

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

## **РОЗЧИНИ**

**Методичні рекомендації та завдання**

до самостійного вивчення дисципліни «Хімія»  
студентами всіх напрямів підготовки

Дніпропетровськ  
2014



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



**ГЕОЛОГОРОЗВІДУВАЛЬНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**  
*Кафедра хімії*

## **РОЗЧИНИ**

**Методичні рекомендації та завдання**

до самостійного вивчення дисципліни «Хімія»  
студентами всіх напрямів підготовки

Дніпропетровськ  
НГУ  
2014

**Єгоров П.О.**

Розчини. Методичні рекомендації та завдання до самостійного вивчення дисципліни «Хімія» студентами всіх напрямів підготовки / П.О. Єгоров, В.Д. Мешко, О.Б. Нетяга, О.І. Темченко; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д. : НГУ, 2014. – 20 с.

Автори:

П.О. Єгоров, проф., канд. хім. наук (розд. 1);

В.Д. Мешко, доц., канд. хім. наук (розд. 2);

О.Б. Нетяга, старш. викл. (розд. 3);

О.І. Темченко, доц., канд. техн. наук (розд. 4).

Затверджено методичною комісією з напряму підготовки 6.040103 Геологія (протокол № 4 від 10.06.2014) за поданням кафедри хімії (протокол № 10 від 02.06.2014).

Розглянуто теоретичні положення розділу хімії «Розчини», наведено приклади розв'язування типових задач з метою закріплення матеріалу, подано задачі для самостійного розв'язування.

Відповідальний за випуск завідувач кафедри хімії, канд. хім. наук, проф. П.О. Єгоров.

## ВСТУП

Розчини мають велике значення в житті й практичній діяльності людини. Наприклад, природна вода як складна багатоконпонентна система містить розчинені в ній органічні та неорганічні речовини.

Відомо, що вода відіграє важливу роль у різноманітних геологічних процесах.

Розчини широко застосовуються при добуванні, збагаченні й переробці корисних копалин.

### Студенти повинні знати:

1. Визначення таких понять: дисперсна фаза; дисперсійне середовище; істинний розчин; процентна, молярна, моляльна, нормальна концентрації і титр розчину.
2. Закони Рауля й Вант-Гоффа.

### Необхідно також уміти:

1. Обчислювати масу та об'єм розчинів і компонентів для приготування їх потрібної кількості й певної концентрації.
2. Робити перерахунок концентрації розчину.
3. Виконувати потрібні обчислення, керуючись законами Рауля і Вант-Гоффа.

## 1. ПРИГОТУВАННЯ РОЗЧИНІВ

### 1.1 Загальні поняття

Для розв'язування задач даного розділу необхідно чітко знати відповіді на такі питання:

1. Що таке розчин?
2. Яким чином визначають поняття розчинника й розчиненої речовини?
3. Яка величина характеризує склад розчину?
4. У чому полягає поняття процентної концентрації розчину?
5. Як можна визначити поняття молярної концентрації розчину?
6. Чим відрізняється молярна концентрація розчинів від моляльної?
7. Що являє собою титр розчину?

Тільки після повного засвоєння всіх перелічених у питаннях понять можна розпочати розв'язування задач.

Охарактеризуємо основні засади теорії розчинів. Систему з двох (або більше) речовин, у якій одну (або декілька) з них подрібнено й розподілено в іншій, називають **дисперсною**. Речовини, що утворюють у дисперсній системі суцільну фазу, називаються **дисперсійним середовищем**, а розподілені в середовищі – **дисперсною фазою**. Якщо дисперсійне середовище являє собою рідину, то його називають **розчинником**, а дисперсну фазу – **розчиненою речовиною**. Наприклад, розчин цукру у воді включає розчинник (дисперсійне середовище) – воду, і розчинену речовину (дисперсну фазу) – цукор.

Однорідні гомогенні системи називаються **істинними розчинами**, а здебільшого, просто **розчинами**. Ступінь подрібнення розчиненої речовини в справжньому (істинному) розчині буває молекулярним чи іонним, тобто лінійні розміри часток не перевищують розмірів окремих молекул або іонів. Склад розчину характеризують його концентрацією.

**Концентрація розчину** являє собою вміст відповідної кількості (г, моль, екв) розчиненої речовини в певній масовій чи об'ємній кількості розчину (іноді в кількості розчинника). Існують різноманітні способи вираження концентрації розчинів, найважливіші серед яких:

- процентна концентрація  $C_p$ ;
- молярна концентрація  $C_m$ ;
- нормальна концентрація  $C_n (C_N)$ ;
- моляльна концентрація  $C_g$ ;
- титр  $T$ .

Перш ніж розглядати різні способи вираження складу розчинів, уведемо такі позначення:

$m_{p-ну}$  – маса розчину, г;

$m_{p-ка}$  – маса розчинника, г;

$m_{p-ни}$  – маса розчиненої речовини, г;

$M$  – молярна маса розчиненої речовини, г/моль;

$m_e$  – еквівалентна маса розчиненої речовини, г/екв;

$n_m$  – кількість молів розчиненої речовини, моль;

$n_e$  – кількість еквівалентів розчиненої речовини, екв.

$\rho$  – густина розчину, г/мл;

$V$  – об'єм розчину, л або мл.

**Процентна концентрація** ( $C_p$ ) показує, скільки грамів розчиненої речовини перебуває в 100 г розчину або скільки процентів від маси розчину припадає на частку розчиненої речовини. Наприклад, такий запис:

$$C_p = 3 \% \text{ NaCl},$$

означає, що 3 г NaCl міститься в 100 г розчину.

**Молярна концентрація** ( $C_m$ ) показує кількість молів розчиненої речовини в 1 л розчину.

Наприклад, такий запис:

$$C_m = 0,75 \text{ моль/л } K_2SO_4,$$

означає, що 0,75 моль  $K_2SO_4$  перебуває в 1 л (1000 мл) розчину.

