:

$$C_H(Na_2S_2O_3) \cdot V(Na_2S_2O_3) = C_H(K_2Cr_2O_7) \cdot V(K_2Cr_2O_7)$$

$$C_H(Na_2S_2O_3) = ?$$

звідси
$$C_H(Na_2S_2O_3) = \frac{C_H(K_2Cr_2O_7) \cdot V(K_2Cr_2O_7)}{V(Na_2S_2O_3)} = \frac{0,1 \cdot 4,8}{5} = 0,096 \text{ моль/л.}$$

Відповідь: $C_H(Na_2S_2O_3) = 0,096 \text{ моль/л.}$

- 4) В лабораторії є 5%-ний розчин йоду ($\rho = 1,15$).

Скільки мл цього розчину необхідно для приготування 1л 0,1Н розчину йоду?

$$\omega_1 = 5\%;$$

$$\rho_1 = 1,15;$$

$$V_2 = 1 \text{ л};$$

$$C_{H2} = 0,1 \text{ моль/л};$$

$$V_1 = ?$$

- 1) Даних для розрахунку V_1 за масовою часткою недостатньо, тому використовуємо формулу молярної концентрації еквівалента C_H для знаходження маси речовини в другому розчині:

$$C_H = \frac{m_X}{M_X \cdot f_{EKB} \cdot V},$$

звідси $m_X = C_H \cdot M_X \cdot f_{EKB} \cdot V = 0,1 \cdot 254 \cdot 1/2 \cdot 1 = 12,7 \text{ г.}$

- 2) Маса йоду в обох розчинах однакова: $m_{X1} = m_{X2};$

- 3) Використовуючи формулу масової частки, знаходимо масу розчину 1:

$$\varpi = \frac{m_X}{m_{P-HY}} \cdot 100\%;$$

звідси: $m_X = \frac{\varpi \cdot m_{P-HY}}{100\%} = \frac{12,7 \cdot 100}{5} = 254 \text{ г}$

- 4) Знаходимо об'єм розчину 1:

$$V = \frac{m_{\text{р-ну}}}{\rho} = \frac{254}{1,15} = 220,87 \text{ мл.}$$

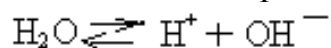
Відповідь: об'єм 5%-го розчину йоду 220,87мл.

Задачі для самостійного розв'язання.

- 1) Обчислити наважку $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ для приготування 400мл розчину із $C_{\text{H}} = 0,05$ моль/л. (відповідь: 4,96г)
- 2) Обчислити наважку йоду для приготування 1000мл 0,1Н розчину. (відповідь: 12,7г)
- 3) Скільки мл 10%-ного розчину йоду ($\rho = 1,32$) необхідно для приготування 500мл 0,1Н розчину йоду? (відповідь: 48,1г)
- 4) Обчислити наважку $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, для визначення точної концентрації $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (приблизна концентрація якого 0,1 моль/л). Об'єм розчину $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 200мл. Титрування проводять в кислому середовищі. (відповідь: 1,96г.)
- 5) До 100мл 2%-го розчину йоду додали 5г йоду. Обчислити концентрацію йоду в розчині. (відповідь: 6,67г)

РЕАКЦІЯ СЕРЕДОВИЩА ВОДНИХ РОЗЧИНІВ – рН

Вода – слабкий електроліт – дисоціює за рівнянням:

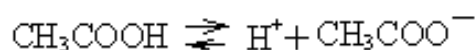


Іонний добуток води – це добуток концентрації іонів гідрогену(протонів) на концентрацію гідроксид-іонів:

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

Це величина стала за даної температури.

Дисоціація кислот іде за схемою:



Активна кислотність – це концентрація протонів (H^+).

Потенційна кислотність – це концентрація недисоційованих молекул кислоти.

Загальна кислотність – це загальна концентрація кислоти в моль екв.

Сума активної та потенційної кислотностей дорівнює загальній кислотності.

Під час титрування визначається загальна кислотність.

Дисоціація основ іде за схемою:



Активна лужність – це концентрація гідроксид – аніонів.

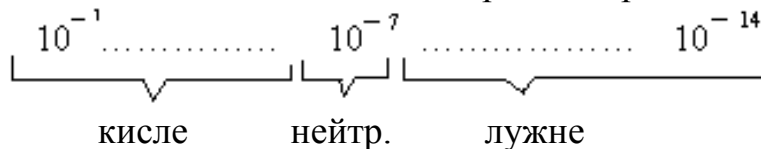
Потенційна лужність – це концентрація недисоційованих молекул основи.

Загальна лужність – це загальна концентрація основи в моль екв.

Сума активної та потенційної лужностей дорівнює загальній лужності.

Під час титрування визначається загальна лужність.

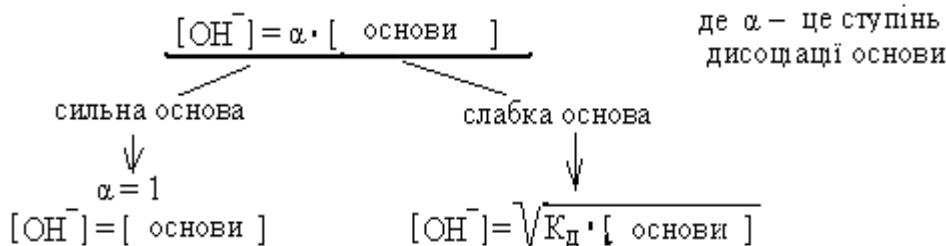
Реакція середовища визначається концентрацією протонів.



Концентрацію протонів в розчині кислоти обчислюють за формулою:



Під час дисоціації основи утворюються гідроксид-аніони, концентрацію яких обчислюють за формулою:



Реакцію середовища розчину зручніше передавати через рН.

рН – це від'ємний десятковий логарифм концентрації іонів гідрогену:

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

Аналогічно можна обчислити величину рОН:

$$\boxed{pOH = -\lg [OH^-].}$$

Виходячи із від'ємного десяткового логарифму іонного добутку води знаходимо:

$$pH + pOH = 14.$$

pH крові = 7,36;

pH шлункового соку = 0,9 – 1,5.

Приклади вирішення задач

А. Обчислення рН розчинів сильних та слабких кислот та основ.

1) Обчислити рН, якщо $[H^+] = 10^{-2}$.

$$pH = -\lg [H^+] = -\lg 10^{-2} = 2.$$

2) Обчислити рОН, якщо $[OH^-] = 10^{-5}$.

$$pOH = -\lg [OH^-] = -\lg 10^{-5} = 5.$$

3) Обчислити рН, якщо $[OH^-] = 10^{-4}$.

$$pOH = -\lg [OH^-] = -\lg 10^{-4} = 4.$$

$$pH = 14 - pOH = 14 - 4 = 10.$$

4) Обчислити рН розчину з концентрацією H^+ -іонів $3,7 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

$$[H^+] = 3,7 \cdot 10^{-5} \quad | \quad pH = -\lg [H^+] = -\lg 3,7 \cdot 10^{-5} = -\lg 3,7 - \lg 10^{-5} =$$

$$pH = ? \quad | \quad = 5 - 0,57 = 4,43.$$

Відповідь: рН = 4,43.

5) Обчислити рН розчину НСІ із $C_n = 0,1$ моль/л.

$C_n (HCl) = 0,1$ моль/л; 1) Для обчислення рН розчину необхідно знайти $[H^+]$. Оскільки НСІ сильна кислота, то $[H^+] = [кислоти] = 0,1$ моль/л = 10^{-1} ;

рН = ? 2) Знаходимо рН розчину:
 $pH = -\lg [H^+] = -\lg 10^{-1} = 1.$

Відповідь: рН = 1.

6) Обчислити рН $0,0001N$ розчину НСІ.

$$pH = -\lg [HCl] = -\lg [H^+] = -\lg \cdot 10^{-4} = 4.$$

7) Обчислити рН розчину NaOH із $C_n = 0,2$ моль /л.

$C_n (NaOH) = 0,2$ моль /л. 1) Оскільки за умовою дається основа, то спочатку знаходимо $[OH^-]$.

рН = ? У розчині сильної основи
 $[OH^-] = [основи] = 0,2 = 2 \cdot 10^{-1}$;

2) Знаходимо рОН:

$$pOH = -\lg [OH^-] = -\lg 2 \cdot 10^{-1} = -\lg 2 - \lg 10^{-1} = 1 - 0,3 = 0,7.$$

3) Знаходимо рН: $pH = 14 - pOH = 14 - 0,7 = 13,3.$

Відповідь: рН = 13,3.

8) Обчислити рН $0,001N$ розчину NaOH.

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

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

9) Обчислити рН розчину НСООН із $C_n = 0,1$ моль/л ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$).

$C_n (НСООН) = 0,1$ моль/л; 1) Для обчислення рН розчину необхідно знати $[H^+]$. Оскільки НСООН слабка кислота, то використовуємо формулу:

$$pH = ?$$

$$[H^+] = \sqrt{K_d \cdot [кислоти]} = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,1} = 4,24 \cdot 10^{-3}$$

2) Знаходимо рН: $pH = -\lg 4,24 \cdot 10^{-3} =$

$$= -\lg 4,24 - \lg 10^{-3} = 3 - 0,63 = 2,37.$$

Відповідь: $pH = 2,37.$

10) Обчислити pH розчину NH_4OH із $C_H = 0,15$ моль/л ($K_d = 1,85 \cdot 10^{-5}$).

$$\begin{array}{l} C_H(NH_4OH) = 0,15 \text{ моль/л;} \\ K_d = 1,85 \cdot 10^{-5}; \end{array}$$

pH - ?

