

**Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**



**АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
до самостійного розв'язування задач з дисципліни  
студентами спеціальності 161  
**Хімічні технології та інженерія**

Дніпро  
2020

**Міністерство освіти і науки України  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**ФАКУЛЬТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ І ТЕХНОЛОГІЙ**

*Кафедра хімії*

**АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ  
до самостійного розв'язування задач з дисципліни  
студентами спеціальності 161  
Хімічні технології та інженерія**

Дніпро  
НТУ «ДП»  
2020

## **Светкіна О.Ю.**

Методичні рекомендації до самостійного розв'язування задач з дисципліни «Аналітична хімія» студентами спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» / О.Ю. Светкіна, О.Б. Нетяга, Г.В. Тарасова; М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка» – Д.: НТУ «ДП», 2020. – 29 с.

Автори:

О.Ю. Светкіна, проф.; (Розділи 3,4)

О.Б. Нетяга, ст. викл.; (Розділи 2,4)

Г.В. Тарасова, асистент. (Розділи 1,4)

Затверджено редакційною радою (протокол № 9 від 10.09.21) за поданням методичної комісії зі спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія» (протокол №2 від 29.10.2020 р.).

Подано теоретичні відомості з основних розділів дисципліни «Аналітична хімія», наведено приклади виконання типових розрахунків у гравіметричному й титриметричному методах аналізу та задачі для самостійного розв'язку. Рекомендації призначаються для студентів спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія»

Відповідальна за випуск завідувач кафедри хімії, проф. О.Ю. Светкіна

# 1. ОДИНИЦІ ВИМІРУ

## 1.1. Атомна одиниця маси

Для виміру маси окремих або невеликого числа атомів і молекул використовується **атомна одиниця маси** (а.о.м.), що являє собою 1/12 маси атома карбону ізотопу  $^{12}\text{C}$ .

Існує таке співвідношення між атомною одиницею маси (а.о.м.) і грамом:

$$1\text{г} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ а.о.м.}$$

**Відносною атомною масою** елемента  $A_r$  називають відношення маси одного атома цього елемента  $m_a$  до маси 1 а.о.м., тобто

$$A_r = \frac{m_a}{m_{\text{а.о.м.}}}$$

Отже, відносна атомна маса виражається в а.о.м., відповідно маса атома – у грамах, а саме:

$$m_a = A_r \cdot m_{\text{а.о.м.}}$$

**Відносною молекулярною масою** хімічної сполуки  $M_r$  називають відношення маси однієї молекули даної сполуки  $m_m$  до маси 1 а.о.м., тобто

$$M_r = \frac{m_m}{m_{\text{а.о.м.}}}$$

Таким чином відносна молекулярна маса виражається в а.о.м., відповідно маса молекули – в грамах

$$m_m = M_r \cdot m_{\text{а.о.м.}}$$

## 1.2. Моль

**Моль** – це така кількість речовини, що містить  $6,02 \cdot 10^{23}$  структурних одиниць (атомів, молекул, іонів та ін.).

Маса одного моля елемента або хімічної сполуки називається **молярною (мольною) масою**  $M$  і виражається в г/моль. Молярна маса елемента чисельно дорівнює його відносній атомній масі, тобто

$$A_r(\text{Cu}) = 63,54 \text{ а.о.м.};$$

$$M(\text{Cu}) = 63,54 \text{ г/моль}$$

Молярна маса хімічної сполуки чисельно дорівнює її відносній молекулярній масі, а саме:

$$M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ а.о.м.};$$

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

### 1.3. Еквівалент

**Еквівалентом** ( $E$ ) називають таку частину моля елемента або хімічної сполуки, що вступає у взаємодію або витісняє з хімічних сполук один моль атомів Гідрогену, або 1 еквівалент будь-якої сполуки, тобто

$$E(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1/2 \text{ моля } \text{H}_2\text{SO}_4,$$

$$E(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 1/6 \text{ моля } \text{Al}_2(\text{SO}_4)_3.$$

Маса одного еквівалента називається **молярною масою еквівалента** ( $M_e$ ) і виражається в г/моль. Наприклад,  $M_e(\text{H}_2\text{SO}_4) = 49$  г/моль.

**Молярна маса еквівалента елемента** дорівнює його молярній масі, поділеній на валентність, а саме:

$$M_e(\text{Cu}) = \frac{M(\text{Cu})}{2} = \frac{63,54}{2} = 31,77 \text{ г/моль.}$$

**Молярна маса еквівалента оксиду** дорівнює молярній масі оксиду, поділеній на добуток величин  $v \cdot a$ , де  $v$  – валентність елемента;  $a$  – кількість атомів елемента в молекулі оксиду. Наприклад:

$$M(\text{CaO}) = 56 \text{ г/моль}; \quad M_e(\text{CaO}) = \frac{M(\text{CaO})}{2 \cdot 1} = \frac{56}{2} = 28 \text{ г/моль.}$$

**Молярна маса еквівалента кислоти** дорівнює молярній масі цієї кислоти, поділеній на основність, тобто

$$M_e(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{M(\text{H}_3\text{PO}_4)}{3} = \frac{98}{3} = 32,7 \text{ г/моль.}$$

**Молярна маса еквівалента основи** дорівнює молярній масі даної основи, поділеній на її кислотність, а саме:

$$M_e(\text{CaOH})_2 = \frac{M(\text{Ca(OH)}_2)}{2} = \frac{74}{2} = 37 \text{ г/моль.}$$

**Молярна маса еквівалента солі** дорівнює молярній масі цієї солі, поділеній на добуток величин  $v \cdot a$ , де  $v$  – валентність металу;  $a$  – кількість атомів металу в молекулі солі. Наприклад:

$$M_e(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{M(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3)}{3 \cdot 2} = \frac{342}{6} = 57 \text{ г/моль.}$$

Молярна маса еквівалента Гідрогену дорівнює 1 г/моль, Оксигену – 8 г/моль. Об'єм, який займає в нормальних умовах один еквівалент водню дорівнює 11,2 л/моль, кисню – 5,6 л/моль.

Молярна маса еквівалента хімічної сполуки дорівнює сумі молярних мас еквівалентів його складових частин.