Молярну концентрацію розчину можна записати двома способами. Наприклад,  $C_m = 3 \text{ моль/л } Na_2SO_4$  або  $C_m = 3M \text{ Na}_2SO_4$ . Останній запис позначає **молярність** розчину і показує, що в 1 л розчину містяться 3 молі  $Na_2SO_4$ .

**Нормальна концентрація** ( $C_H$ ) дорівнює кількості еквівалентів розчиненої речовини, що міститься в 1 л розчину. Наприклад, запис:

$$C_H = 0,36 \text{ екв/л } H_2SO_4,$$

означає, що 0,36 екв  $H_2SO_4$  вміщується в 1 л (1000 мл) розчину.

Нормальну концентрацію розчину також можна записати двома способами.

Наприклад,  $C_H = 0,58$  екв/л  $NaNO_3$  або  $C_H = 0,58$  н  $NaNO_3$ . Останній запис означає **нормальність** розчину, тобто 0,58 екв  $NaNO_3$  міститься в його 1 л.

**Молярна концентрація** ( $C_g$ ) розчину дорівнює кількості молів речовини, розчиненої в 1 кг (1000 г) розчинника. Від молярної концентрації молярна відрізняється тим, що перша розраховується на об'єм розчину (1 л), а друга – на масу розчинника (1000 г).

**Увага!** Молярна концентрація – єдиний спосіб вираження складу розчину по відношенню до чистого розчинника.

Наприклад, 568 г  $Na_2SO_4$  розчинено в 2 л води. Обчислити молярну концентрацію розчину, а саме:

$V(H_2O) = 2 \text{ л} = 2000 \text{ мл}$ $m(Na_2SO_4) = 568 \text{ г}$ $\rho(H_2O) = 1 \text{ г/мл};$  $C_g = ?$	$m(H_2O) = \rho \cdot V = 2000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 2000 \text{ г} = 2 \text{ кг};$ $568 \text{ г } Na_2SO_4 - 2000 \text{ г } H_2O$ $m_1(Na_2SO_4) - 1000 \text{ г } H_2O$ $m_1(Na_2SO_4) = \frac{568 \text{ г} \cdot 1000 \text{ г}}{2000 \text{ г}} = 284 \text{ г}$  $M(Na_2SO_4) = 142 \text{ г/моль};$  $n_M = 284 \text{ г} : 142 \text{ г/моль} = 2 \text{ моль}.$
---	--

Отже,  $C_g = 2 \text{ моль/1 кг } H_2O \text{ } Na_2SO_4.$

**Титр** ( $T$ ) розчину показує, скільки грамів розчиненої речовини міститься в 1 мл розчину.

Наприклад:  $T(Na_2SO_4) = 0,0021 \text{ г/мл}$ . Це означає, що в 1 мл розчину перебуває 0,0021 г  $Na_2SO_4$ .

У розв'язуванні задач керуються такими формулами:

$$m_{\text{р-ну}} = m_{\text{р-ни}} + m_{\text{р-ка}};$$

$$m_{\text{р-ну}} = V_{\text{р-ну}} \rho_{\text{р-ну}};$$

$$m_{\text{р-ни}} = n_M M \quad \text{або} \quad m_{\text{р-ни}} = n_e \cdot m_e.$$

## 1.2 Приклади розв'язування типових задач

*Приклад 1.* Розрахувати процентну концентрацію розчину, отриманого при змішуванні 280 г води і 40 г цукру.

Щоб визначити процентну концентрацію, необхідно знати масу речовини та масу розчину, в якому вона міститься, тобто

$$m_{\text{р-ну}} = m_{\text{р-р-ни}} + m_{\text{р-ка}};$$

$$m_{\text{р-ну}} = 40 \text{ г} + 280 \text{ г} = 320 \text{ г}, \quad m = 40 \text{ г}.$$

Скориставшись відомими значеннями кількості розчину й розчиненої речовини складаємо пропорцію, а саме:

$$\begin{array}{ll} 40 \text{ г цукру міститься} & \text{у } 320 \text{ г розчину} \\ m \text{ г цукру} & - \text{ у } 100 \text{ г розчину.} \end{array}$$

Тоді

$$m = \frac{40 \text{ г} \cdot 100 \text{ г}}{320 \text{ г}} = 12,5 \text{ г}.$$

Отже,  $C_p = 12,5 \%$  цукру.

Цю задачу можна розв'язати по-іншому, якщо застосувати другий варіант визначення процентної концентрації, тобто обчислити частку від маси всього розчину, яка припадає на розчинену речовину. У цьому випадку масу розчину беремо за 100 %, тоді процентний вміст речовини в розчині розраховуємо таким чином:

$$C_p = \frac{40 \text{ г} \cdot 100 \%}{320 \text{ г}} = 12,5 \% \text{ цукру}.$$

*Приклад 2.* Скільки грамів сульфату натрію потрібно для приготування 5 л 8%-ного розчину, густина якого дорівнює 1,075 г/мл?

Для розв'язування задачі потрібно знати масу розчину, а також кількість розчиненої речовини, їх можна визначити, якщо відома процентна концентрація. Але в умові задачі кількість розчину подана в одиницях об'єму, а не в одиницях маси. Для визначення шуканої величини використовуємо таке співвідношення:  $m_{\text{р-ну}} = \rho \cdot V$ . При цьому необхідно дотримуватися однієї умови: об'єм і густина розчину мають бути виражені в одній системі одиниць. Якщо густину розчину подано в г/мл, то його об'єм потрібно виражати також у мл, тобто

$$V = 5 \text{ л} = 5000 \text{ мл}$$

звідки

$$m_{\text{р-ну}} = 5000 \text{ мл} \cdot 1,075 \text{ г/мл} = 5375 \text{ г}.$$



Маса розчиненої речовини становить 8 % від маси всього розчину, тоді

$$m_{\text{р-ни}} = \frac{5375 \text{ г} \cdot 8 \%}{100 \%} = 430 \text{ г}.$$

Отже, для приготування 5 л 8%-ного розчину потрібно взяти 430 г  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

*Приклад 3.* Яку кількість нітрату натрію треба взяти для приготування 300 мл 0,2 М розчину?