1) Оскільки за умовою дається основа, то спочатку знаходимо $[OH^-]$.

В розчині слабкої основи:

$$[OH^-] = \sqrt{K_d \cdot [основи]} = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 0,15} = 1,64 \cdot 10^{-3}$$

2) Знаходимо pOH

$$pOH = -\lg 1,64 \cdot 10^{-3} = -\lg 1,64 - \lg 10^{-3} = 3 - 0,21 = 2,79.$$

3) Знаходимо pH: $pH = 14 - pOH = 14 - 2,79 = 11,21.$

Відповідь: $pH = 11,21.$

11) Обчислити pH розчину H_2SO_4 з $w = 3\%$ ($\rho = 1,1$; $f_{екв.} = 1/2$).

$$\omega = 3\%;$$

$$\rho = 1,1;$$

$$f_{екв.} = 1/2;$$

pH = ?

1) Переводимо масову частку в нормальну

концентрацію еквівалента, використовуючи формулу яка зв'язує C_H та ω :

$$C_H = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_x \cdot f_{екв}} = \frac{3 \cdot 1,22 \cdot 10}{98 \cdot 1/2} = 0,73 \text{ моль/л.};$$

2) Знаходимо $[H^+]$ та pH:

$$[H^+] = [\text{кислоти}] = 0,73 = 7,3 \cdot 10^{-1};$$

$$pH = -\lg [H^+] = -\lg 7,3 \cdot 10^{-1} = -\lg 7,3 - \lg 10^{-1} = 1 - 0,86 = 0,14$$

Відповідь: 0,14

Б. Визначення pH розчинів після розбавлення їх водою.

12) Як зміниться pH розчину HNO_3 , якщо до 40мл 0,1N розчину її додати 20мл води?

$$V_1(HNO_3) = 40\text{мл};$$

$$C_{H1} = 0,1 \text{ моль/л};$$

$$V(H_2O) = 20\text{мл};$$

$\Delta pH(HNO_3) = ?$

$$1) \Delta pH = pH_1 - pH_2$$

де pH_1 – це pH розчину HNO_3 до додавання води;

pH_2 – це pH розчину HNO_3 після додавання води;

2) Знаходимо pH_1 : для обчислення pH розчину

необхідно знати $[H^+]$. Оскільки HNO_3 сильна кислота, то

$$[H^+]_1 = [\text{кислоти}] = 0,1 \text{ моль/л} = 10^{-1};$$

3) Знаходимо pH_1 розчину: $pH_1 = -\lg [H^+]_1 = -\lg 10^{-1} = 1;$

4) В результаті розведення водою концентрація кислоти зменшується.

Знаходимо її, використовуючи закон еквівалентів:

$$C_{H1} \cdot V_1 = C_{H2} \cdot V_2; \text{ де } V_2 - \text{об'єм розчину після додавання води:}$$

$$V_2 = 40 + 20 = 60\text{мл};$$

Звідси: $C_{H_2} = \frac{C_{H_1} \cdot V_{H_1}}{V_2} = \frac{0,1 \cdot 40}{60} = 0,067 = 6,7 \cdot 10^{-2}$;

5) Знаходимо pH_2 : $[H^+]_2 = [\text{кислоти}] = 6,7 \cdot 10^{-2}$;

$pH_2 = -\lg [H^+]_2 = -\lg 6,7 \cdot 10^{-2} = -\lg 6,7 - \lg 10^{-2} = 2 - 0,83 = 1,17$;

6) $\Delta pH = 1,17 - 1 = 0,17$.

Відповідь: 0,83.

13) **Як зміниться рН розчину NH_4OH , якщо до 50мл 0,1Н розчину його додати 30мл води? ($K_d = 1,85 \cdot 10^{-5}$).**

$V(NH_4OH) = 50\text{мл}$;

$C_H(NH_4OH) = 0,1 \text{ моль/л}$;

$K_d = 1,85 \cdot 10^{-5}$;

$V(H_2O) = 30\text{мл}$;

$\Delta pH = ?$

1) $\Delta pH = pH_1 - pH_2$.

де pH_1 – це рН розчину NH_4OH до додавання води;

pH_2 – це рН розчину NH_4OH після додавання води;

Оскільки за умовою дається основа, то спочатку знаходимо $[OH^-]$.

У розчині слабкої основи:

$$[OH^-] = \sqrt{K_d [основи]} = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-1}} = 1,34 \cdot 10^{-3}$$

2) Знаходимо pOH_1 :

$pOH_1 = -\lg 1,34 \cdot 10^{-3} = -\lg 1,34 - \lg 10^{-3} = 3 - 0,127 = 2,87$;

$pH_1 = 14 - 2,87 = 11,13$.

3) В результаті розведення водою концентрація основи зменшується.

Знаходимо її використовуючи закон еквівалентів:

$C_{H_1} \cdot V_1 = C_{H_2} \cdot V_2$; де V_2 – об'єм розчину після додавання води:

$V_2 = 50 + 30 = 80\text{мл}$;

$$C_{H_2} = \frac{C_{H_1} \cdot V_{H_1}}{V_2} = \frac{0,1 \cdot 50}{80} = 0,0625 = 6,25 \cdot 10^{-2}$$

4) Знаходимо pOH_2 :

$$[OH^-] = \sqrt{K_d [основи]} = \sqrt{1,8 \cdot 10^{-5} \cdot 6,25 \cdot 10^{-2}} = 1,06 \cdot 10^{-3}$$

$pOH_2 = -\lg 1,06 \cdot 10^{-3} = -\lg 1,06 - \lg 10^{-3} = 3 - 0,025 = 2,975$;

$pH_2 = 14 - 2,975 = 11,025$.

5) Знаходимо ΔpH : $\Delta pH = 11,13 - 11,025 = 0,105$.

Відповідь: 0,105.

14) **Як зміниться рН води, якщо до 80 мл її додати 20 мл розчин $NaOH$ із $C_H = 0,1 \text{ моль/л}$ ($\alpha = 1$).**

$V(H_2O) = 80\text{мл}$;

$C_H(NaOH) = 0,1 \text{ моль/л}$;

$V(NaOH) = 20\text{мл}$;

$\Delta pH(H_2O) = ?$

1) $pH(H_2O) = 7$;

2) Після додавання до води розчину $NaOH$ утворюється розчин основи, концентрацію якого знаходимо за законом еквівалентів:

$C_{H_1} \cdot V_1 = C_{H_2} \cdot V_2$;

де $V_2 = 80 \text{ мл} + 20 \text{ мл} = 100 \text{ мл}$.

3) Знаходимо концентрацію лугу в розчині C_{H_2} , потім $[OH^-]_2$, pOH_2 та pH_2 :

$$C_{H_2} = \frac{V_1 \cdot C_{H_1}}{V_2} = \frac{20 \cdot 0,1}{100} = 0,02 = 2 \cdot 10^{-2} \text{ – це концентрація NaOH в розчині.}$$

$$[\text{OH}^-]_2 = [\text{основи}]_2 = 2 \cdot 10^{-2}.$$

$$\text{pOH}_2 = -\lg [\text{OH}^-]_2 = -\lg 2 \cdot 10^{-2} = -\lg 2 - \lg 10^{-2} = 2 - 0,3 = 1,7.$$

$$\text{pH} = 14 - 1,7 = 12,3$$

$$4) \text{ Знаходимо зміну pH води: } \Delta \text{pH} = 12,3 - 7 = 5,3.$$

Відповідь: 5,3.

B) Визначення pH після зливання розчинів кислот та лугів.

15). Визначити pH розчину, одержаного після змішування однакових об'ємів розчинів HCl із $C_H = 0,3$ моль/л та NaOH із $C_H = 0,1$ моль/л.

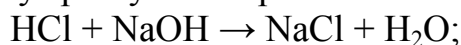
$$C_H(\text{HCl}) = 0,3 \text{ моль/л;}$$

$$C_H(\text{NaOH}) = 0,1 \text{ моль/л;}$$

$$V(\text{HCl}) = V(\text{NaOH});$$

$$\text{pH} = ?$$

1) Під час змішування розчинів кислота та луг реагують за рівнянням:



З рівняння видно, що кислота та луг реагують у співвідношенні 1 : 1. Так як

кислоти було взято 0,3 моль, а 0,1 моль вступає в реакцію, то після реакції в розчині залишилося кислоти: $0,3 - 0,1 = 0,2$ моль. Оскільки об'єм суміші збільшився в 2 рази, то концентрація кислоти в розчині: $0,2 / 2 = 0,1$ моль/л;

2) Знаходимо pH розчину, що утворився:

$$[\text{H}^+] = [\text{кислоти}] = 0,1 = 10^{-1}.$$

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+] = -\lg 10^{-1} = 1.$$

Відповідь: pH = 1.