Наприклад, молярна маса еквівалента оксиду може бути обчислена двома способами. Визначимо, наприклад, молярну масу еквівалента  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

1-й спосіб обчислення:

$$M_e(\text{Al}_2\text{O}_3) = \frac{M(\text{Al}_2\text{O}_3)}{3 \cdot 2} = \frac{102}{6} = 17 \text{ г/моль.}$$

2-й спосіб обчислення:

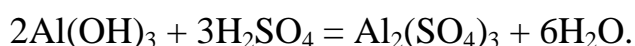
$$M_e(\text{Al}_2\text{O}_3) = M_e(\text{Al}) + M_e(\text{O}) = \frac{M(\text{Al})}{3} + \frac{M(\text{O})}{2} = \frac{27}{3} + \frac{16}{2} = 17 \text{ г/моль.}$$

**Молярна маса еквівалента окисника або відновника** дорівнює молярній масі цієї хімічної сполуки, поділеній на число електронів, що беруть участь у переході окисної форми сполуки у відновну. Наприклад, потрібно обчислити молярну масу еквівалента окисника  $\text{KMnO}_4$  в кислому середовищі. У цих умовах  $\text{Mn}^{+7}$  приймає 5 електронів і переходить в  $\text{Mn}^{+2}$ , тобто

$$M_e(\text{KMnO}_4) = \frac{M(\text{KMnO}_4)}{5} = \frac{158}{5} = 31,6 \text{ г/моль.}$$

Для розрахунків в аналітичній хімії широко використовується **закон еквівалентів**, який формулюється таким чином: *маси речовин, що вступають у реакцію, відносяться одна до одної, як їх молярні маси еквівалентів.*

Розглянемо, наприклад таку реакцію:



Закон еквівалентів для цієї реакції можна записати в такий спосіб:

$$\frac{m(\text{Al}(\text{OH})_3)}{m(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{M_e(\text{Al}(\text{OH})_3)}{M_e(\text{H}_2\text{SO}_4)}.$$

Закон еквівалентів формулюється ще й так: кількості еквівалентів речовин, що вступили в реакцію, рівні між собою.

У вищенаведеній реакції кількість еквівалентів ( $n_e$ ) алюміній гідроксиду, яка вступила у реакцію, дорівнює кількості еквівалентів сульфатної кислоти, що прореагувала, тобто

$$n_e(\text{Al}(\text{OH})_3) = n_e(\text{H}_2\text{SO}_4).$$

Маса речовини дорівнює молярній масі еквівалента, помноженій на кількість еквівалентів, а саме:

$$\begin{aligned} m(\text{Al}(\text{OH})_3) &= M_e(\text{Al}(\text{OH})_3) \cdot n_e(\text{Al}(\text{OH})_3); \\ m(\text{H}_2\text{SO}_4) &= M_e(\text{H}_2\text{SO}_4) \cdot n_e(\text{H}_2\text{SO}_4). \end{aligned}$$

### ЗАВДАННЯ

1. Скільки молів та еквівалентів натрій хлориду міститься в 10 г  $\text{NaCl}$  ?
2. Скільки молів та еквівалентів міститься в 5 г  $\text{Cu}$  ?
3. Скільки атомних одиниць маси міститься в 1 г  $\text{Zn}$  ?
4. Визначити масу двох еквівалентів  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .
5. Яка кількість молей міститься в 5 еквівалентах  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ?
6. Скільки молів, грамів та атомних одиниць маси міститься в одному еквіваленті Оксигену?
7. Скільки еквівалентів міститься в 15 г окисника  $\text{KMnO}_4$ ?

8. Скільки еквівалентів міститься в 11,2 л SO<sub>2</sub> за нормальних умов?
9. Скільки молей CuSO<sub>4</sub> міститься в 10 еквівалентах солі?
10. Скільки атомних одиниць маси міститься в одному молі CaO?

## 2. СТЕХІОМЕТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

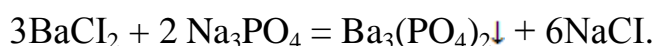
В основі аналітичних розрахунків лежать рівняння реакцій, що характеризують одночасно якісні показники реагуючих речовин і кількісні співвідношення між ними.

Кількісні співвідношення являють собою сталі величини, бо вони дорівнюють відношенню молярних мас, помножених на коефіцієнти в рівнянні реакції.

Наприклад, які б кількості BaCl<sub>2</sub> і Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> не брали участь у реакції, співвідношення між кількістю BaCl<sub>2</sub>, що вступила в реакції, і кількістю Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, що прореагувала з BaCl<sub>2</sub>, та кількостями Ba<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> і NaCl, що утворилися внаслідок реакції, залишається постійним. Отже, якщо існує надлишок однієї з речовин, то його маса практично не змінюється.

Кількісні співвідношення речовин, обчислені за рівнянням реакції, називають **стехіометричними кількостями**, а розрахунки за рівнянням реакції – **стехіометричними розрахунками**. Розрахунки кількостей речовин, що беруть участь у реакції, можуть здійснюватися з використанням закону еквівалентів.

Для прикладу в табл.1 наводимо кількісні співвідношення речовин, виражені в різних одиницях вимірів, для такої реакції:



Таблиця 1

Хім. сполуки Одиниці виміру	BaCl <sub>2</sub>	Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ba <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	NaCl
Моль	3	2	1	6
Грам (обчислено за молярними масами)	3·M(BaCl <sub>2</sub> ) 3·208	2·M(Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) 2·164	1·M(Ba <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ) 602	6·M(NaCl) 6·58,5
Еквівалент	1	1	1	1
Грам (обчислено за молярними масами еквівалентів)	M <sub>e</sub> (BaCl <sub>2</sub> ) 104	M <sub>e</sub> (Na <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> ) 54,7	M <sub>e</sub> (Ba <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> ) 101	M <sub>e</sub> (NaCl) 58,5

### Приклад 1

Скільки грамів  $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$  утвориться при осадженні 2г  $\text{BaCl}_2$  надлишком  $\text{Na}_3\text{PO}_4$  ?

1-й спосіб розрахунку:

$$M(\text{BaCl}_2) = 208 \text{ г/моль}; \quad M(\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2) = 602 \text{ г/моль}.$$

Із 3 молей  $\text{BaCl}_2$  утвориться моль  $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$ , отже,

$$3 \cdot 208 \text{ г BaCl}_2 - 602 \text{ г Ba}_3(\text{PO}_4)_2;$$

$$2 \text{ г BaCl}_2 - m \text{ г Ba}_3(\text{PO}_4)_2;$$

$$m(\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2) = \frac{2 \cdot 602}{3 \cdot 208} = 1,93 \text{ г}.$$

2-й спосіб розрахунку:

$$M_e(\text{BaCl}_2) = 104,1 \text{ г/моль}; \quad M_e(\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2) = 100 \text{ г/моль};$$

$$104,1 \text{ г BaCl}_2 - 100 \text{ г Ba}_3(\text{PO}_4)_2;$$

$$2 \text{ г BaCl}_2 - m, \text{ г Ba}_3(\text{PO}_4)_2;$$

$$m(\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2) = \frac{2 \cdot 100}{104,1} = 1,93 \text{ г}.$$

Другий метод розрахунку зручніший, оскільки не виникає необхідності складати рівняння реакції, а також потреби робити припущення, яким реагентом велось осадження. Тому в аналітичній хімії воліють використовувати цей спосіб розрахунку, тобто за еквівалентами.

Якщо проводяться розрахунки стосовно процесів, що складаються з кількох послідовних реакцій, то в багатьох випадках можна скоротити всі проміжні стадії, а розрахунок виконувати, використовуючи співвідношення між вихідною речовиною і кінцевим продуктом.

### Приклад 2

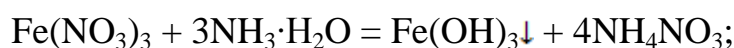
Було розчинено наважку сплаву масою 0,15 г, з цього розчину осадили залізо у вигляді  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , осад промили, висушили й прожарили. Після прожарювання виявилось, що маса отриманого  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  дорівнює 0,05 г. Визначити процентний вміст Феруму в сплаві.