*Розв'язування.* Молярна концентрація означає, що в 1 л розчину міститься 0,2 моль  $\text{NaNO}_3$ . Для того, щоб розрахувати масу  $\text{NaNO}_3$  в грамах, потрібно спочатку обчислити його молярну масу, тобто

$$M(\text{NaNO}_3) = 23 + 14 + 48 = 85 \text{ г/моль}.$$

Таким чином, 1 моль  $\text{NaNO}_3$  містить 85 г речовини  
0,2 моль  $\text{NaNO}_3$  містить  $m'_{\text{р-ни}}$

Отже,

$$m'_{\text{р-ни}} = \frac{0,2 \text{ моль} \cdot 85 \text{ г}}{1,0 \text{ моль}} = 17 \text{ г}.$$

Як бачимо, в 1 л розчину міститься 17 г  $\text{NaNO}_3$ . Кількість  $\text{NaNO}_3$  в даному об'ємі розчину (300 мл) знайдено за такою пропорцією:

$$\begin{array}{l} 1000 \text{ мл вміщує } 17 \text{ г } \text{NaNO}_3 \\ 300 \text{ мл} \quad \quad \quad - \quad \quad m_{\text{р-ни}} \end{array}$$

Тоді  $m_{\text{р-ни}} = 300 \text{ мл} \cdot 17 \text{ г} / 1000 \text{ мл} = 5,1 \text{ г}.$

Відповідь: Для приготування 300 мл 0,2 М розчину  $\text{NaNO}_3$  потрібно його взяти 5,1 г.

*Приклад 4.* До 500 мл 32 %-ного розчину нітратної кислоти, густина якого дорівнює 1,2 г/мл, додали 1 л води. Розрахувати процентну концентрацію одержаного розчину.

*Розв'язування.* Маса одержаного розчину дорівнює сумі мас первинного розчину й доданої води. Розраховуємо названі параметри в такій послідовності:

Маса первинного розчину

$$m_{\text{р-ну}} = 500 \text{ мл} \cdot 1,2 \text{ г / мл} = 600 \text{ г}.$$

Маса води

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г / мл} = 1000 \text{ г}.$$

Маса одержаного розчину

$$m_{\text{р-ну}} = 600 \text{ г} + 1000 \text{ г} = 1600 \text{ г}.$$

Далі виконуємо обчислення з огляду на те, що маса розчиненої речовини становить 32 % від маси первинного розчину, а саме:

$$m_{\text{р-ни}} = \frac{600 \text{ г} \cdot 32 \%}{100 \%} = 192 \text{ г}.$$

Знаходимо процентну концентрацію одержаного розчину з такої пропорції:

$$\begin{array}{l} 192 \text{ г HNO}_3 \text{ міститься в } 1600 \text{ г розчину} \\ m \text{ г HNO}_3 \text{ - у } 100 \text{ г розчину} \end{array}$$

Тепер  $m(\text{HNO}_3) = \frac{192 \text{ г} \cdot 100 \text{ г}}{1600 \text{ г}} = 12 \text{ г}$ , отже  $C_p = 12 \% \text{ HNO}_3$ .

*Приклад 5.* До якого об'єму потрібно розбавити 500 мл 20%-ного розчину хлориду натрію (густина 1,152 г/мл), щоб одержати 4,5%-ний розчин густиною 1,029 г/мл?

*Розв'язування.* Для початку потрібно знайти масу NaCl, що міститься в первинному розчині.

Попередньо обчислимо масу цього розчину, тобто

$$m_{\text{р-ну}} = \rho \cdot V = 1,152 \text{ г/мл} \cdot 500 \text{ мл} = 576 \text{ г}.$$

Далі складаємо таку пропорцію:

$$\begin{array}{l} \text{у } 100 \text{ г розчину міститься } 20 \text{ г NaCl;} \\ \text{у } 576 \text{ г розчину - } m \text{ г NaCl.} \end{array}$$

Звідси  $m(\text{NaCl}) = \frac{576 \text{ г} \cdot 20 \text{ г}}{100 \text{ г}} = 115,2 \text{ г}$ .

Знаючи кількість розчиненої речовини (115,2 г NaCl) і  $C_p$ , одержаного розчину, можна розрахувати його масу, а саме:

$$\begin{array}{l} 4,5 \text{ г NaCl міститься в } 100 \text{ г розчину} \\ 115,2 \text{ г NaCl - у } m_{\text{р-ну}}. \end{array}$$

Тепер  $m_{\text{р-ну}} = \frac{115,2 \text{ г} \cdot 100 \text{ г}}{4,5 \text{ г}} = 2560 \text{ г}$ .

Об'єм одержуваного розчину знаходимо за таким співвідношенням:

$$V = \frac{m_{\text{р-ну}}}{\rho} = \frac{2560 \text{ г}}{1,029 \text{ г/мл}} = 2488 \text{ мл}.$$

Відповідь: Первинний розчин потрібно розбавити дистильованою водою до об'єму 2488 мл.

*Приклад 6.* Скільки мілілітрів 2 н розчину сульфатної кислоти потрібно для приготування 500 мл 0,5 н розчину?