16) Визначити pH розчину, одержаного після змішування однакових об'ємів розчинів H_2SO_4 із $C_H = 0,2$ моль/л та NaOH із $C_H = 0,6$ моль/л.

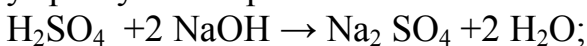
$$C_H(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,2 \text{ моль/л;}$$

$$C_H(\text{NaOH}) = 0,6 \text{ моль/л;}$$

$$V(\text{H}_2\text{SO}_4) = V(\text{NaOH});$$

$$\text{pH} = ?$$

1) Під час змішування розчинів кислота та луг реагують за рівнянням:



З рівняння видно, що кислота та луг реагують у співвідношенні 1 : 2. Так як

кислоти було взято 0,2 моль, то:

$$\left. \begin{array}{l} 1 \text{ моль } \text{H}_2\text{SO}_4 - 2 \text{ моль } \text{NaOH} \\ 0,2 \text{ моль } \text{H}_2\text{SO}_4 - X \text{ моль } \text{NaOH} \end{array} \right\} X = 0,4 \text{ моль } \text{NaOH}.$$

Тобто 0,4 моль NaOH вступає в реакцію.

За умовою задачі дано 0,6 моль NaOH, значить після реакції залишилося $0,6 - 0,4 = 0,2$ моль NaOH. Оскільки об'єм суміші збільшився в 2 рази, то концентрація NaOH в розчині: $0,2 / 2 = 0,1$ моль/л;

2) Знаходимо $[\text{OH}^-]$, pOH та pH розчину, що утворився:

$$[\text{OH}^-] = [\text{основи}] = 0,1 = 10^{-1}.$$

$$\text{pOH} = -\lg [\text{OH}^-] = -\lg 10^{-1} = 1.$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 1 = 13.$$

Відповідь: pH = 13.

Р. Обчислення $[H^+]$ за заданої величини рН та рОН.

17) Обчислити $[H^+]$ в крові, якщо рН = 7,36 .

$pH = 7,36;$	$[H^+] = \text{ant lg } pH = \text{ant lg } 7,36 = \text{ant lg } 8 - \text{ant lg } 0,64 =$
$[H^+] = ?$	$= 4,36 \cdot 10^{-8} \text{ моль / л}$
	<u>Відповідь:</u> $4,36 \cdot 10^{-8} \text{ моль / л}$

18) Обчислити $[H^+]$ розчину, якщо рОН = 4,29 .

$pOH = 4,29;$	1) Знаходимо рН:
$[H^+] = ?$	$pH = 14 - pOH = 14 - 4,29 = 9,71;$
	$[H^+] = \text{ant lgpH} = \text{ant lg } 9,71 = \text{ant lg } 10 - \text{ant lg } 0,29 =$
	$= 1,95 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л.}$

Відповідь: $1,95 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л.}$

Задачі для самостійного розв'язання

1. Обчислити рН розчину НСІ із масовою часткою 2% . (відповідь: 0,26)
2. Обчислити рН розчину NH_4OH із $C_H = 0,3 \text{ моль / л}$ ($K_d=1,810^{-5}$).
(відповідь: 11,37)
3. Як зміниться рН розчину HNO_3 із $C_H = 0,3 \text{ моль/л}$, якщо до 20мл розчину її долити 80 мл води? (відповідь: 0,7)
4. Як зміниться рН розчину, отриманого після змішування однакових об'ємів розчинів H_2SO_4 із $C_H = 0,8 \text{ моль/л}$ та $NaOH$ із $C_H = 0,2 \text{ моль/л}$?
(відповідь: 0,46)
5. Обчислити рН 4%-го розчину КОН. (відповідь: 13,75)
6. Як зміниться рН води, якщо до 50мл її додати 20 мл 0,1Н розчину $NaOH$.
(відповідь: 5,45)
7. Обчислити $[H^+]$, якщо рОН розчину 3,58. (відповідь: $3,8 \cdot 10^{-7}$).
8. Концентрація протонів в сечі становить $3,16 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}$. Чому дорівнює рОН?
(відповідь: 6,8)
9. Концентрація іонів гідроксилу артеріальної крові становить $2,5 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}$. Чому доповнює концентрація протонів?
(відповідь: $4 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}$)
10. До 90мл води долили 1мл 0,1н розчину $NaOH$. Як зміниться рН води?
(відповідь: від 7 до 11)
11. рН секрету підшлункової залози становить 8,5. Чому дорівнює концентрація протонів?
(відповідь: $3,16 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л}$)

Задачі підвищеної складності

1. Скільки грамів $NaOH$ треба розчинити в 1л води, для отримання розчину із рН 11,12 за $37^{\circ}C$? (відповідь: 0,13г)

2. Обчислити рН розчину, в 1л якого міститься 0,51мг іонів OH^- .
(відповідь: 9,48)
3. В скільки разів концентрація протонів в крові більша за концентрацію протонів у спинномозковій рідині, рН якої 7,53? (відповідь: 1,5)
4. рН венозної крові 7,33, а рН артеріальної – 7,36. Обчислити число протонів у 100мл першої та другої крові.
(відповідь: $2,83 \cdot 10^{15}$; $2,65 \cdot 10^{15}$)

БУФЕРНІ СИСТЕМИ

Буферними називають системи, які достатньо стійко зберігають величину рН під час додавання невеликої кількості сильної кислоти або лугу, а також під час розведення(або концентрування).

Існує два типи буферних систем:

- а) кислотні – складаються із слабкої кислоти та її солі, утвореної сильною основою. Наприклад, ацетатний буфер: $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}$.
- б) основні – складаються із слабкої основи та її солі, утвореної сильною кислотою. Наприклад, аміачний буфер: $\text{NH}_4\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl}$.

Основні рівняння буферних систем

кислотний тип

$$\boxed{[H^+] = K_d \frac{[\text{кислоти}]}{[\text{солі}]}}$$

основний тип

$$\boxed{[OH^-] = K_d \frac{[\text{основи}]}{[\text{солі}]}}$$

Рівняння Гендерсона – Гассельбаха

кислотний тип

$$\boxed{pH = pK_d - \lg \frac{[\text{кислоти}]}{[\text{солі}]}}$$

основний тип

$$\boxed{pOH = pK_d - \lg \frac{[\text{основи}]}{[\text{солі}]}}$$

де $pK_d = -\lg K_d$.

Буферна ємкість – це число моль еквівалентів сильної кислоти або сильної основи, яку потрібно додати до 1л буферної системи, щоб змістити рН на 1.

Буферну ємкість визначають титруванням.

Формули обчислення буферної ємкості:

за кислотою

$$B_k = \frac{C}{pH_0 - pH_1};$$

$$pH_1 = 4,4$$

за лугом

$$B_{л} = \frac{C}{pH_1 - pH_0}$$

$$pH_1 = 8,2$$

Приклади розв'язання задач

А. Обчислення рН буферних систем

1) Обчислити рН ацетатного буферу, що складається із 50мл 0,1Н розчину CH_3COOH та 40мл 0,15Н розчину CH_3COONa ($K_d(CH_3COOH) = 1,8 \cdot 10^{-5}$).

50мл 0,1Н CH_3COOH ;
40мл 0,15Н CH_3COONa ;
 $K_d(CH_3COOH) = 1,8 \cdot 10^{-5}$;

рН - ?

1) Для знаходження рН буферних систем раціональніше спочатку знайти концентрацію H^+ за основним рівнянням буферних систем кислотного типу

$$[H^+] = K_d \frac{[кислоти]}{[соли]}; \quad [H^+] = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{50 \cdot 0,1}{40 \cdot 0,15} = 1,13 \cdot 10^{-5};$$

$$2) \text{ рН} = -\lg [H^+] = -\lg 1,13 \cdot 10^{-5} = -\lg 1,13 - \lg 10^{-5} = 5 - 0,053 = 4,947.$$

Відповідь: рН = 4,947.

3) Обчислити рН аміачного буферу, що складається із 60мл 0,1Н розчину NH_4Cl та 30мл 0,2Н розчину NH_4OH ($K_d(NH_4OH) = 1,8 \cdot 10^{-5}$).

60мл 0,1Н NH_4Cl ;
30мл 0,2Н NH_4OH ;
 $K_d(NH_4OH) = 1,8 \cdot 10^{-5}$

рН = ?

1) Для знаходження рН буферної системи основного типу, спочатку потрібно знайти рОН. Для знаходження рОН раціональніше спочатку знайти концентрацію OH^- за основним рівнянням буферних систем основного типу:

$$[OH^-] = K_d \frac{[основи]}{[соли]}. = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{30 \cdot 0,2}{60 \cdot 0,1} = 1,8 \cdot 10^{-5};$$

$$\text{рОН} = -\lg 1,8 \cdot 10^{-5} = -\lg 1,8 - \lg 10^{-5} = 5 - 0,25 = 4,75;$$

$$\text{рН} = 14 - \text{рОН} = 14 - 4,75 = 9,25.$$

Відповідь: рН = 9,25.

Б. Обчислення співвідношення компонентів буферних систем

4) Обчислити співвідношення компонентів фосфатного буферу із рН = 6,3, якщо концентрації компонентів 0,1 моль/л ($K_D(\text{KH}_2\text{PO}_4) = 1,6 \cdot 10^{-7}$).