У цьому випадку послідовно відбуваються три процеси:

розчинення наважки сплаву:



осадження  $\text{Fe}^{3+}$  розчином аміаку у вигляді  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  :





перетворення  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  у  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  при прожарюванні:



Отже, розрахунок відповідає цим трьом рівнянням, але в остаточному підсумку всі проміжні обчислення скорочуються й залишається тільки співвідношення між вихідною речовиною й кінцевим продуктом, а саме:

3 2 молей Fe утвориться 1 моль  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , тобто

$$2 \cdot 55,8 \text{ г} - 159,6 \text{ г};$$

$$m(\text{Fe}), \text{ г} - 0,05 \text{ г};$$

$$m(\text{Fe}) = \frac{0,05 \cdot 55,8}{159,6} = 0,035 \text{ г}.$$

Процентний вміст Феруму в сплаві визначається наступним чином:

$$0,15 \text{ г сплаву} - 100 \%;$$

$$0,035 \text{ г Fe} - \square, \%;$$

$$\omega(\text{Fe}) = \frac{0,035 \cdot 100}{0,15} = 23,4\% \text{ г}.$$

## ЗАВДАННЯ

11. Кальцій карбонат розчиняють у хлоридній кислоті. Розрахувати, скільки молей, еквівалентів і грамів  $\text{HCl}$  буде потрібно для розчинення 1 моля  $\text{CaCO}_3$ . Результати розрахунків звести в табл. 2.

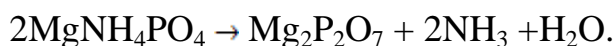
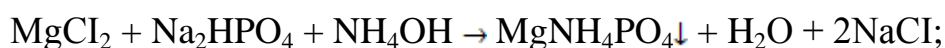
Таблиця 2

Розчинено $\text{CaCO}_3$	Витрачено $\text{HCl}$		
	молей	еквівалентів	грамів
1 моль			
1 еквівалент			
1 грам			

12. Розчин  $\text{FeSO}_4$  окиснюють розчином  $\text{KMnO}_4$ . Скільки молей, еквівалентів і грамів  $\text{KMnO}_4$  буде потрібно для окиснення 1 моля, 1 еквівалента та 1 грама  $\text{FeSO}_4$ ? Скласти таблицю, подібну до наведеної в завданні 11.

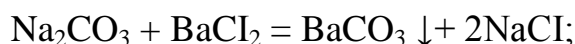
13. Скільки грамів  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$  утвориться з 1 г  $\text{MgCO}_3$  внаслідок таких реакцій:





14. Розчин  $\text{FeSO}_4$  окиснюють розчином  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  в кислому середовищі. Скільки молей та еквівалентів  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  потрібно для окиснення 10 г  $\text{FeSO}_4$ . Скласти таблицю, подібну до наведеної в завданні 11.

15. Якій об'єм  $\text{CO}_2$  при нормальних умовах утвориться з 300 г  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  унаслідок таких реакцій:

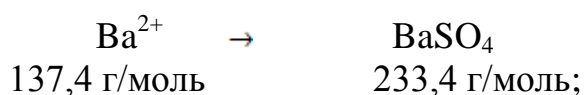


### 3. ВИКОНАННЯ ОБЧИСЛЕНЬ У ГРАВИМЕТРИЧНОМУ АНАЛІЗІ

#### 3.1. Обчислення вмісту речовини

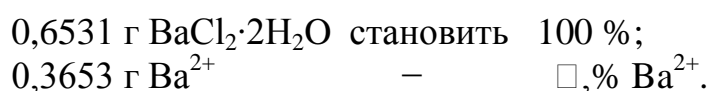
Обчислення маси й процентного вмісту визначеної речовини при гравіметричному аналізі роблять, виходячи з кількості гравіметричної форми (зваженого осаду)

**Приклад 1.** Потрібно обчислити вміст барію в розчині за масою прожареного залишку  $\text{BaSO}_4$ . Нехай маса залишку  $\text{BaSO}_4$  становила 0,6205 г. Тоді можна скласти таке співвідношення:



$$m(\text{Ba}^{2+}) = \frac{0,6206 \cdot 137,4}{233,4} = 0,3653 \text{ г.}$$

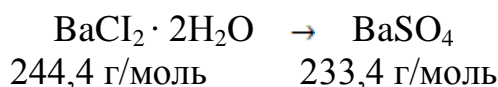
Зазвичай виникає потреба обчислити не масу того чи іншого елемента в досліджуваній речовині, а його відносний, процентний вміст. Для цього необхідно знати величину наважки аналізованої речовини. Якщо обчислена вище маса барію (0,3653 г) була отримана з наважки  $\text{BaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , масою 0,6531 г, то процентний вміст барію у вихідній солі обчислюють за такою пропорцією:



$$\omega = \frac{0,3653 \cdot 100}{0,6531} = 55,92 \% .$$

Результати гравіметричного аналізу можна виражати по-різному, наприклад, показуючи вміст окремих елементів (Ba, Fe, Cu), іонів ( $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), оксидів ( $\text{BaO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) або солей ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).

**Приклад 2.** За умовами попереднього завдання можна замість процентного вмісту  $\text{Ba}^{2+}$  обчислити процентний вміст  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  у вихідній солі (він буде нижчим від 100% через наявність домішок):



233,4 г  $\text{BaSO}_4$  утвориться з 244,4 г  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  
 0,6206 г  $\text{BaSO}_4$  - - - - -  $m$   $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;

$$m(\text{BaCl}_2) = \frac{0,6206 \cdot 244,4}{233,4} = 0,6498 \text{ г.}$$

0,6531 г вихідної солі становить 100 %;  
 0,6498 г  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  - □, %;

$$\omega = \frac{0,6498 \cdot 100}{0,6531} = 99,5 \% .$$

Це означає, що у вихідній солі міститься 99,5%  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , тоді  $(100 - 99,5) = 0,5$  %, що відповідає вмісту домішок й гігроскопічної вологи.

## ЗАВДАННЯ

16. У розчині калій хлориду, що містить іони  $\text{Cl}^-$ , хлор був осаджений у вигляді  $\text{AgCl}$ , маса якого після висушування дорівнює 0,1562 г. Обчислити масу  $\text{Cl}^-$  у цьому розчині.

17. У розчині натрій броміду осадили бром у вигляді  $\text{AgBr}$ . Після висушування маса осаду дорівнює 0,2510 г. Обчислити масу  $\text{NaBr}$  у цьому розчині.

18. У розчині ферум (III) сульфату осадили ферум аміаком у вигляді  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  й прожарили. Маса прожареного осаду  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  дорівнює 0,3288 г. Обчислити: а) ваговий вміст  $\text{Fe}^{3+}$  у розчині, б) ваговий вміст  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  у розчині.

19. У розчині залізного купоросу  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , двовалентний ферум окислили нітратною кислотою до тривалентного, потім осадили у вигляді гідроксиду й прожарили. Маса прожареного осаду  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  дорівнює 0,2662 г. Обчислити ваговий вміст у первісному розчині: а)  $\text{Fe}^{2+}$ ; б)  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .

20. Із 50 мл розчину алюміній сульфату осадили іон  $\text{SO}_4^{2-}$  у вигляді  $\text{BaSO}_4$ . Маса  $\text{BaSO}_4$  дорівнює 0,2640 г. Обчислити, скільки міститься в одному

літрі розчину: а) грамів  $\text{SO}_4^{2-}$ ; б) грамів алюміній сульфату, якщо перерахувати на кристалогідрат  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ .

21. Розчин калій йодиду обробили для осадження йоду паладій хлоридом. Осад  $\text{PdI}_2$  прожарили в потоці водню, при цьому він відновився до металевого паладію. Обчислити вміст  $\text{KI}$  у первісному розчині, якщо маса металевого паладію дорівнює 0,2345 г.

22. Осад, що містить  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , обробили сумішшю фторидної та сульфатної кислот для видалення  $\text{SiO}_2$ ; при цьому осад втратив у масі 0,2607 г. Обчислити масу силіцію в первісному осаді.

23. З наважки чавунних стружок масою 2,851 г, після відповідної обробки було отримано 0,0824 г прожареного осаду  $\text{SiO}_2$ . Обчислити процентний вміст силіцію в чавуні.

24. З наважки спеціальної сталі, яка дорівнює 1,436 г, після розчинення й відповідної обробки розчину реактивом Чугаєва осадили нікол у вигляді ніколдиметилгліоксиму. Маса висушеного осаду дорівнює 0,2136 г. Обчислити процентний вміст ніколу в аналізованій сталі (хімічна формула сполуки ніколдиметилгліоксиму  $\text{NiC}_8\text{H}_{14}\text{O}_4\text{N}_4$ ).

25. Обчислити процентний вміст  $\text{Na}_2\text{O}$  у силікаті, якщо при аналізі наважки силікату, яка дорівнює 0,6805 г, було отримано 0,1455 г натрій цинкуранілацетату в такому складі:  $\text{NaZn}(\text{UO}_2)_3 \cdot (\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_9 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

26. При аналізі наважки апатиту, яка дорівнює 0,1112 г, було отримано 0,9926 г осаду  $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{MoO}_3$ . Обчислити процентний вміст фосфору і  $\text{P}_2\text{O}_5$  у цій пробі.

27. З наважки вапняку, маса якої дорівнює 0,5210 г, після розчинення, осадження і прожарювання було отримано 0,2218 г  $\text{CaO}$  і 0,0146 г  $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ . Обчислити процентний вміст  $\text{CaCO}_3$  і  $\text{MgCO}_3$  в досліджуваній пробі. Передбачається, що кальцій і магній були у вигляді карбонатів.

28. З наважки 0,8325 г латуні, що складається тільки з купрум, стануму й цинку, при аналізі було отримано 0,6728 г  $\text{CuSCN}$  і 0,0423 г  $\text{SnO}_2$ . Обчислити процентний склад латуні.

29. У наважці калій хлориду масою 0,1341 г, забрудненого натрій хлоридом, перевірили вміст калію осадженням у вигляді  $\text{KCIO}_4$ , маса якого дорівнює 0,2206 г. Обчислити процентний вміст  $\text{KCl}$  у досліджуваному зразку калій хлориду.

30. Наважка сурм'яного блиску  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  дорівнює 0,1872 г. Після відповідної обробки весь сульфур було переведено в  $\text{SO}_4^{2-}$ , який отримали у вигляді  $\text{BaSO}_4$ , при цьому виявилось, що маса останнього дорівнює 0,3243 г. Обчислити процентний вміст  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  в пробі сурм'яного блиску.

31. З наважки алюмінієво-калієвого галуно масою 0,2690 г після відповідної обробки було отримано 0,2584 г  $\text{BaSO}_4$ . Обчислити процентний вміст  $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  в досліджуваній пробі.

32. У розчині чистого калій сульфату знайдено 0,1470 г  $\text{SO}_4^{2-}$ . У тому самому розчині визначили  $\text{K}^+$ , який осадили й зважили у вигляді  $\text{KCIO}_4$ . Обчислити масу осаду  $\text{KCIO}_4$ .

33. Аналізуючи наважку силікату масою 0,8617 г, отримали суміш хлоридів калію та натрію, маса якої становить 0,2156 г. Із цієї суміші осадили  $K^+$  у вигляді  $KClO_4$ , його маса дорівнює 0,3112 г. Обчислити процентний вміст  $K_2O$  і  $Na_2O$  у досліджуваному силікаті.

### 3.2. Обчислення емпіричних формул хімічних сполук

Емпіричною формулою сполуки називається найпростіша з можливих хімічних формул, що відповідає її процентному складу. Так, сіль купруму, що складається з 64,19 %  $Cu$  і 35,81 %  $Cl$ , може бути виражена формулами  $CuCl$ ,  $Cu_2Cl_2$ , тому що кожна із цих формул відповідає такому самому процентному складу сполуки. Однак найпростішою формулою є  $CuCl$ , яку називають емпіричною.

Для обчислення емпіричної формули діють у такий спосіб. Визначений з аналізу сполуки процентний вміст кожного з її елементів ділять на відповідну відносну атомну масу. Отримані числа відображають кількість атомів, що входять до складу молекули даної сполуки. Такі числа звичайно бувають дробовими, їх перетворюють у цілі шляхом ділення на найменше з отриманих.

**Приклад 3.** Стибій сульфід містить 72,29 %  $Sb$  і 27,63 %  $S$ . Обчислити емпіричну формулу сполуки, вводячи такі позначення:

$a(Sb)$  – кількість атомів стибіюму;  $a(S)$  – кількість атомів сульфуру. Отже,

$$a(Sb) : a(S) = \frac{72,29}{A_r(Sb)} : \frac{27,63}{A_r(S)} = \frac{72,29}{121,3} : \frac{27,63}{36,06} = 0,59 : 0,86 = \frac{0,59}{0,59} : \frac{0,86}{0,59} = 1 : 1,5 = 2 : 3$$

Таким чином, маємо емпіричну формулу сполуки –  $Sb_2S_3$ .

Якщо склад сполуки виражається процентним вмістом оксидів, то знаходять співвідношення оксидів шляхом ділення процентного вмісту кожного з них на їх відносні молекулярні маси.

**Приклад 4.** У речовині, що містить тільки магній, фосфор та кисень, унаслідок аналізу знайдено 36,23 %  $MgO$  і 63,77 %  $P_2O_5$ . Знайти емпіричну формулу цієї речовини, користуючись такими позначеннями:

$a(MgO)$  – кількість молекул  $MgO$ ,  $a(P_2O_5)$  – кількість молекул  $P_2O_5$ .

$$a(MgO) : a(P_2O_5) = \frac{36,23}{M_r(MgO)} : \frac{63,77}{M_r(P_2O_5)} = \frac{36,23}{40,32} : \frac{63,77}{142,0} = 0,90 : 0,45 = 2 : 1.$$

Таким чином склад сполуки –  $2MgO \cdot P_2O_5$ ; емпірична формула –  $Mg_2P_2O_7$ .

## ЗАВДАННЯ

34. Унаслідок аналізу солі купрум(II) встановлено, що вона містить 64,19 % Cu і 35,81 % Cl. Обчислити емпіричну формулу цієї солі.

35. Ферум(II) оксид містить 69,94 % Fe і 30,06 % O. Обчислити емпіричну формулу цього оксиду.