*Розв'язування.* При розбавленні розчину кількість розчиненої речовини, що виражена в будь-яких одиницях (грамах, моль, еквівалентах), залишається постійною. У даному випадку йдеться про кількість еквівалентів, тобто умовою передбачено нормальні концентрації первинного й одержаного розчинів. Кількість еквівалентів дорівнює добутку нормальної концентрації та об'єму розчину (у літрах), а саме

$$n_e = C_n \cdot V_{\text{р-ну}}; n_{e1} = n_{e2}.$$

Отже, 
$$C_{n1} \cdot V_1 = C_{n2} \cdot V_2.$$

Підставимо в це співвідношення всі задані умовами задачі величини, тобто

$$2 \text{ екв/л} \cdot V_1 = 0,5 \text{ екв/л} \cdot 0,5 \text{ л.}$$

Звідси об'єм первинного розчину 
$$V_1 = \frac{0,5 \text{ екв/л} \cdot 0,5 \text{ л}}{2 \text{ екв/л}} = 0,125 \text{ л.}$$

## 2. ПЕРЕРАХУНОК КОНЦЕНТРАЦІЇ РОЗЧИНІВ

### 2.1. Визначення молярної та нормальної концентрації за відомим процентним вмістом речовин у розчині

Процентна концентрація показує кількість грамів розчиненої речовини в 100 г розчину, а молярна й нормальна – кількість молів та еквівалентів відповідно в 1 л розчину.

У розрахунках шуканих величин користуємось такими позначеннями:

- маса розчиненої речовини в 1 л розчину ( $m_{\text{р-ни}}$ );
- маса розчину ( $m_{\text{р-ну}}$ );
- кількість молів розчиненої речовини ( $n_{\text{м,р-ни}}$ ) або кількість його еквівалентів ( $n_{\text{е,р-ни}}$ ) в 1 л розчину, що відповідає  $C_m$  і  $C_n$  розчину.

*Приклад 1.* Розрахувати  $C_m$  і  $C_n$  розчину, якщо  $C_p = 5\% \text{ Na}_2\text{SO}_4$ ;  
 $\rho_{\text{р-ну}} = 1,1 \text{ г/мл.}$

*Розв'язування 1.* Для визначення молярної концентрації розчину складаємо такі співвідношення:

$$\begin{array}{ll} 5 \text{ г Na}_2\text{SO}_4 & - \quad 100 \text{ г розчину} \\ n_m \text{ моль Na}_2\text{SO}_4 & - \quad 1000 \text{ мл розчину} \end{array}$$

Щоб скласти відповідну пропорцію, потрібно виразити кількість розчиненої речовини й розчину в одних і тих самих, бажано масових, одиницях вимірювання.

Масу  $n_m$  моль  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  визначаємо за такою формулою:  $m_{\text{р.р-ни}} = (n_m \cdot M)$  г, а маса 1000 мл розчину дорівнює  $(1000 \cdot \rho_{\text{р-ну}})$  г. Молярна маса  $M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142$  г/моль. Отже, потрібна пропорція має такий вигляд:

$$\begin{array}{rcl} 5 \text{ г } \text{Na}_2\text{SO}_4 & - & 100 \text{ г розчину} \\ (n_m \cdot M) \text{ г } \text{Na}_2\text{SO}_4 & - & (1000 \cdot \rho_{\text{р-ну}}) \text{ г розчину} \end{array}$$

Звідси 
$$n_m = \frac{5 \text{ г} \cdot (1000 \cdot 1,1) \text{ г}}{100 \text{ г} \cdot 142 \text{ г/моль}} = 0,39 \text{ моль,}$$

тобто  $C_m = 0,39$  моль/л  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

*Розв'язування 2.* З метою визначення нормальної концентрації розчину складаємо таке співвідношення:

$$\begin{array}{rcl} 5 \text{ г } \text{Na}_2\text{SO}_4 & - & 100 \text{ г розчину} \\ n_e \text{ екв } \text{Na}_2\text{SO}_4 & - & 1000 \text{ мл розчину} \end{array}$$

Для складання відповідної пропорції кількість розчиненої речовини та розчину має бути подано в одних і тих самих, бажано масових, одиницях вимірювання. Масу  $n_e$  екв  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  визначаємо за такою формулою:  $m_{\text{р.р-ни}} = (n_e \cdot m_e)$  г, а маса 1000 мл розчину дорівнює  $(1000 \cdot \rho_{\text{р-ну}})$  г. Еквівалентна маса  $m_e(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 71$  г/екв. Тепер потрібна пропорція набуває такого вигляду:

$$\begin{array}{rcl} 5 \text{ г } \text{Na}_2\text{SO}_4 & - & 100 \text{ г розчину} \\ (n_e \cdot m_e) \text{ г } \text{Na}_2\text{SO}_4 & - & (1000 \cdot \rho_{\text{р-ну}}) \text{ г розчину} \end{array}$$

Звідси 
$$n_e = \frac{5 \text{ г} \cdot (1000 \cdot 1,1) \text{ г}}{100 \text{ г} \cdot 71 \text{ г/екв}} = 0,78 \text{ екв,}$$

тоді  $C_n = 0,78$  екв/л  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ .

## 2.2. Визначення моляльної концентрації розчину за відомим значенням його процентної концентрації

Моляльну концентрацію  $C_g$  визначають як кількість молів розчиненої речовини в 1000 г розчинника. Отже, при розрахунку цієї величини необхідно спочатку перейти від маси розчину до маси розчинника. Наприклад, дається 20%-ний розчин KI. Це, з одного боку, означає, що 20 г KI перебуває в 100 г розчину, а з іншого, – що 100 г розчину містить 20 г KI і 80 г  $\text{H}_2\text{O}$ . Останнє трактування дозволяє скласти пропорцію, необхідну для розрахунку моляльної концентрації, тобто

$$\begin{array}{rcl} 20 \text{ г KI} & - & 80 \text{ г } \text{H}_2\text{O} \\ m(\text{KI}) & - & 1000 \text{ г } \text{H}_2\text{O} \end{array}$$

Звідси 
$$m(\text{KI}) = \frac{20 \text{ г} \cdot 1000 \text{ г}}{80 \text{ г}} = 250 \text{ г}.$$

Обчислюємо величину  $C_g$ , тобто кількість молів KI у 1000 г води, знаючи, що  $M(\text{KI}) = 39 + 127 = 166 \text{ г/моль}$ , а саме:

$$n(\text{KI}) = \frac{250 \text{ г}}{166 \text{ г/моль}} = 1,56 \text{ моль}.$$

Таким чином,  $C_g = 1,56 \text{ моль/1 кг H}_2\text{O}$ .