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 6,3; \\ K_D(\text{KH}_2\text{PO}_4) &= 1,6 \cdot 10^{-7}; \\ C_H &= 0,1 \text{ моль/л}; \end{aligned}$$

$$\frac{V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} = ?$$

1) Для обчислення співвідношення компонентів краще використовувати рівняння Гендерсона - Гассельбаха для буферних систем кислотного типу:

$$\text{pH} = \text{p}K_D - \lg \frac{[\text{кислоти}]}{[\text{солі}]} =$$

$$= -\lg K_D - \lg \frac{C_H(\text{NaH}_2\text{PO}_4) \cdot V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{C_H(\text{Na}_2\text{HPO}_4) \cdot V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}$$

$$\text{p}K_D(\text{KH}_2\text{PO}_4) = -\lg 1,6 \cdot 10^{-7} = -\lg 1,6 - \lg 10^{-7} = 7 - 0,2 = 6,8;$$

8) Підставляємо дані в рівняння Гендерсона – Гассельбаха та знаходимо співвідношення:

$$6,3 = 6,8 - \lg \frac{V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}; \quad \lg \frac{V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} = 6,8 - 6,3 = 0,5;$$

$$\frac{V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} = \text{ant} \lg 0,5 = 3.$$

Відповідь: $\frac{V(\text{NaH}_2\text{PO}_4)}{V(\text{Na}_2\text{HPO}_4)} = 3.$

4) Обчислити співвідношення компонентів аміачного буферу із рН = 8,6, якщо концентрації компонентів 0,1 моль/л ($K_D(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$).

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 8,6 \\ K_D(\text{NH}_4\text{OH}) &= 1,8 \cdot 10^{-5}; \\ C_H &= 0,1 \text{ моль/л} \end{aligned}$$

$$\frac{V(\text{NH}_4\text{OH})}{V(\text{NH}_4\text{Cl})} = ?$$

1) Для обчислення співвідношення компонентів краще використовувати рівняння Гендерсона- Гассельбаха для буферних систем оснóвного типу:

$$\text{pOH} = \text{p}K_D - \lg \frac{[\text{основи}]}{[\text{солі}]}.$$

2) Знаходимо рОН за умовою задачі:
 $\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 8,6 = 5,4;$

3) Знаходимо величину рK_D:

$$\text{p}K_D(\text{NH}_4\text{OH}) = -\lg 1,8 \cdot 10^{-5} = -\lg 1,8 - \lg 10^{-5} = 5 - 0,25 = 4,75;$$

9) Підставляємо дані в рівняння Гендерсона – Гассельбаха і знаходимо співвідношення компонентів:

$$5,4 = 4,75 - \lg \frac{V(NH_4OH)}{V(NH_4Cl)}; \quad \lg \frac{V(NH_4OH)}{V(NH_4Cl)} = 4,75 - 5,4 = -0,65;$$

Під знаком \lg міняємо чисельник та знаменник, щоб логарифм мав додатне значення:

$$\lg \frac{V(NH_4Cl)}{V(NH_4OH)} = 0,65; \quad \frac{V(NH_4Cl)}{V(NH_4OH)} = \text{ant } \lg 0,65 = 4,5.$$

$$\text{Відповідь: } \frac{V(NH_4Cl)}{V(NH_4OH)} = 4,5.$$

B. Обчислення зміни рН (Δ рН) буферної системи після додавання сильної кислоти або луку

5) Як зміниться рН ацетатного буферу, що складається із 50мл 0,1Н розчину CH_3COONa та 80мл 0,1Н розчину CH_3COOH ($K_d(CH_3COOH) = 1,8 \cdot 10^{-5}$) після додавання до нього 10мл 0,1Н розчину $NaOH$.

80мл 0,1Н CH_3COOH ;
50мл 0,15Н CH_3COONa ;
 $K_d(CH_3COOH) = 1,8 \cdot 10^{-5}$;
10мл 0,1Н $NaOH$;

Δ рН = ?

1) Коли додаємо луг, то рН повинен зрушитися в лужну сторону, тобто збільшитися, тому Δ рН = рН₂ – рН₁, де рН₂ – це рН розчину після додавання луку, а рН₁ – до додавання луку, тобто це рН початкового буферного розчину.

2) Для знаходження рН буферних систем раціональніше спочатку знайти концентрацію H^+ за основним рівнянням буферних систем кислотного типу:

$$[H^+]_1 = K_d \frac{[\text{кислоти}]}{[\text{солі}]} = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{80 \cdot 0,1}{50 \cdot 0,1} = 2,8 \cdot 10^{-5};$$

$$pH_1 = -\lg [H^+]_1 = -\lg 2,8 \cdot 10^{-5} = -\lg 2,8 - \lg 10^{-5} = 5 - 0,45 = 4,55.$$

3) Луг, який додається до буферної системи, реагує із кислотою за рівнянням: $CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$.

Таким чином, концентрація кислоти зменшується, а концентрація солі збільшується на кількість доданого луку, тобто на $10 \cdot 0,1$.

4) Виходячи із цього знаходимо $[H^+]_2$, а потім рН₂:

$$[H^+]_2 = K_d \frac{[\text{кислоти}] - [\text{луку}]}{[\text{солі}] + [\text{луку}]} = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{80 \cdot 0,1 - 10 \cdot 0,1}{50 \cdot 0,1 + 10 \cdot 0,1} = 2,1 \cdot 10^{-5};$$

$$pH_2 = -\lg [H^+]_2 = -\lg 2,1 \cdot 10^{-5} = -\lg 2,1 - \lg 10^{-5} = 5 - 0,32 = 4,68.$$

5) Знаходимо Δ рН:

$$\Delta \text{ рН} = 4,68 - 4,55 = 0,13.$$

Відповідь: Δ рН = 0,13.

б) Як зміниться рН аміачного буферу, що складається із 30мл 0,15Н розчину NH_4OH ($K_d(NH_4OH) = 1,8 \cdot 10^{-5}$) та 40мл 0,1Н розчину NH_4NO_3 після додавання до нього 5мл 0,1Н розчину HNO_3 ?

$$\begin{array}{l}
 30\text{мл } 0,15\text{Н } \text{NH}_4\text{OH}; \\
 40\text{мл } 0,1\text{Н } \text{NH}_4\text{NO}_3; \\
 K_{\text{д}}(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}; \\
 \hline
 5\text{мл } 0,1\text{Н } \text{HNO}_3; \\
 \hline
 \Delta \text{pH} = ?
 \end{array}$$

1) Так як додаємо кислоту, то рН повинен зрушитися в кислоту сторону, тобто зменшитися, від початкової величини, тому $\Delta \text{pH} = \text{pH}_1 - \text{pH}_2$ де pH_2 – це рН розчину після додавання кислоти, а pH_1 – до додавання кислоти, тобто це рН початкового буферного розчину.

3) Для знаходження рН буферної системи раціональніше спочатку знайти концентрацію OH^- за основним рівнянням буферних систем основного типу:

$$[\text{OH}^-]_1 = K_{\text{д}} \frac{[\text{основи}]}{[\text{солі}]} = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{30 \cdot 0,15}{40 \cdot 0,1} = 2,02 \cdot 10^{-5};$$

$$\text{pOH}_1 = -\lg [\text{OH}^-]_1 = -\lg 2,02 \cdot 10^{-5} = -\lg 2,02 - \lg 10^{-5} = 5 - 0,3 = 4,7$$

$$\text{pH}_1 = 14 - \text{pOH} = 14 - 4,7 = 9,3.$$

3) Кислота, яка додається до буферної системи, реагує із основою за рівнянням: $\text{HNO}_3 + \text{NH}_4\text{OH} \rightarrow \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

Таким чином, концентрація основи зменшується, а концентрація солі збільшується на кількість доданої кислоти, тобто на $5 \cdot 0,1$.

4) Виходячи із цього знаходимо $[\text{OH}^-]_2$, а потім pOH_2 та pH_2 :

$$[\text{OH}^-]_2 = K_{\text{д}} \frac{[\text{основи}] - [\text{кислоти}]}{[\text{солі}] + [\text{кислоти}]} = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{30 \cdot 0,15 - 5 \cdot 0,1}{40 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1} = 1,6 \cdot 10^{-5};$$

$$\text{pOH}_2 = -\lg [\text{OH}^-]_2 = -\lg 1,6 \cdot 10^{-5} = -\lg 1,6 - \lg 10^{-5} = 5 - 2 = 4,8;$$

$$\text{pH}_2 = 14 - 4,8 = 9,2;$$

5) Знаходимо ΔpH :

$$\Delta \text{pH} = 9,3 - 9,2 = 0,1.$$

Відповідь: $\Delta \text{pH} = 0,1$.