36. Знайти емпіричні формули оксидів мангану, що містять: а) 63,2 % Mn; б) 72,1 % Mn (решту становить кисень).

37. Обчислити формулу деякого силікату, що має такий склад (у %):

H<sub>2</sub>O.....3,04      Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.....17,23

CaO.....18,92      SiO<sub>2</sub> .....60,81

38. У цинк силікаті знайдено 58,6 % Zn. Вважаючи, що в цьому силікаті сумарний вміст ZnO і SiO<sub>2</sub> дорівнює 100 %, знайти його емпіричну формулу.

39. Аналізуючи вологу гірську породу, отримали такі значення вмісту компонентів, % : Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 18,28; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 21,53; SiO<sub>2</sub> – 53,35; CaO – 0,92; вода – 5,92. Визначити вміст компонентів у сухій породі.

### 3.3. Розрахунок наважки аналізованої речовини

Щоб виконати кількісний гравіметричний аналіз певної речовини, треба визначити оптимальну величину її наважки, яка відповідала б умовам дослідження.

Наприклад, занадто велика наважка дає велику кількість осаду, який важко промити, а прожарювання залишку може пройти не до кінця. І навпаки, занадто мала наважка приводить до відносно великих втрат осаду під час перенесення його на фільтр, промивання й т. п.

У методичних рекомендаціях до гравіметричного аналізу, як правило, мають на увазі оптимальну масу наважки або дані, за якими її можна обчислити. Обчислюють наважку приблизно, а зважування потім проводять з огляду на звичайну аналітичну точність.

**Приклад 5.** Виконуючи гравіметричний аналіз хлору у вигляді AgCl, домагаються, щоб осад важив близько 0,4 – 0,6 г. Яку наважку речовини, що містить приблизно 30 % хлору, варто взяти для аналізу?

Склавши відповідні пропорції, обчислюємо масу найменшої наважки:

$$\begin{array}{lcl} 1 \text{ моль AgCl} & \text{відповідає} & 1 \text{ моль Cl}^- \\ 143,4 \text{ г/моль} & - & 35,5 \text{ г/моль} \\ \\ 35,5 \text{ г Cl}^- & \text{міститься в} & 143,4 \text{ г AgCl}; \\ m(\text{Cl}^-), \text{ г} & - & 0,4 \text{ г AgCl}. \end{array}$$

$$m(\text{Cl}^-) = \frac{35,5 \cdot 0,4}{143,4} = 0,09 \text{ г.}$$

0,09 г  $\text{Cl}^-$  становить 30 % ;  
 $m$  наважки – 100 %.

$$m = \frac{0,09 \cdot 100}{30} = 0,3 \text{ г.}$$

Обчислюємо масу найбільшої наважки:

35,5 г  $\text{Cl}^-$  міститься в 143,4 г  $\text{AgCl}$ ;  
 $m(\text{Cl}^-)$ , г – 0,6 г  $\text{AgCl}$ .

$$m(\text{Cl}^-) = \frac{35,5 \cdot 0,6}{143,4} = 0,15 \text{ г.}$$

0,15 г  $\text{Cl}^-$  становить 30 % ;  
 $m$  наважки – 100 %.

$$m = \frac{0,15 \cdot 100}{30} = 0,5 \text{ г.}$$

## ЗАВДАННЯ

40. Для виконання гравіметричного аналізу алюмінію, що осаджується у вигляді  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , потрібно, щоб розчин перед осадженням містив близько 0,05 г алюмінію. Обчислити, яку варто взяти наважку  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  для такого дослідження.

41. Для виконання гравіметричного аналізу магнію у вигляді оксихіноляту потрібно, щоб розчин містив не більше 0,05 г  $\text{MgO}$ . Обчислити оптимальну наважку карналіту  $\text{MgCl}_2 \cdot \text{KCl} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  для такого дослідження.

42. Яку наважку  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  варто взяти для аналізу, щоб одержати не більше 0,3 г прожареного осаду  $\text{CaO}$ ?

43. Яку наважку  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$  варто взяти для аналізу, щоб після осадження кальцію і прожарювання осаду отримати від 0,3 до 0,5 г  $\text{CaO}$ ?

## 4. ВИКОНАННЯ ОБЧИСЛЕНЬ В ТИТРИМЕТРИЧНОМУ АНАЛІЗІ

### 4.1. Способи вираження концентрацій розчинів

**Процентна концентрація** – це кількість грамів розчиненої речовини, що міститься в 100 г розчину (позначається  $C_p$ ).

Наприклад, 5 % розчин  $\text{NaCl}$  означає, що в його 100 г міститься 5 г  $\text{NaCl}$ , тоді кількість води в цьому розчині  $(100 - 5) = 95$  г.

**Молярна концентрація (молярність)** виражається числом молів розчиненої речовини, що міститься в 1 літрі (1000 мл) розчину (позначається  $C_M$ ).

Наприклад, 2 М розчин NaOH означає, що в 1 л розчину міститься 2 моля NaOH.

**Нормальна концентрація (нормальність) виражається числом молів еквівалентів розчиненої речовини, що міститься в 1 л (1000 мл) розчину (позначається  $C_N$  або  $N$ ).**

Наприклад, 0,5 N розчин  $H_2SO_4$  означає, що 1 літр розчину містить 0,5 моля еквівалентів  $H_2SO_4$ .

Закон еквівалентів свідчить, що кількість еквівалентів речовин, що вступили в реакцію, завжди однакова, тому нормальність показує кількість еквівалентів не тільки речовини, розчиненої в 1 л розчину, але й будь-якої іншої речовини, що реагує з нею.

Вираження концентрації розчинів через нормальність виявляється дуже зручним, коли потрібно обчислити концентрацію речовин при реакціях між розчинами; при цьому об'єми розчинів реагуючих речовин обернено пропорціональні нормальностям, тобто

$$V(a) \cdot N(a) = V(b) \cdot N(b),$$

де  $V(a)$  і  $V(b)$  – об'єми розчинів речовин;  $N(a)$  і  $N(b)$  – нормальності розчинів  $a$  і  $b$ .

**Титр являє собою кількість грамів цієї речовини, що міститься в 1 мл розчину.**

Наприклад, такий вираз:  $T(\text{NaOH}) = 0,0052$  г/мл, означає, що в 1 мл розчину міститься 0,0052 г NaOH.

Титр можна виражати також у мг/мл:

$$T(\text{NaOH}) = 0,0052 \text{ г/мл} = 5,2 \text{ мг/мл}.$$

**Титр за досліджуваною речовиною або титр відповідності або складний титр ( $T(a/b)$ )** або – це вміст досліджуваної речовини  $b$  (у грамах), що відповідає 1 мл розчину речовини  $a$ , наприклад,

$$T(\text{NaOH/HCl}) = 0,0035 \text{ г/мл}.$$

Тобто, 1 мл розчину NaOH реагує з 0,0035 г HCl. Його також можна визначити в мг/мл наступним чином:

$$T(\text{NaOH/HCl}) = 0,0035 \text{ г/мл} = 3,5 \text{ мг/мл}.$$

#### **4.2. Обчислення вмісту речовини в розчині**

Кількість речовини, що міститься в певному об'ємі розчину, дорівнює добутку концентрації цього розчину на його об'єм (при цьому процентна концентрація розраховується залежно від маси розчину, а не від об'єму).