### 2.3. Обчислення титру розчину за відомим значенням його процентної концентрації

Титр прийнято розраховувати на 1 мл розчину, тому щоб перейти від процентної концентрації до обчислення титру, спершу потрібно знайти об'єм 100 г розчину, використовуючи значення його густини, а саме:

$$V = \frac{m_{\text{р-ну}}}{\rho}.$$

Після цього титр розчину можна знайти за пропорцією, тобто

$$\begin{array}{l} \frac{m_{\text{р-ну}}}{\rho} \text{ мл р-ну} \quad \text{містить } m \text{ г р. р-ни} \\ 1 \text{ мл р-ну} \quad \text{—} \quad T \text{ г р-ни.} \end{array}$$

Отже, 
$$T = \frac{m \cdot 1 \cdot \rho}{m_{\text{р-ну}}}.$$

*Приклад.* Розрахувати титр 40%-ного розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , густина якого дорівнює 1,307 г/мл.

*Розв'язування.* Об'єм 100 г розчину обчислюємо, використовуючи значення його густини, тобто

$$V_{\text{р-ну}} = \frac{100 \text{ г}}{1,307 \text{ г/мл}} = 76,7 \text{ мл}.$$

Складаємо пропорцію:

$$\begin{array}{l} 76,7 \text{ мл р-ну} \quad \text{містить } 40 \text{ г H}_2\text{SO}_4 \\ 1 \text{ мл р-ну} \quad \text{—} \quad m \text{ г р-ни} \end{array}$$

$$T = \frac{1 \cdot 40}{76,7} = 0,52 \text{ г/мл}.$$

## Задачі для самостійного розв'язування

1. Визначити процентну, молярну та моляльну концентрацію і титр 10 н розчину фосфатної кислоти, густина якого становить 1,167 г/мл.

**Відповідь:**  $C_p = 28 \% \text{H}_3\text{PO}_4$ ;  $C_m = 3,33 \text{ моль/л H}_3\text{PO}_4$ ;  $C_g = 3,975 \text{ моль/кг H}_3\text{PO}_4$ ;  $T = 0,3266 \text{ г/мл H}_3\text{PO}_4$ .

2. Акумулятор автомобіля заливають 38%-ним розчином сульфатної кислоти, густина якого дорівнює 1,286 г/мл. Який об'єм 96%-ної сульфатної кислоти і води потрібно змішати, щоб заповнити акумулятор розміром 20x20x30 см<sup>3</sup>? Об'єм пластин акумулятора до уваги не береться.

**Відповідь:** 3,32 л розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ; 9,324 л  $\text{H}_2\text{O}$ .

3. Який об'єм 2 М розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  необхідно взяти для приготування 3 л 0,25 М розчину?

**Відповідь:** 187,5 мл.

4. Визначити масу 40%-ного розчину  $\text{NaOH}$ , який потрібно додати до 600 г води, щоб утворився 10%-ний розчин.

**Відповідь:** 200 г.

5. Визначити процентну концентрацію розчину, одержаного при змішуванні 150 г 20%-ного і 250 г 40%-ного розчинів  $\text{AgNO}_3$ .

**Відповідь:** 32,5 %  $\text{AgNO}_3$ .

6. Який об'єм 96%-ного розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , густина якого дорівнює 1,84 г/мл, потрібно взяти для приготування 1 л 0,25 н. розчину кислоти?

**Відповідь:** 6,9 мл.

## 3. ВЛАСТИВОСТІ РОЗЧИНІВ НЕЕЛЕКТРОЛІТІВ

### 3.1. Поняття про осмос та осмотичний тиск

Процес одnobічної дифузії розчинника через мембрану в розчин якої-небудь речовини називається **осмосом**.

Тиск, що утворюється в розчині внаслідок осмосу, називають **осмотичним**.

Голландський учений Я.Г. Вант-Гофф установив, що залежність осмотичного тиску розбавленого розчину неелектроліту від концентрації розчиненої в ньому речовини можна описати таким рівнянням:

$$P_{\text{осм}} = C_m RT,$$

де  $P_{\text{осм}}$  – осмотичний тиск, кПа;  $C_m$  – молярна концентрація розчину, моль/л;  $R$  – газова стала, що дорівнює 8,314 Дж/(моль·К);  $T$  – температура, К.

*Приклад.* У 200 мл розчину перебуває 12,66 г гематину. При 20 °С осмотичний тиск цього розчину дорівнює 243 кПа. Визначити молекулярну масу гематину.

*Розв'язування.* Перетворюючи рівняння Вант-Гоффа, обчислюємо молярну концентрацію розчину, а саме:

$$P_{\text{осм}} = C_{\text{м}} RT; \quad C_{\text{м}} = \frac{P_{\text{осм}}}{RT};$$

$$C_{\text{м}} = \frac{243,4 \text{ кПа}}{8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{К} (273 + 20) \text{ К}} = 0,1 \text{ моль/л.}$$

Далі після визначення молярної концентрації розчину знаходимо молярну масу розчиненої речовини, тобто

$$C_{\text{м}} = \frac{m'_{\text{р.р-ни}}}{M_{\text{р.р-ни}}}; \quad M_{\text{р.р-ни}} = \frac{m'_{\text{р.р-ни}}}{C_{\text{м}}}.$$

Подані вище співвідношення показують, що для визначення молярної маси необхідно знати масу речовини, розчиненої в 1 л розчину, яку знаходимо, скориставшись такою пропорцією:

$$\begin{array}{ccc} 12,66 \text{ г гематину міститься в 200 мл розчину} & & \\ m'_{\text{р.р-ни}} & - & \text{у 1000 мл розчину} \end{array}$$