Г. Обчислення буферній ємкості

7) **Обчислити буферну ємкість гідрокарбонатного буферу, який складається із 70мл 0,1Н розчину H_2CO_3 ($K_{\text{д}} = 3,3 \cdot 10^{-7}$) та 50мл 0,1Н розчину NaHCO_3 , якщо на титрування 5мл цього буферу пішло 4,8мл 0,1Н розчину NaOH .**

$$\begin{array}{l}
 70\text{мл } 0,1\text{Н } \text{H}_2\text{CO}_3; \\
 50\text{мл } 0,1\text{Н } \text{NaHCO}_3; \\
 K_{\text{д}} = 3,3 \cdot 10^{-7};
 \end{array}$$

$$V_{\text{буф.сист.}} = 5\text{мл};$$

$$4,8\text{мл } 0,1\text{Н } \text{NaOH};$$

1) Буферну ємкість за лугом обчислюють за формулою:

$$B_{\text{л}} = \frac{C}{\text{pH}_1 - \text{pH}_0}.$$

2) Обчислюємо pH_0 :

$$\text{pH}_0 = -\lg [\text{H}^+]_0;$$

$$V_{\text{л}} = ? \quad [H^+]_0 = K_{\text{д}} \frac{[\text{кислоти}]}{[\text{соли}]} = 3,3 \cdot 10^{-7} \frac{70 \cdot 0,1}{50 \cdot 0,1} = 4,62 \cdot 10^{-7};$$

$$\text{pH}_0 = -\lg [H^+]_0 = -\lg 4,62 \cdot 10^{-7} = -\lg 4,62 - \lg 10^{-7} = 7 - 0,66 = 6,34;$$

3) $\text{pH}_1 = 8,2$, оскільки титрування лугом закінчують, коли з'являється малинове забарвлення;

4) Буферна ємкість розраховується на 1л буферної системи, тому знаходимо, скільки пішло б лугу на титрування 1л або 1000мл буферної системи:

$$\left. \begin{array}{l} \text{на 5мл буферної системи} \quad - \quad 4,8\text{мл NaOH} \\ \text{на 1000мл} \quad \ll \quad \quad \quad - \quad \text{Xмл} \end{array} \right\} \text{X} = 960\text{мл};$$

5) Обчислимо кількість моль еквівалентів лугу, яке пішло б на титрування 1л буферної системи:

$$\left. \begin{array}{l} \text{у 1000мл NaOH} \quad - \quad 0,1\text{моль NaOH} \\ \text{у 960мл NaOH} \quad - \quad \text{X} \end{array} \right\} \text{X} = 0,096 \text{ моль екв.}$$

6) Обчислюємо буферну ємкість:

$$V_{\text{л}} = \frac{0,096}{8,2 - 6,34} = 0,05 \frac{\text{моль екв.}}{\text{од. pH}}.$$

Відповідь: буферна ємкість за лугом $0,05 \frac{\text{моль екв.}}{\text{од. pH}}$

8) Обчислити буферну ємкість фосфатного буферу, який складається із 100мл 0,1Н розчину Na_2HPO_4 та 80мл 0,1Н розчину NaH_2PO_4 ($K_{\text{д}} = 1,6 \cdot 10^{-7}$), якщо на титрування 10мл цього буферу пішло 7,8мл 0,1Н розчину HCl .

100мл 0,1Н Na_2HPO_4 ;
80мл 0,1Н NaH_2PO_4 ;

$$K_{\text{д}} = 1,6 \cdot 10^{-7};$$

$V_{\text{буф.сист.}} = 10\text{мл};$

7,8мл 0,1Н HCl ;

1) Буферну ємкість за кислотою обчислюють за формулою:

$$V_{\text{к}} = \frac{C}{\text{pH}_0 - \text{pH}_1};$$

2) Обчислюємо pH_0 :

$V_{\text{к}} - ?$

$$\text{pH}_0 = -\lg [H^+]_0;$$

$$[H^+]_0 = K_{\text{д}} \frac{[\text{кислоти}]}{[\text{соли}]} = 1,6 \cdot 10^{-7} \frac{80 \cdot 0,1}{100 \cdot 0,1} = 1,28 \cdot 10^{-7}$$

$$\text{pH}_0 = -\lg [H^+]_0 = -\lg 1,28 \cdot 10^{-7} = -\lg 1,28 - \lg 10^{-7} = 7 - 0,107 = 6,89;$$

4) $\text{pH}_1 = 4,4$, оскільки титрування кислотою закінчують, коли змінюється жовте забарвлення на рожеве;

4) Буферна ємкість розраховується на 1л буферної системи, тому знаходимо, скільки пішло б кислоти на титрування 1л або 1000мл буферної системи:

$$\left. \begin{array}{l} \text{на 10мл буферної системи} \quad - \quad 7,8\text{мл HCl} \\ \text{на 1000мл} \quad \ll \quad \quad \quad - \quad \text{Xмл} \end{array} \right\} \text{X} = 780\text{мл};$$

5) Обчислимо кількість моль еквівалентів кислоти, яке пішло б на титрування 1л буферної системи:

$$\left. \begin{array}{l} \text{у } 1000\text{мл HCl} - 0,1\text{моль HCl} \\ \text{у } 780\text{мл HCl} - X \end{array} \right\} X = 0,078 \text{ моль екв.}$$

б) Обчислюємо буферну ємкість:

$$V_K = \frac{0,078}{6,89 - 4,4} = 0,03 \frac{\text{моль екв.}}{\text{од. pH}}$$

Відповідь: буферна ємкість за кислотою: $0,03 \frac{\text{моль екв.}}{\text{од. pH}}$

9) Обчислити буферну ємкість аміачного буферу, який складається із 40мл 0,1Н розчину NH_4OH ($K_D = 1,8 \cdot 10^{-5}$) та 30мл 0,2Н розчину NH_4Cl , якщо на титрування 7мл його витрачається 5,5 мл 0,1Н розчину HCl .

40мл 0,1Н NH_4OH ;
30мл 0,2Н NH_4Cl ;

($K_D = 1,8 \cdot 10^{-5}$);

$V(\text{буф. сист.}) = 7\text{мл}$;
5,5 мл 0,1Н HCl ;

1) Буферну ємкість за кислотою обчислюють за формулою:

$$V_K = \frac{C}{\text{pH}_0 - \text{pH}_1};$$

2) Щоб знайти pH_0 буферної системи основного типу, спочатку потрібно знайти pOH_0 . Для знаходження pOH_0 раціональніше спочатку знайти $[\text{OH}^-]_0$ за основним рівнянням буферних систем основного типу:

$$[\text{OH}^-]_0 = K_D \frac{[\text{основи}]}{[\text{соли}]} = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{40 \cdot 0,1}{30 \cdot 0,2} = 1,2 \cdot 10^{-5};$$

$$\text{pOH}_0 = -\lg 1,2 \cdot 10^{-5} = -\lg 1,2 - \lg 10^{-5} = 5 - 0,08 = 4,92;$$

$$\text{pH}_0 = 14 - \text{pOH}_0 = 14 - 4,92 = 9,08.$$

3) $\text{pH}_1 = 4,4$, оскільки титрування кислотою закінчують, коли змінюється жовте забарвлення на рожеве;

4) Буферна ємкість розраховується на 1л буферної системи, тому знаходимо, скільки пішло б кислоти на титрування 1л або 1000мл буферної системи:

$$\left. \begin{array}{l} \text{на } 7\text{мл буферної системи} - 5,5\text{мл HCl} \\ \text{на } 1000\text{мл} \quad \ll \quad - X\text{мл} \end{array} \right\} X = 785,7\text{мл};$$

5) Обчислюємо кількість моль еквівалентів кислоти, яке пішло б на титрування 1л буферної системи:

$$\left. \begin{array}{l} \text{у } 1000\text{мл HCl} - 0,1\text{моль HCl} \\ \text{у } 785,7\text{мл HCl} - X \end{array} \right\} X = 0,07857 \text{ моль екв.}$$

б) Обчислюємо буферну ємкість:

$$V_K = \frac{0,07857}{9,08 - 4,4} = 0,017 \frac{\text{моль екв.}}{\text{од. pH}}$$

Відповідь: буферна ємкість за кислотою: $0,017 \frac{\text{моль екв.}}{\text{од. pH}}$

10) Обчислити буферну ємкість сироватки крові за кислотою, якщо на титрування 5мл її пішло 7,5мл 0,1Н розчину HCl .

$$V_{(\text{СИРОВАТКИ})} = 5 \text{ мл};$$

$$7,5 \text{ мл } 0,1 \text{ Н HCl};$$

1) Буферну ємкість за кислотою обчислюють за формулою:

$$V_k = \frac{C}{\text{pH}_0 - \text{pH}_1};$$

$$V_k = ?$$

2) pH_0 – це pH сироватки крові = 7,36;

pH_1 – це pH розчину після закінчення титрування,

тобто 4,4, оскільки в сироватці забарвлення метилоранжу жовте, а під час титрування кислотою міняє забарвлення на рожеве за $\text{pH} = 4,4$.