Отже,



$$m = C \cdot V,$$

де  $m$  – маса речовини;  $V$  – об'єм розчину;  $C$  – концентрація розчину.

Одиниці виміру кількості речовини у розчині залежать від способу вираження його концентрації. Розглянемо ці способи.

#### 4.2.1. Молярна концентрація

$$n = V \cdot C_M,$$

де  $n$  – кількість молів розчиненої речовини.

Таким чином, маса розчиненої речовини в грамах

$$m = n \cdot M.$$

**Приклад 6.** Обчислити масу NaOH, що міститься в 50 мл 0,5 М розчину. Масу розчиненої речовини визначаємо наступним чином:

$$V = 50 \text{ мл} = 0,05 \text{ л};$$

$$n(\text{NaOH}) = V \cdot C_M = 0,05 \cdot 0,5 = 0,025 \text{ моль};$$

$$M(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{NaOH}) = n \cdot M = 0,025 \cdot 40 = 1 \text{ г}.$$

#### 4.2.2. Нормальна концентрація

$$n_e = V \cdot N,$$

де  $n_e$  – кількість молів еквівалентів розчиненої речовини

$$m = n_e \cdot M_e.$$

**Приклад 7.** Обчислити масу  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , що міститься в 40 мл 0,2 N розчину. Масу розчиненої речовини визначаємо в такій послідовності:

$$V = 40 \text{ мл} = 0,04 \text{ л};$$

$$n_e(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,04 \cdot 0,2 = 0,008 \text{ еквівалентів};$$

$$M_e = 49 \text{ г/моль};$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,008 \cdot 49 = 0,392 \text{ г}.$$

#### 4.2.3. Титр розчину

$$m = V \cdot T,$$

де  $m$  – маса розчиненої речовини, г;  $V$  – об'єм розчину, мл.

**Приклад 8.** Обчислити масу NaOH, що міститься в 40 мл розчину, що має  $T(\text{NaOH}) = 0,002 \text{ г/мл}$ , а саме:

$$m(\text{NaOH}) = V \cdot T = 40 \cdot 0,002 = 0,08 \text{ г.}$$

#### 4.2.4. Титр за досліджуваною речовиною

**Приклад 9.** Обчислити масу HCl у розчині, на титрування якого витрачається 50 мл робочого розчину NaOH, у якого  $T(\text{NaOH}/\text{HCl}) = 0,0025$  г/мл:

$$m(\text{HCl}) = V \cdot T(\text{NaOH}/\text{HCl}) = 50 \cdot 0,0025 = 0,125 \text{ г.}$$

#### 4.3. Обчислення кількості речовин для приготування розчинів

Розчин з певною концентрацією реагенту можна приготувати із сухої речовини. У цьому випадку потрібно обчислити масу речовини, яка необхідна для приготування певного об'єму розчину.

**Приклад 10.** Яка маса NaOH потрібна для приготування 5 л 10 %-ного розчину NaOH ( $\rho = 1,1$  г/мл)? Процентна концентрація (масова) розраховується на 100 г розчину, тому насамперед потрібно обчислити масу 5 л розчину, а саме:

$$\begin{aligned} m &= V \cdot \rho; \\ V &= 5 \text{ л} = 5000 \text{ мл розчину}; \\ m &= 5000 \cdot 1,1 = 5500 \text{ г.} \end{aligned}$$

Складаємо пропорцію:

$$\begin{array}{l} 5 \text{ г NaOH міститься в } 100 \text{ г розчину}; \\ m \text{ г NaOH} \quad \quad \quad - \quad 5500 \text{ г розчину.} \end{array}$$

$$m(\text{NaOH}) = \frac{5500 \cdot 5}{100} = 275 \text{ г.}$$

Отже, для приготування розчину потрібно взяти 275 г NaOH, розчинити в дистильованій воді й довести об'єм розчину водою до 5 л. Отриманий розчин буде мати концентрацію, що дорівнює 5 %.

**Приклад 11.** Яку масу NaOH потрібно взяти для приготування 5 л 0,2 N. розчину? Виконуємо такі розрахунки:

$$M_e(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль};$$

$$\begin{array}{l} 1 \text{ моль еквівалентів NaOH становить } 40 \text{ г}; \\ 0,2 \text{ моля еквівалентів NaOH} \quad - \quad m_1. \end{array}$$

$$m_1 = \frac{0,2 \cdot 40}{1} = 8 \text{ г.}$$

8 г NaOH            міститься в 1 л розчину;  
*m* г NaOH            –            в 5 л розчину.

$$m(\text{NaOH}) = \frac{5 \cdot 8}{1} = 40 \text{ г.}$$

Отже, потрібно взяти 40 грамів NaOH, розчинити в дистильованій воді, довести об'єм розчину водою до 5 л. Отриманий розчин буде мати концентрацію, яка дорівнює 0,2 N.

Розчин з певною концентрацією можна також приготувати з іншого, вже готового, концентрація якого відома. У цьому випадку потрібно обчислити об'єм розчину, необхідний для приготування.

**Приклад 12.** Який об'єм 50 %-ного розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\rho = 1,4$  г/мл) потрібно взяти для приготування 10 л 0,3 N розчину?

1-й розчин:	2-й розчин:
$V = 10$ л	$V_x = ?$
0,3 N	50 %-ний

Із другого розчину потрібно приготувати перший. Маса розчиненої речовини в об'ємі  $V_x$  повинна бути такою самою, як і в 10 л 0,3 N розчину. Отже, користуючись складеними пропорціями, визначаємо цю масу:

0,3 моля еквівалента $\text{H}_2\text{SO}_4$	міститься	в 1 л розчину;
$n_e$ молів еквівалентів $\text{H}_2\text{SO}_4$	–	в 10 л розчину.

$$n_e = 0,3 \cdot 10 = 3 \text{ екв.},$$

$$M_e(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{98}{2} = 49 \text{ г/моль.}$$

1 екв.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  становить 49 г;

3 екв.  $\text{H}_2\text{SO}_4$             –            *m*.

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = 49 \cdot 3 = 147 \text{ г.}$$

Потім аналогічно визначаємо масу другого розчину, в якому міститься 147 г  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , тобто

50 г $\text{H}_2\text{SO}_4$	міститься	в 100 г розчину;
147 г $\text{H}_2\text{SO}_4$	–	в <i>m</i> г розчину.

$$m = \frac{147 \cdot 100}{50} = 294 \text{ г.}$$

Визначаємо об'єм цього розчину таким чином:

$$V = \frac{m}{\rho};$$

$$V = \frac{294}{1,4} = 210 \text{ мл.}$$

Отже, потрібно взяти 210 мл 50 %-ного розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$  і довести цей об'єм дистильованою водою до 10 л. Одержимо 10 л 0,3 N розчину.

**Приклад 13.** Скільки води потрібно додати до 1 л 2 N розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , щоб одержати 0,5 N розчин?