Отже, 
$$m'_{\text{р.р-ни}} = \frac{12,66 \cdot 1000}{200} = 63,3 \text{ г.}$$

Звідси молярна маса розчиненої речовини

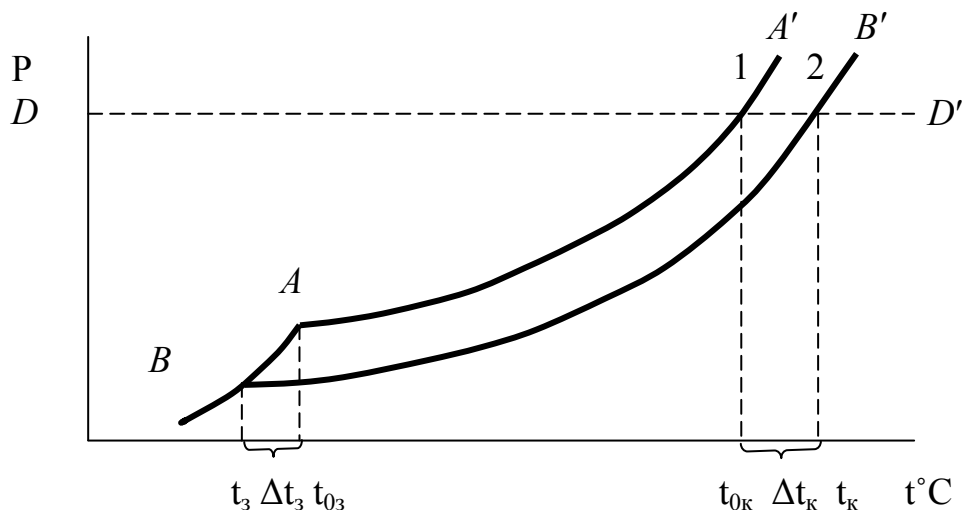
$$M_{\text{р.р-ни}} = \frac{63,3 \text{ г}}{0,1 \text{ моль}} = 633 \text{ г/моль.}$$

Молекулярна маса кількісно дорівнює молярній, тобто

$$M_{\text{г}} = 633 \text{ а.о.м.}$$

### 3.2. Підвищення температури кипіння та зниження температури замерзання розчинів неелектролітів

Відомо, що кожна рідина закипає, коли значення тиску її насиченої пари та зовнішнього тиску стають рівними.



Графічна інтерпретація закону Рауля

На рисунку пряма  $DD'$  показує значення зовнішнього тиску  $P$ . Чистий розчинник закипає в точці 1 (перетин кривої  $AA'$  тиску насиченої пари розчинника над ним з прямою зовнішнього тиску  $DD'$ ). Цій точці відповідає температура кипіння розчинника  $t_{0к}$ . Розчин закипає в точці 2 (перетин кривої  $BB'$  тиску насиченої пари розчинника над розчином з прямою зовнішнього тиску  $DD'$ ). Цій точці відповідає температура кипіння  $t_k$ . Відрізок  $\Delta t_k$  показує, на скільки градусів вища температура кипіння розчину порівняно з температурою кипіння чистого розчинника.

Французький хімік Ф.М. Рауль установив, що підвищення температури кипіння розбавлених розчинів неелектролітів  $\Delta t_k$  прямо пропорційне молярній концентрації розчину  $C_g$ , тобто

$$\Delta t_k = K_e C_g,$$

де  $K_e$  – коефіцієнт пропорційності, який має назву **ебуліоскопічної константи**, котра являє собою молярне підвищення температури кипіння розчину, який містить 1 моль розчиненої речовини в 1000 г розчинника, тоді коли,  $C_g = 1$  моль/кг;  $\Delta t_k = K_e$ .

Величина  $t_{0з}$ , що відповідає на графіку точці  $A$  (перетин кривої тиску насиченої пари над льодом з кривою тиску насиченої пари над розчинником) – це не що інше, як температура замерзання чистої води ( $0^\circ\text{C}$ ). Величина  $t_3$ , яка відповідає точці  $B$  (перетин кривої тиску насиченої пари над льодом із кривою насиченої пари над розчином), являє собою температуру замерзання розчину. Розчин замерзає завжди при температурі більш низькій, ніж температура замерзання чистого розчинника.



Таким чином, було встановлено, що зниження температури замерзання розчину  $\Delta t_3$  прямо пропорційне молярній концентрації розчину  $C_g$ , тобто

$$\Delta t_3 = K_k C_g,$$

де  $K_k$  – коефіцієнт пропорційності, який називається **кріоскопічною константою**, котра являє собою молярне зниження температури замерзання розчину ( $C_g = 1$  моль/кг,  $\Delta t_3 = K_k$ ).

Значення коефіцієнтів  $K_e$  і  $K_k$  залежать від властивостей розчинника і не залежать від властивостей розчиненої речовини.

Таким чином, вимірявши зниження температури замерзання розчину й підвищення температури його кипіння, можна визначити молярну масу розчиненої речовини.