3) Буферна ємкість розраховується на 1л буферної системи, тому знаходимо, скільки пішло б кислоти на титрування 1л або 1000мл буферної системи, тобто сироватки:

на 5мл сироватки крові	–	7,5мл HCl	}	X = 1500мл;
на 1000мл	«	Xмл		

5) Обчислюємо кількість моль еквівалентів кислоти, яке пішло б на титрування 1л сироватки крові:

у 1000мл HCl	–	0,1моль HCl	}	X = 0,15 моль экв..
у 1500мл HCl	–	X		

6) Обчислюємо буферну ємкість:

$$V_k = \frac{0,15}{7,36 - 4,4} = 0,05 \frac{\text{моль экв.}}{\text{од. pH}}$$

Відповідь: буферна ємкість по кислоті $0,05 \frac{\text{моль экв.}}{\text{од. pH}}$

Задачі для самостійного вирішення

- 1) Обчислити pH фосфатного буферу, який складається із 60мл 0,1Н розчину однозаміщеної солі і 40мл 0,1Н розчину двозаміщеної солі ($K_d = 1,6 \cdot 10^{-7}$). (відповідь: 6,62)
- 2) Обчислити pH аміачного буферу, який складається із 70мл 0,15Н розчину NH_4NO_3 та 50мл 0,1Н розчину NH_4OH ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$). (відповідь: 8,93)
- 3) Обчислити співвідношення компонентів ацетатного буферу із $\text{pH} = 5,7$ якщо концентрації компонентів 0,1моль/л ($K_d(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$). (відповідь: $V(\text{солі}) / V(\text{кислоти}) = 9$).
- 4) Обчислити співвідношення компонентів аміачного буферу із $\text{pH} = 9,3$, якщо концентрація основи та солі 0,2моль/л ($K_d(\text{NH}_4\text{OH}) = 1,8 \cdot 10^{-5}$). (відповідь: $V(\text{основи}) / V(\text{солі}) = 1,1$).
- 5) Як зміниться pH цитратного буферу, який складається із 50мл 0,1Н розчину лимонної кислоти ($K_d(\text{кислоти}) = 1,2 \cdot 10^{-3}$) та 60мл 0,1Н розчину калій цитрату, в результаті додавання 15мл 0,1Н розчину HCl. (відповідь: $\Delta \text{pH} = 0,24$)
- 6) Як зміниться pH боратного буферу, який складається із 90мл 0,2Н розчину H_3BO_3 ($K_d(\text{H}_3\text{BO}_3) = 6 \cdot 10^{-10}$) та 60мл 0,15Н розчину $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$

- в результаті додавання 10мл 0,2Н розчину NaOH. (відповідь: $\Delta pH = 0,14$)
- 7) Як зміниться рН аміачного буферу, що складається із 100мл 0,15Н розчину NH_4OH ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$) та 80мл 0,1Н розчину NH_4Cl в результаті додавання до нього 15мл 0,1Н розчину HCl ?
(відповідь: $\Delta pH = 0,15$)
- 8) Як зміниться рН аміачного буферу, що складається із 70мл 0,1Н NH_4NO_3 та 45мл 0,1Н розчину NH_4OH ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$) в результаті додавання до нього 20мл 0,1Н розчину $NaOH$? (відповідь: $\Delta pH = 0,31$).
- 9) Обчислити буферну ємність ацетатного буферу, який складається із 90мл 0,15Н розчину CH_3COOH ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$) та 70мл 0,12Н розчину CH_3COONa , якщо на титрування 5мл його витрачається 3,5 мл 0,1Н розчину $NaOH$. (відповідь: 0,018)
- 10) Обчислити буферну ємність аміачного буферу, який складається із 150мл 0,1Н розчину NH_4OH ($K_d = 1,8 \cdot 10^{-5}$) та 120мл 0,1Н розчину NH_4Cl , якщо на титрування 10мл його витрачається 8,2 мл 0,1Н розчину HCl . (відповідь: 0,16)
- 11) Обчислити буферну ємність сироватки крові за кислотою, якщо на титрування 20мл її пішло 3,6мл 0,1Н розчину HCl ; рН сироватки при цьому змінився до 7,0. (відповідь: 0,05моль екв./од. рН)

Задачі підвищеної складності

1. Яка із двох буферних систем із $pH = pK + 1$ або із $pH = pK - 1$ стійкіша до дії кислоти, а яка до дії лугу? (відповідь: перша – до дії кислоти; друга – до дії лугу)
2. Обчислити буферну ємність сироватки крові за кислотою та за лугом, якщо на титрування 5мл її витрачається 7,5мл 0,1Н розчину HCl та 1,1мл 0,1Н розчину $NaOH$. Яка буферна ємність більша і чому?

КОЛІГАТИВНІ ВЛАСТИВОСТІ РОЗЧИНІВ. ОСМОС. КРІОМЕТРІЯ.

Колігативними називають властивості розчинів, що обумовлені тепловим рухом та кількістю кінетичних частинок системи.

Осмос це самовільна одностороння дифузія молекул розчинника через напівпроникну мембрану у бік розчину із більшою концентрацією.

Напівпроникною називається мембрана, яка пропускає молекули тільки розчинника. Приклади : природні – тваринні та рослинні мембрани клітин, стінки кишечника, стінки судин; штучні – колодій, целофан, желатин, пергамент, стінки глиняної посудини, які заповнені осадовою мембраною.

Осмотичний тиск це надмірний гідростатичний тиск, який зупиняє осмос.
Осмотична концентрація це концентрація всіх кінетичних частинок розчиненої речовини в розчині.

Закон Вант – Гоффа – осмотичний тиск розбавленого розчину неелектроліту дорівнює тому газовому тиску, який чинила би розчинена речовина, знаходячись в газоподібному стані та займаючи об'єм розчину за тієї ж температури.

Рівняння осмотичного тиску для неелектролітів:

$$P_{осм.} = CRT$$

де C - молярна концентрація в моль/л;

R – універсальна газова стала 0,082 л · атм/град · моль;

T – температура за Кельвіном.

Для неелектролітів осмотична та молярна концентрації збігаються.

Рівняння осмотичного тиску для електролітів:

$$P_{осм.} = iCRT$$

де i – ізотонічний коефіцієнт Вант-Гоффа.

Для електролітів осмотична концентрація в i разів більша за молярну :

$$C_{осм. ел.} = i \cdot C$$

Ізотонічний коефіцієнт Вант-Гоффа – i - показує, в скільки разів осмотичний тиск електроліту, осмотична концентрація електроліту більша, за осмотичний тиск та осмотичну концентрацію неелектроліту, за однакової молярної концентрації.

$$i = \frac{P_{осм. ел.}}{P_{осм. неел.}} = \frac{C_{осм. ел.}}{C_{осм. неел.}}$$

Ізотонічний коефіцієнт Вант-Гоффа зв'язаний зі ступенем дисоціації α рівнянням:

$$i = 1 + \alpha(v - 1)$$

де v - число іонів, на яке дисоціює електроліт.

Осмотичний тиск крові = 7,7атм.

Онкотичний тиск крові це частина осмотичного тиску, яка обумовлена ВМС і становить 0,04атм.

Осмотичний тиск 1М розчину неелектроліту = 22,4атм.

Приклади розв'язання задач

1) **Обчислити осмотичний тиск 0,1М розчину сечовини.**

$$C_{х(сечовини)} = 0,1 \text{ моль/л;}$$

$$P_{осм.} = ?$$

1) Сечовина це неелектроліт, тому $P_{осм.}$ знаходимо за формулою:

$$P_{осм. неел.} = CRT = 0,1 \cdot 0,082 \cdot 273 = 2,24 \text{ атм.}$$

Відповідь: 2,24атм.

2) Обчислити осмотичний тиск 0,2М розчину калій хлориду.

$$C_X(\text{KCl}) = 0,2 \text{ моль/л;}$$

$$P_{\text{осм.}} = ?$$

1) Оскільки КСl це електроліт, то $P_{\text{осм}}$ обчислюємо за формулою:

$$P_{\text{осм. ел.}} = i \cdot CRT.$$

2) Для знаходження i використовуємо формулу:

$$i = 1 + \alpha(v - 1)$$

де $\alpha = 1$; оскільки КСl це сильний електроліт і дисоціює на два іони, тому $v = 2$. Звідси: $i = 1 + 1(2 - 1) = 2$;

3) Обчислюємо осмотичний тиск:

$$P_{\text{осм. ел.}} = 2 \cdot 0,2 \cdot 0,082 \cdot 273 = 8,95 \text{ атм.}$$

Відповідь: 8,95 атм.

3) Чому 5%-ний розчин глюкози можна вводити інтравенозно?

Підтвердити відповідними розрахунками.

$$\omega = 5\%;$$

$$P_{\text{осм.}} = ?$$

1) Інтравенозно можна вводити ті розчини, які мають осмотичний тиск однаковий із осмотичним тиском крові. Тобто треба розрахувати осмотичний тиск 5%-го розчину глюкози.

Переводимо масову частку в молярну концентрацію

$$C_X = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X} = \frac{5 \cdot 1,1 \cdot 10}{180} = 0,3 \text{ моль/л;}$$

2) Знаходимо $P_{\text{осм.}}$ глюкози як неелектроліту:

$$P_{\text{осм. неел.}} = CRT = 0,3 \cdot 0,082 \cdot (273 + 37) = 7,62 \text{ атм.}$$

Осмотичний тиск 5%-го розчину глюкози близький до осмотичного тиску крові, тому його можна вводити інтравенозно.

Відповідь: 7,62 атм.