Кількість речовини в обох розчинах однакова, тому можна скористатися таким співвідношенням:

$$V_1 \cdot N_1 = V_2 \cdot N_2;$$

$$1 \cdot 2 = V_2 \cdot 0,5;$$

$$V_2 = \frac{2}{0,5} = 4 \text{ л.}$$

Об'єм другого розчину буде дорівнювати 4 літри. Об'єм води

$$4 \text{ л} - 1 \text{ л} = 3 \text{ л.}$$

## ЗАВДАННЯ

44. Яка маса  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  необхідна для приготування 1 л 10 %-ного розчину, якщо його густина дорівнює 1,09 г/мл. Який об'єм води потрібен для приготування цього розчину?

45. Яку масу  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  необхідно розчинити в 1 л води для отримання 10 %-ного розчину?

46. Яка маса  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  необхідна для приготування 1 л 1M розчину?

47. Яку масу  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  потрібно використати для приготування 1 л 1 N розчину?

48. Скільки грамів  $\text{KMnO}_4$  потрібно для приготування 1 л 1 N розчину, якщо він буде використаний у реакції окиснення в кислому середовищі?

49. До якого об'єму варто розвести 700 мл 0,2464 N розчину, щоб одержати 0,2000 N розчин? Скільки води необхідно додати при цьому?

50. Розчин хлоридної кислоти,  $C_p$  якого дорівнює 38,32 %, має густину 1,19 г/мл. Визначити об'єм кислоти, який потрібен для приготування 1500 мл 0,2000 N розчину.

51. Яку наважку  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$  варто взяти для аналізу, щоб на титрування в кислому середовищі було витрачено 25 мл 0,1025 N розчину  $\text{KMnO}_4$ ?

### 4.4. Обчислення й перерахунок концентрацій розчинів

Приготування розчинів пов'язане з необхідністю обчислення їхньої концентрації в одній або відразу в кількох формах (молярна, нормальна, титр,

процентна). Іноді потрібно відому концентрацію розчину (наприклад, нормальну) перерахувати на інший спосіб вираження (зокрема, на титр).

Наприклад, в 1 мл розчину вміщується  $\frac{m}{V}$  г розчиненої речовини, тоді

$$T = \frac{m}{V}.$$

Отже, в 1000 мл розчину міститься  $\frac{m}{V} \cdot 1000$  г;  $\frac{m}{V} \cdot \frac{1000}{M}$  молів і  $\frac{m}{V} \cdot \frac{1000}{M_e}$  еквівалентів розчиненої речовини. Таким чином,

$$C_M = \frac{T \cdot 1000}{M} \quad \text{або} \quad C_M = \frac{m}{V} \cdot \frac{1000}{M}; \quad (1)$$

$$N = \frac{T \cdot 1000}{M_e} \quad \text{або} \quad N = \frac{m}{V} \cdot \frac{1000}{M_e}. \quad (2)$$

Порівнюючи формули (1) і (2), бачимо, що співвідношення нормальної та молярної концентрацій дорівнює співвідношенню між молярними масами еквівалента й моля розчиненої речовини і відповідає кількості її еквівалентів в одному молі, тобто

$$\frac{M}{M_e} = \frac{N}{C_M} = n_e.$$

Розчинена речовина  $a$  може вступати в реакцію з речовиною  $b$ . Співвідношення мас  $m(a)$  і  $m(b)$  має дорівнювати співвідношенню еквівалентів, а саме:

$$\frac{m(a)}{m(b)} = \frac{M_e(a)}{M_e(b)}; \quad m(b) = \frac{m(a) \cdot M_e(b)}{M_e(a)}.$$

Звідси титр за визначуваною речовиною

$$T(a/b) = \frac{T(a) \cdot M_e(b)}{M_e(a)}.$$

Використовуючи закон еквівалентів, можна перерахувати титр  $T(a)$  або  $T(a/b)$  на будь-яку речовину  $c$ , тобто

$$T(a/c) = \frac{T(a) \cdot M_e(c)}{M_e(a)} = \frac{T(a/b) \cdot M_e(c)}{M_e(b)}.$$

**Приклад 14.** Розчиняючи 80 г NaOH, одержали 2 л розчину з густиною

1,04 г/мл. Обчислити нормальність, молярність, титр і титр за  $H_2SO_4$  отриманого розчину. Розрахунок виконуємо в такій послідовності:

$$V = 2 \text{ л} = 2000 \text{ мл};$$

$$T(NaOH) = \frac{m}{V} = \frac{80}{2000} = 0,04 \text{ г/мл.}$$

$$T(NaOH/H_2SO_4) = \frac{T(NaOH) \cdot M_e(H_2SO_4)}{M_e(NaOH)} = \frac{0,04 \cdot 49}{40} = 0,049 \text{ г/мл};$$

$$M_e(NaOH) = 40 \text{ г/моль}, \quad M_e(H_2SO_4) = 49 \text{ г/моль};$$

$$N = \frac{T(NaOH) \cdot 1000}{M_e(NaOH)} = \frac{0,04 \cdot 1000}{40} = 1 \text{ моль/л};$$

$$C_M = \frac{T(NaOH) \cdot 1000}{M(NaOH)} = \frac{0,04 \cdot 1000}{40} = 1 \text{ моль/л.}$$

#### ЗАВДАННЯ

52. Із 2,500 г  $Na_2CO_3$  приготували 500 мл розчину. Розрахувати для нього: а) нормальність, б) молярність, в) титр, г) титр за  $HCl$ .

53. Обчислити нормальність і молярність розчину  $H_2SO_4$ , титр якого дорівнює 0,005122 г/мл.

54. Обчислити нормальність розчину  $Ba(OH)_2$ , якщо  $T(Ba(OH)_2/CH_3COOH)$  дорівнює 0,012107 г/мл.

55. Обчислити: а) титр, б) нормальність, в) молярність, г) титр за йодом розчину, для приготування 1 л якого витрачено 5,200 г  $K_2Cr_2O_7$ .

56. Обчислити: а) молярність, б) титр, в) титр за киснем, г) титр за ферумом для 0,1010 N розчину  $KMnO_4$ .

57. Нормальність розчину  $HNO_3$  як кислоти дорівнює 0,1121; знайти її нормальність як окисника в реакції відновлення до  $NO$ .

58. Розрахувати нормальність розчину  $K_2CrO_4$  в реакціях окиснення, якщо в реакціях осадження цей розчин має нормальність 0,1000.

59. Яка маса  $Na_2CO_3$  потрібна для приготування 2 л розчину, титр якого дорівнює 0,035 г/мл, та 2 л розчину, в якому  $T(Na_2CO_3/HCl) = 0,029$  г/мл.

60. Обчислити  $T(HCl/Na_2CO_3)$  для розчину  $HCl$ , якщо на титрування 0,0921 г  $Na_2CO_3$  витрачено 18,35 мл розчину  $HCl$ .

#### 4.5. Порядок обчислення концентрації робочого розчину

Концентрацію робочого розчину найчастіше обчислюють за наважкою стандартної речовини, користуючись такими позначеннями:

$m(c)$  – наважка стандартної речовини;

$n_e(c)$  – кількість еквівалентів стандартної речовини;

$N(p)$  – нормальність робочого розчину;

$M_e(c)$  – маса еквівалента стандартної речовини;

$V(p)$  – об'єм робочого розчину, витрачений на титрування наважки установлювальної речовини;

$n_e(p)$  – кількість еквівалентів речовини в робочому розчині.