Із цією метою описуємо молярну концентрацію таким співвідношенням:

$$C_g = \frac{m_{\text{р.р-ни}} (1 \text{ кг})}{M_{\text{р.р-ни}}}.$$

Коли відомі значення маси розчиненої речовини ( $m_{\text{р.р-ни}}$ ) і маси розчинника ( $m_{\text{р-ка}}$ ), то масу речовини, розчиненої в 1 кг розчинника ( $m_{\text{р.р-ни}} (1 \text{ кг})$ ), можемо знайти з такої пропорції:

$$\begin{array}{r} m_{\text{р.р-ни}} \quad \quad \quad - \quad m_{\text{р-ка}} \\ m_{\text{р.р-ни}} (1 \text{ кг}) \quad - \quad 1000 \text{ г} \end{array}$$

$$m_{\text{р.р-ни}} (1 \text{ кг}) = \frac{m_{\text{р.р-ни}} \cdot 1000}{m_{\text{р-ка}}}.$$

Таким чином,

$$C_g = \frac{m_{\text{р.р-ни}} \cdot 1000}{M_{\text{р.р-ни}} \cdot m_{\text{р-ка}}}.$$

Тепер закон Рауля можна сформулювати у вигляді таких співвідношень:

$$\Delta t_k = K_e \frac{m_{\text{р.р-ни}} \cdot 1000}{M_{\text{р.р-ни}} \cdot m_{\text{р-ка}}};$$

$$\Delta t_3 = K_k \frac{m_{\text{р.р-ни}} \cdot 1000}{M_{\text{р.р-ни}} \cdot m_{\text{р-ка}}}.$$

*Приклад 1.* Обчислити, при якій температурі замерзає розчин, що містить 816 г глюкози  $C_6H_{12}O_6$  у 2 л води.

*Розв'язування.* Скориставшись законом Рауля, тобто таким виразом:

$$\Delta t_3 = K_k \frac{m_{\text{р.р-ни}} \cdot 1000}{M_{\text{р.р-ни}} \cdot m_{\text{р-ка}}},$$

далі в таблиці криоскопічних та ебуліоскопічних сталих для різних розчинників знаходимо, що  $K_k(\text{H}_2\text{O}) = 1,86$  град/моль.

Тепер, знаючи, що молярна маса глюкози  $M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180$  г/моль, виконуємо обчислення в такій послідовності:

$$m_{\text{р-ка}}(\text{H}_2\text{O}) = \rho V = 2000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = 2000 \text{ г};$$

$$\Delta t_3 = 1,86 \frac{816 \cdot 1000}{180 \cdot 2000} = 4,2 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$t_3 = 0 \text{ }^\circ\text{C} - 4,2 \text{ }^\circ\text{C} = -4,2 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Таким чином, розчин замерзає при температурі  $-4,2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Приклад 2.* Додаючи в 400 г води 10 г деякої речовини, одержуємо розчин, температура замерзання якого  $t_3 = -1,45 \text{ }^\circ\text{C}$ . Обчислити молярну масу розчиненої речовини. Розв'язування здійснюємо в такій послідовності:

$$\Delta t_3 = K_k \frac{m_{\text{р.р-ни}} \cdot 1000}{M_{\text{р.р-ни}} \cdot m_{\text{р-ка}}};$$

$$M_{\text{р.р-ни}} = \frac{K_k \cdot m_{\text{р.р-ни}} \cdot 1000}{\Delta t_3 \cdot m_{\text{р-ка}}}; \quad K_k(\text{H}_2\text{O}) = 1,86;$$

$$M_{\text{р.р-ни}} = \frac{1,86 \cdot 10 \cdot 1000}{1,45 \cdot 400} = 32 \text{ г/моль}.$$

*Приклад 3.* При розчиненні 6,5 г неелектроліту в 200 г діетилового ефіру ( $K_e = 2,02$ ) температура кипіння підвищилась на  $0,453 \text{ }^\circ\text{C}$ . Визначити молярну масу розчиненої речовини.

*Розв'язування.* Цю задачу розв'язують аналогічно попередній, а саме:

$$\Delta t_k = K_e \frac{m_{\text{р.р-ни}} \cdot 1000}{M_{\text{р.р-ни}} \cdot m_{\text{р-ка}}};$$

$$M_{\text{р.р-ни}} = K_e \frac{m_{\text{р.р-ни}} \cdot 1000}{\Delta t_k \cdot m_{\text{р-ка}}};$$

$$M_{\text{р.р-ни}} = \frac{2,02 \cdot 6,5 \cdot 1000}{0,453 \cdot 420} = 145 \text{ г/моль}.$$

#### 4. ВЛАСТИВОСТІ РОЗЧИНІВ ЕЛЕКТРОЛІТІВ

Дослідження значень осмотичного тиску, температури кипіння та замерзання розчинів електролітів свідчать, що вони не підлягають законам Рауля та Вант-Гоффа. Було помічено, що отримані значення величин  $P_{\text{осм}}$ ,  $\Delta t_k$ ,  $\Delta t_3$  стосовно розчинів електролітів завжди перевищували розраховані за формулами Рауля та Вант-Гоффа. Причиною цього є зростання загальної кількості частинок у розчині внаслідок електролітичної дисоціації молекул солей, основ та кислот.

Властивості розчинів (значення осмотичного тиску, температури кипіння та замерзання) залежать тільки від кількості частинок розчиненої в них речовини і не зумовлені їх природою.

Наприклад, у розбавленому розчині NaCl кожна молекула дисоціює на два іони, тобто



Отже, число частинок у цьому розчині удвічі перевищує число розчинених там молекул. Для того, щоб закони Вант-Гоффа і Рауля можливо було використовувати для розрахунку характеристик розбавлених розчинів електролітів, значення концентрації розчиненої речовини потрібно помножити на коефіцієнт  $i$ . Він має назву **ізотонічного** або **коефіцієнта Вант-Гоффа**.

У цьому випадку формули для обчислення показників розчинів електролітів будуть мати такий вигляд:

$$P_{\text{осм}} = iC_m RT, \quad \Delta t_k = iK_e C_g, \quad \Delta t_3 = iK_k C_g.$$

Для розчинів неелектролітів ізотонічний коефіцієнт  $i = 1$ .

Такий коефіцієнт знаходять із відношення загальної кількості числа частинок  $N$  у розчині до числа розчинених там молекул  $n$ , а саме:

$$i = \frac{N}{n}.$$

Ізотонічний коефіцієнт певним чином пов'язаний зі ступенем дисоціації електроліта  $\alpha$ , тобто  $\alpha = \frac{x}{n}$ ,

де  $x$  – число молекул, які розпалися на іони;  $n$  – число розчинених молекул.