4) Обчислити осмотичний тиск 10%-го розчину натрій хлориду

$$(\rho = 1,12).$$

$$\omega = 10\%;$$



$$P_{\text{осм.}} = ?$$

1) Переводимо масову частку в молярну концентрацію:

$$C_X = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X} = \frac{10 \cdot 1,12 \cdot 10}{58,5} = 1,91 \text{ моль/л.}$$

2) Так як КСl це електроліт, то $P_{\text{осм}}$ обчислюємо за формулою: $P_{\text{осм. ел.}} = i \cdot CRT.$

2) Для знаходження i використовуємо формулу:

$$i = 1 + \alpha(v - 1)$$

де $\alpha = 1$, оскільки NaCl це сильний електроліт і диссоціює на два іони, тобто $v = 2$. Звідси: $i = 1 + 1(2 - 1) = 2$;

3) Обчислюємо осмотичний тиск:

$$P_{\text{осм. ел.}} = 2 \cdot 1,91 \cdot 0,082 \cdot 273 = 49,04 \text{ атм.}$$

Відповідь: 49,04 атм.

5) Обчислити молярну концентрацію глюкози, який ізотонічний із кров'ю за 37°C.

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

1) Оскільки розчин глюкози ізотонічний із кров'ю, то його $P_{\text{осм.}}$ дорівнює $P_{\text{осм.}}$ крові і становить 7,7 атм.

2) Глюкоза це неелектроліт, тому

$$P_{\text{осм. неел.}} = CRT$$

$$\text{Звідси } C = \frac{P}{RT} = \frac{7,7}{0,082 \cdot (273 + 37)} = 0,303 \text{ моль/л.}$$

Відповідь: 0,303 моль/л.

б) Чи ізотонічні 1%-ні розчини сечовини та натрій хлориду?

$$\omega((\text{NH}_2)_2\text{CO}) = 1\%;$$

$$\omega(\text{NaCl}) = 1\%;$$

1) Оскільки ізотонічні розчини мають однаковий осмотичний тиск, то необхідно обчислити осмотичний тиск кожного розчину і порівняти.

$$P_{\text{осм.}}((\text{NH}_2)_2\text{CO}) = ?$$

$$P_{\text{осм.}}(\text{NaCl}) = ?$$

2) Сечовина це неелектроліт, тому $P_{\text{осм.}}$ знаходимо за формулою: $P_{\text{осм. неел.}} = CRT$ задалегідь перевірши ω в C_X :

$$C_X = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X} = ; \frac{1 \cdot 1,03 \cdot 10}{60} = 0,17 \text{ моль/л.};$$

$$P_{\text{осм.}}((\text{NH}_2)_2\text{CO}) = CRT = 0,17 \cdot 0,082 \cdot 273 = 3,84 \text{ атм.}$$

3) Знаходимо $P_{\text{осм.}}(\text{NaCl})$, враховуючи, що це електроліт: $P_{\text{осм. ел.}} = i CRT$:

$$C_X = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X} = \frac{1 \cdot 1,03 \cdot 10}{58,5} = 0,17 \text{ моль/л.};$$

$$i = 1 + \alpha(v - 1) = 1 + 1(2 - 1) = 2$$

$$P_{\text{осм.}}(\text{NaCl}) = 2 \cdot 0,17 \cdot 0,082 \cdot 273 = 7,6 \text{ атм.}$$

Оскільки осмотичний тиск різний, то ці розчини не ізотонічні

Відповідь: розчини не ізотонічні.

Задачі для самостійного розв'язання

1) Обчислити осмотичний тиск 0,2М розчину глюкози.

(відповідь: 4,47 атм)

2) Обчислити осмотичний тиск 0,3М розчину KCl.

(відповідь: 13,43 атм)

3) Обчислити осмотичний тиск 10%-го розчину CaCl_2 ($\rho=1,07$).

(відповідь: 64,73 атм)

4) Чи ізотонічні 2%-ні розчини ацетату(оцтової кислоти) та глюкози?

(відповідь: не ізотонічні)

5) Обчислити молярну концентрацію гемоглобіну, якщо 1%-ний розчин його має осмотичний тиск 0,004 атм.

(відповідь: 62500 г/моль)

6) Обчислити осмотичну концентрацію крові.

(відповідь: 0,3 моль/л.)

7) Обчислити молярну концентрацію розчину сахарози, який є ізотонічний крові.

(відповідь: 0,3 моль/л)

8) Обчислити осмотичний тиск крові жаби, якщо осмотична концентрація її крові за 7°C становить 220 ммоль/л.

(відповідь: 5,05 атм)

- 9) Чим пояснюється послаблююча дія 25%-го розчину $MgSO_4$? Підтвердити відповідними розрахунками. ($\rho=1,27$; $\alpha=0,96$). (відповідь: 131,5атм)
- 10) 4,5г $NaCl$ розчинили у 0,5л води. Обчислити осмотичну концентрацію цього розчину. ($\rho=1,07$). (відповідь: 0,32моль/л)
- 11) Чому 35%-ний розчин калій ацетату використовують як осмотичний діуретик? Підтвердити відповідними розрахунками ($\rho=1,2$; $\alpha=0,92$). (відповідь: 208,89атм).
- 12) Для зняття набряків під час алергії у вену вводять 10%-ний розчин $CaCl_2$. Розрахувати його осмотичний тиск. ($\rho=1,14$; $\alpha=0,96$). (відповідь 49,78атм)
- 13) Під час отруєння ртуттю або свинцем вводять в кров 10%-ний розчин $MgSO_4$ ($\rho=1,15$; $\alpha=0,94$). Розрахувати осмотичний тиск. (відповідь: 46,84атм)

Задачі підвищеної складності

- Осмотичний тиск розчину гемоглобіну у воді, який містить 124г/л гемоглобіну за $t = 17^\circ$, становить 0,0435. Розрахувати молярну масу гемоглобіну. (відповідь: 68000)
- Обчислити масову частку $NaCl$ в розчині, який є ізотонічний із кров'ю жаби, якщо осмотична концентрація її крові становить 220ммоль/л. (відповідь: 0,64%)
- Скільки грамів гліцерину треба розчинити у 500мл води, щоб осмотичний тиск цього розчину за $18^\circ C$ становив 3атм? (відповідь: 5,75г)
- Скільки грамів глюкози необхідно взяти для приготування 1л розчину ізотонічного із кров'ю. (відповідь: 54г)
- Обчислити осмотичний тиск розчину гемоглобіну за $300^\circ K$, якщо в 1л розчину міститься 124г гемоглобіну. ($M_{(ГЕМОГЛОБІНУ)} = 68000$ г/моль; $R = 8,31 \cdot 10^3$ л•Па/ моль• К) (відповідь $4,54 \cdot 10^3$ Па)
- Обчислити осмотичний тиск розчину сахарози, в 1л якого міститься 91г її за $37^\circ C$ ($M_{(САХАРОЗИ)} = 342$ г/моль; $R = 8,31 \cdot 10^3$ л•Па/ моль• К) (відповідь 685,5 к Па)
- Яка маса етанолу міститься в 10л розчину, якщо осмотичний тиск цього розчину становить 340кПа за $0^\circ C$ ($M_{(СПИРТУ)} = 46$ г/моль; $R = 8,31 \cdot 10^3$ л•Па/ моль• К). (відповідь: 69г)

КРІОМЕТРІЯ. ЕБУЛІОМЕТРІЯ.

Тиск насиченої пари розчинника над розчином нижчий, за тиск над розчинником, оскільки під час розчинення речовини знижується концентрація розчинника в одиниці об'єму розчину, і тим самим зменшується

число молекул води, яке покидає поверхню розчину. Чим більше C_x , тим більше зниження тиску ΔP .

I закон Рауля: відносне зниження тиску насиченої пари розчинника над розчином дорівнює мольній частці розчиненої речовини в розчині:

$$\frac{P_0 - P}{P_0} = \frac{n}{n + n_0} \text{ де } P_0 \text{ – тиск пари над чистим розчинником;}$$

P – тиск пари над розчином;

$P_0 - P$ – зниження тиску пари;

n – число моль речовини;

n_0 – число моль розчинника.

Рідина замерзає за температури, за якої тиск пара її в твердому стані дорівнює тиску пари цієї речовини в рідкому стані. Наприклад: за 0°C

P пари льоду = P пари води. Якщо розчинити речовину, то P пари розчину буде нижчий, за P пари води і P пари льоду, тобто замерзлого розчину. Тому треба знизити температуру розчину, щоб P пари розчину дорівнювало P пари льоду.

II закон Рауля: зниження температури (депресія) замерзання розчину прямо пропорційно його молярній (моляльній) концентрації:

$$\Delta t_{\text{НЕЕЛ}} = E_{\text{КР}} \cdot C,$$

де $E_{\text{КР}}$ – криоскопічна стала, яка показує депресію 1М водного розчину неелектроліту.

$$E_{\text{КР}}(\text{H}_2\text{O}) = 1,86.$$

$$\Delta t \text{ молярного розчину неелектроліту} = 1,86.$$

Для електролітів рівняння має вигляд:

$$\Delta t_{\text{ЕЛ}} = i E_{\text{КР}} \cdot C.$$

де коефіцієнт Вант-Гоффа i показує, в скільки разів депресія розчину електроліту більша за депресію розчину неелектроліту за однакової молярної (моляльної) концентрації:

$$i = \frac{\Delta t_{\text{ЕЛ}}}{\Delta t_{\text{НЕЕЛ}}}.$$

Рідина закипає за температури, за якої тиск насиченої її пари дорівнює атмосферному тиску. Під час розчинення речовини у воді тиск її пари знижується, і розчин закипить тільки тоді, коли тиск дорівнюватиме атмосферному. Для цього треба підвищити температуру. Для водних розчинів температура повинна бути вище 100°C .