Тоді

$$\alpha = \frac{i-1}{K-1},$$

де  $K$  – кількість іонів, на які розпадається одна молекула електроліту, цей параметр набуває таких значень:



Для сильних електролітів у розбавлених розчинах  $\alpha = 1$ , тому що всі їхні молекули розпадаються на іони.

У більш концентрованих розчинах іони взаємодіють між собою, що відповідає результатам, які мали бути в разі неповної дисоціації електролітів. У зв'язку з цим почали використовувати поняття уявного ступеня дисоціації електролітів. Ця величина так само, як ступінь дисоціації слабого електроліту, позначається літерою  $\alpha$  і входить у ті самі рівняння та формули.

*Приклад 1.* Розчин, який містить 1,06 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  у 400 г води, замерзає при температурі  $-0,13^\circ\text{C}$ . Визначити уявний ступінь дисоціації солі, якщо криоскопічна константа води  $K_k(\text{H}_2\text{O}) = 1,86$  град/моль.

*Розв'язування.*  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – сіль, отже, належить до сильних електролітів. Із цієї причини для розв'язування задачі потрібно використати другий закон Рауля в такій формі:

$$\Delta t_3 = iK_k C_g = iK_k \frac{m_{\text{р.р-ни}} \cdot 1000}{M_{\text{р.р-ни}} \cdot m_{\text{р-ка}}};$$

$$i = \frac{\Delta t_3 \cdot M_{\text{р.р-ни}} \cdot m_{\text{р-ка}}}{K_k \cdot m_{\text{р.р-ни}} \cdot 1000}.$$

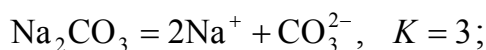
Скориставшись такими значеннями величин:

$$M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 106 \text{ г/моль}; \Delta t_3 = 0^\circ\text{C} - t_3 = 0^\circ\text{C} - (-0,13^\circ\text{C}) = 0,13^\circ\text{C}$$

обчислюємо значення ізотонічного коефіцієнта, а саме:

$$i = \frac{0,13 \cdot 106 \cdot 400}{1,86 \cdot 1,06 \cdot 1000} = 2,8.$$

Отриманий результат уводимо в розрахунок ступеня електролітичної дисоціації. Як відомо, наслідком дисоціації карбонату натрію буде утворення трьох іонів з однієї молекули, тобто

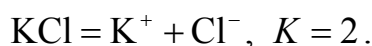


$$\alpha = \frac{i-1}{K-1} = \frac{2,8-1}{3-1} = 0,9.$$

Уявний ступінь дисоціації  $\alpha$  дорівнює 0,9, тобто 90 %.

*Приклад 2.* Уявний ступінь дисоціації  $\text{KCl}$  в 0,1 н розчині дорівнює 0,8. Яким буде осмотичний тиск цього розчину при  $17^\circ\text{C}$ ?

*Розв'язування.* Хлорид калію, будучи сіллю, являє собою сильний електроліт, а при дисоціації його однієї молекули утворюється два іони, тобто



Обчислюємо ізотонічний коефіцієнт у такій послідовності:

$$\alpha = \frac{i-1}{K-1}; \quad i = 1 + \alpha(K-1);$$

$$i = 1 + 0,8(2-1) = 1 + 0,8 = 1,8.$$

Отже, осмотичний тиск можемо визначити, скориставшись законом Вант-Гоффа, а саме:

$$P_{\text{осм}} = iC_{\text{м}}RT.$$

Для солі KCl маса еквівалента дорівнює масі 1 моля, тобто

$$C_{\text{м}} = C_{\text{н}} = 0,1 \text{ моль/л.}$$

Обчислення дають такий результат:

$$P_{\text{осм}} = 1,8 \cdot 0,1 \cdot 8,31 \cdot (273 + 17) = 434 \text{ кПа.}$$

### Задачі для самостійного розв'язування

1. Скільки грамів глюкози  $C_6H_{12}O_6$  має перебувати в 0,5 л розчину, щоб його осмотичний тиск (за однакових значень температури) був таким, як і розчину, в 1 л якого міститься 0,2 г гліцерину  $C_3H_5(OH)_3$ ?

**Відповідь:** 9,0 г.

2. У 200 мл розчину міститься 2,80 г високомолекулярної сполуки, його осмотичний тиск за температури 25 °С становить 0,70 кПа. Знайти молекулярну масу розчиненої речовини.

**Відповідь:**  $4,95 \cdot 10^4$  а.о.м.

3. Скільки грамів сахарози  $C_{12}H_{22}O_{11}$  необхідно розчинити в 100 г води, щоб виконати такі умови:

а) знизити температуру замерзання розчину на 1 °С?

б) підвищити температуру кипіння розчину на 1 °С?

**Відповідь:** а) 18,4 г; б) 65,8 г.

4. Розчин, що містить 2,1 г КОН у 250 г води, замерзає при температурі – 0,519 °С. Знайти ізотонічний коефіцієнт для цього розчину.

**Відповідь:** 1,86.

5. В однаковій кількості води розчинено в одному випадку 0,5 моль цукру, а в іншому – 0,2 моль  $CaCl_2$ . Температура замерзання цих розчинів теж однакова. Визначити уявний ступінь дисоціації  $CaCl_2$ .

**Відповідь:** 0,75.

**Єгоров Павло Олексійович**  
**Мешко Володимир Дмитрович**  
**Нетяга Ольга Борисівна**  
**Темченко Ольга Іванівна**

## **РОЗЧИНИ**

**Методичні рекомендації та завдання**  
до самостійного вивчення дисципліни «Хімія»  
студентами всіх напрямів підготовки

Редактор О.Н. Ільченко

Підп. до друку 02.07.2014. Формат 30x42/4.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,2.  
Обл.-вид. арк. 1,5. Тираж 50 пр. Зам. №

ДВНЗ «Національний гірничий університет»  
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.