Підвищення температури кипіння обчислюють за формулою:

$$\Delta t_{\text{НЕЕЛ}} = E_{\text{ЕБ}} \cdot C$$

$$\Delta t_{\text{ЕЛ}} = i E_{\text{ЕБ}} \cdot C$$

$$E_{\text{ЕБ}}(\text{H}_2\text{O}) = 0,56.$$

Приклади вирішення задач

1. Обчислити депресію 3,6%-го розчину глюкози ($\rho = 1,014$).

$$\omega = 3,6\%;$$

$$\rho = 1,014;$$

$$\Delta t = ?$$

1) Оскільки глюкоза неелектроліт, то для знаходження депресії використовуємо формулу:

$$\Delta t_{\text{НЕЕЛ.}} = E_{\text{КР.}} \cdot C;$$

2) Масову частку переводимо в C_X :

$$C_X = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X} = \frac{3,6 \cdot 1,014 \cdot 10}{180} = 0,2 \text{ моль/л.};$$

3) Знаходимо депресію: $\Delta t = 1,86 \cdot 0,2 = 0,38$.

Відповідь: 0,38.

2. Обчислити температуру замерзання 2М розчину NaCl.

$$C_X = 2 \text{ моль/л.};$$

$$\text{NaCl};$$

$$t_{\text{ЗАМ.}} = ?$$

1) Для знаходження температури замерзання необхідно знати Δt .

Оскільки $\Delta t = 0^0 - t_{\text{ЗАМ.}}$, де 0^0 це температура замерзання води. Звідси: $t_{\text{ЗАМ.}} = 0^0 - \Delta t$;

2) Обчислюємо депресію розчину NaCl:

$$\Delta t_{\text{ЭЛ.}} = i \cdot E_{\text{КР.}} \cdot C;$$

$$i = 1 + \alpha(v - 1) = 1 + 1(2 - 1) = 2;$$

$$\Delta t_{\text{ЭЛ.}} = 2 \cdot 1,86 \cdot 2 = 7,44.$$

3) Обчислюємо $t_{\text{ЗАМ.}} = 0^0 - \Delta t = 0^0 - 7,44 = -7,440$.

Відповідь: - 7,440.

3. За якої температури замерзає 3%-ний розчин етанолу у воді?

$$\omega = 3,0\%;$$

$$C_2H_5OH;$$

$$t_{\text{ЗАМ.}} = ?$$

1) Для знаходження температури замерзання необхідно знати Δt , оскільки $\Delta t = 0^0 - t_{\text{ЗАМ.}}$, звідси: $t_{\text{ЗАМ.}} = 0^0 - \Delta t$;

2) Масову частку переводимо в C_X :

$$C_X = \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M_X} = \frac{3 \cdot 1,0 \cdot 10}{46} = 0,65 \text{ моль/л.}$$

3) Обчислюємо депресію розчину C_2H_5OH та $t_{\text{ЗАМ.}}$:

$$\Delta t_{\text{НЕЭЛ.}} = E_{\text{КР.}} \cdot C_X = 1,86 \cdot 0,65 = 1,2;$$

$$t_{\text{ЗАМ.}} = 0^0 - t_{\text{ЗАМ.}} = 0^0 - 1,2 = -1,2.$$

Відповідь: - 1,2.

4. Обчислити депресію крові за 37^0C , якщо осмотичний тиск крові 7,65атм.

$$P_{\text{ОСМ.}} = 7,65 \text{ атм};$$

$$t = 37^0\text{C};$$

$$\Delta t = ?$$

1) В задачі дається два параметри крові – депресія та осмотичний тиск, тому запишемо дві формули:

$$\Delta t = E_{\text{КР.}} \cdot C \text{ та } P_{\text{ОСМ.}} = CRT.$$

В цих формулах є загальний параметр C ; виводимо його з кожного рівняння:

$$C = \frac{\Delta t}{E_{\text{КР.}}} \text{ та } C = \frac{P_{\text{ОСМ.}}}{RT},$$

звідси $\frac{\Delta t}{E_{KP}} = \frac{P_{OCM}}{RT}$; звідси $\Delta t = \frac{P_{OCM} \cdot E_{KP}}{RT}$

$$\Delta t = \frac{7,65 \cdot 1,86}{0,082 \cdot (273 + 37)} = 0,56.$$

Відповідь: 0,56.

5. Обчислити молярну концентрацію розчину NaCl, який замерзає за температури - 0,56⁰С.

$t_{ЗАМ} = -0,56^0\text{C};$ NaCl;	1) $t_{ЗАМ} = 0^0 - \Delta t$; 2) Знаходимо Δt розчину NaCl:
<hr style="width: 100%;"/> $C(\text{NaCl}) = ?$	$\Delta t = 0^0 - t_{ЗАМ} = 0^0 - (-0,56) = 0,56.$ 3) Враховуючи, що NaCl електроліт: $\Delta t_{ЕЛ.} = i \cdot E_{KP} \cdot C$ $i = 1 + \alpha(v-1) = 1 + 1(2-1) = 2;$ $C = \frac{\Delta t}{E_{KP} \cdot i} = \frac{0,56}{1,86 \cdot 2} = 0,15 \text{ моль/л.}$

Відповідь: 0,15 моль/л.

б) Обчислити осмотичний тиск сечі, якщо депресія її 1,3 – 2,0.

$\Delta t_{ЗАМ} = 1,3 - 2,0;$ сечі;	1) Осмотичний тиск обчислюють за формулою: $P_{OCM} = CRT$; для цього треба знати C;
$P_{OCM} - ?$	2) Концентрацію сечі C можна обчислити використовуючи формулу: $\Delta t_{ЗАМ} = KC$, звідси: $C = \frac{\Delta t}{K}$,

де K – криоскопічна стала води і становить 1,86.

Депресія дається в межах 1,3-2,0, тому знаходимо середню величину:

$$\Delta t_{СЕР.} = \frac{1,3 + 2,0}{2} = 1,65;$$

Знаходимо концентрацію: $C = \frac{1,65}{1,86} = 0,88 \text{ моль/л.}$

3) Знаходимо $P_{OCM} = 0,88 \cdot 0,082 \cdot (273 + 37) = 22,36 \text{ атм.}$

Задачі для самостійного розв'язання

- 1) За якої температури замерзає кров людини? (Зробити відповідні розрахунки). (відповідь: - 0,56⁰)
- 2) Обчислити депресію розчину неелектроліту, якщо його осмотичний тиск за 0⁰С становить 4,56атм. (відповідь: 0,38)
- 3) Обчислити осмотичну концентрацію крові жаби, якщо температура замерзання крові її - 0,41⁰С. (відповідь: 0,22 моль/л)
- 4) Чи ізотонічні два розчини, якщо депресія одного 0,31, а осмотичний тиск іншого за температури 37⁰С становить 4,2атм. (відповідь: ізотонічні)
- 5) За якої температури замерзає 3%-ний розчин етанолу у воді?

- (відповідь: $-1,39^{\circ}$)
- б) Осмотичний тиск сечі за 0°C становить $2,23\text{атм}$. Обчислити депресію сечі.
(відповідь: $0,186$)

Задачі підвищеної складності

1. Обчислити ступінь дисоціації хлороцтової кислоти CH_2ClCOOH в розчині, що містить в 100г води 1г кислоти. Депресія цього розчину $0,218$.
(відповідь: $\alpha = 0,11$)
2. Депресія розчину неелектроліту, який містить $29,5\text{г}$ речовини у 100г води, становить $1,6$. Обчислити молярну масу цієї речовини.
(відповідь: 342)
3. Депресія розчину $0,9\text{г}$ сечовини у 10г води становить $2,79$, Визначити молярну масу сечовини.
(відповідь: 60)
4. Чи відрізняються температури замерзання 1М розчину NaCl та 1М розчину глюкози. (Зробити відповідні розрахунки).
(відповідь: розчин NaCl замерзає за нижчої температури).
3. За якої температури замерзає розчин, який містить 1г нітробензолу $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ в 10г бензолу, якщо чистий бензол замерзає за температури $5,5^{\circ}$. Молярна депресія бензолу $5,1$.
(відповідь: $1,4^{\circ}$)
4. Депресія розчину неелектроліту, що містить $29,5\text{г}$ речовини в 100г води, становить $1,6$. Обчислити молярну масу речовини.
(відповідь: 342)
5. Депресія крові в нормі становить $0,56$. Якщо депресія в патологічних випадках становитиме $0,8-1,0$, то це говорить про осмотичну гіпертонію чи гіпотонію крові?
(відповідь: $12,2\text{атм}$)
8. Яке значення для осмотичного тиску крові має виділення сечі, депресія якої $1,3-2,0$? (Зробити відповідні розрахунки).
(відповідь: $P_{\text{осм. крові зменшиться}}$)