Перелічені характеристики перебувають у таких відношеннях:

$$n_e(c) = \frac{m(c)}{M_e(c)}; \quad n_e(p) = \frac{N(p) \cdot V(p)}{1000}$$

При цьому відповідно до закону еквівалентів

$$n_e(c) = n_e(p);$$

$$\frac{m(c)}{M_e(c)} = \frac{N(p) \cdot V(p)}{1000};$$

$$N(p) = \frac{m(c) \cdot 1000}{M_e(c) \cdot V(p)}.$$

**Приклад 15.** Обчислити нормальність і титр розчину HCl, якщо на титрування 0,3922 г хімічно чистої соди  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  витрачається 37 мл цього розчину. Розрахунок виконуємо в такій послідовності:

$$M_e(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{106}{2} = 53 \text{ г/моль.}$$

$$n_e(\text{Na}_2\text{CO}_3) = \frac{0,3922}{53};$$

$$n_e(\text{HCl}) = \frac{N(p) \cdot 37}{1000};$$

$$n_e(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n_e(\text{HCl});$$

$$\frac{0,3922}{53} = \frac{N(\text{HCl}) \cdot 37}{1000};$$

$$N(\text{HCl}) = \frac{0,3922 \cdot 1000}{53 \cdot 37} = 0,2 \text{ N}$$

$$M_e(\text{HCl}) = 36,45 \text{ г/моль}$$

$$T(\text{HCl}) = \frac{N(\text{HCl}) \cdot M_e(\text{HCl})}{1000} = \frac{0,2 \cdot 36,45}{1000} = 0,00729 \text{ г/мл.}$$

## ЗАВДАННЯ

61. Обчислити нормальність розчину HCl, якщо на титрування 0,1946 г хімічно чистої солі Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> витрачено 20,45 мл цього розчину?

62. Обчислити молярність розчину H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, якщо на титрування 0,4519 г бури (Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> · 10H<sub>2</sub>O) витрачено 16,43 мл цього розчину?

63. Розрахувати титр розчину HCl, якщо на титрування 0,2147 г Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> витрачено 22,26 мл цього розчину.

64. Розрахувати T(HCl/Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) для розчину хлоридної кислоти, якщо при титруванні 0,1231 г Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> витрачено 20,45 мл цього розчину.

65. Розрахувати T(HCl/CaO), якщо при титруванні на 0,1040 г Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> витрачено 25,14 мл цього розчину.

66. При титруванні 1,025 г H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O витрачено 24,10 мл розчину NaOH. Обчислити: а) титр цього розчину, б) його титр за H<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, в) його нормальність.

67. Виготовили 250 мл розчину, до складу якого входить 6,227 г бури, 25,0 мл цього розчину реагують із 24,17 мл розчину HCl. Розрахувати нормальність розчинів: а) бури, б) HCl.

68. На титрування наважки 0,1133 г хімічно чистого Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> у кислому середовищі витрачено 20,75 мл розчину KMnO<sub>4</sub>. Знайти: а) нормальність цього розчину, б) його титр за ферумом.

69. До наважки 0,1200 г K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> додали надлишок KI і HCl; йод, що виділився, відтитрували 22,85 мл розчину Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Знайти: а) нормальність розчину тіосульфату натрію, б) його титр за йодом.

70. На титрування 20 мл розчину йоду витрачено 21,35 мл 0,1135 N розчину Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Обчислити: а) нормальність розчину йоду, б) його титр?

### 4.6. Обчислення результатів аналізів

Масу визначуваної речовини  $m(b)$  обчислюють по-різному, якщо вираження концентрації робочого розчину являє собою:

– титр за досліджуваною речовиною

$$m(b) = T(a/b) \cdot V(a);$$

– титр за робочою речовиною

$$m(b) = \frac{T(a) \cdot V(a) \cdot M_e(b)}{M_e(a)};$$



– нормальність

$$m(b) = \frac{N(a) \cdot V(a) \cdot M_e(b)}{1000}.$$

## ЗАВДАННЯ

71. Скільки грамів  $\text{H}_2\text{SO}_4$  міститься в розчині, якщо на нейтралізацію потрібно 20,00 мл розчину  $\text{NaOH}$ , якщо його титр дорівнює 0,004614 г/мл?

72. Скільки грамів  $\text{CaO}$  було нейтралізовано за допомогою: а) 12,00 мл розчину  $\text{HCl}$  з титром 0,003512 г/мл; б) 12,00 мл розчину  $\text{HCl}$  з титром за  $\text{CaO}$  0,005210 г/мл?

73. Скільки міліграмів  $\text{NaOH}$  міститься в розчині, якщо на його нейтралізацію витрачено 20,00 мл 0,2210 М розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ?

74. Скільки міліграмів  $\text{HCl}$  міститься в розчині, якщо на його нейтралізацію витрачено 22,00 мл 0,1140 М розчину  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  ?

75. Скільки міліграмів  $\text{Ba}(\text{OH})_2$  міститься в розчині, якщо на його нейтралізацію витрачено 20,00 мл 0,1245 N розчину  $\text{HCl}$  ?

76. Скільки міліграмів  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  міститься в розчині, якщо на його нейтралізацію до  $\text{H}_2\text{CO}_3$  витрачено 23,00 мл 0,1020 N розчину  $\text{HCl}$ ?

77. Розрахувати процентний вміст бури  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  в забрудненому зразку, якщо при титруванні наважки масою 0,8750 г витрачено 20,40 мл 0,2120 N розчину  $\text{HCl}$ .

78. На титрування  $\text{Fe}^{2+}$  у розчині, отриманому з 0,2115 г руди, що містить залізо, витрачено 24,18 мл розчину  $\text{KMnO}_4$ , титр якого за киснем дорівнює 0,0008112 г/мл. Розрахувати процентний вміст  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в руді.

79. Аналізуючи наважку доломіту масою 0,2435 г, виділили  $\text{Ca}^{2+}$  у вигляді  $\text{CaC}_2\text{O}_4$ , на титрування якого витрачено 42,20 мл розчину  $\text{KMnO}_4$ , при цьому  $T(\text{KMnO}_4 / \text{Fe}) = 0,005139$  г/мл. Скільки відсотків  $\text{CaCO}_3$  міститься в доломіті?

### **4.7. Обчислення концентрації іонів $\text{H}^+$ й $\text{OH}^-$ . Визначення водневого і гідроксильного показників розчинів кислот і лугів**

Десятковий логарифм концентрації іонів водню, узятий із протилежним знаком, називається водневим показником і позначається символом рН, тобто

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

Гідроксильний показник, відповідно –це десятковий логарифм концентрації іонів  $\text{OH}^-$ , узятий із протилежним знаком, тобто

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

Добуток концентрацій водневих і гідроксильних іонів у водному розчині називається іонним добутком води, а саме:

$$[\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}; \quad (T = 295 \text{ K}).$$

Концентрація іонів водню в розчині будь-якої кислоти визначається трьома факторами: ступенем дисоціації кислоти  $\alpha$ , основністю кислоти  $k$  й молярною концентрацією кислоти, що можна записати таким чином:

$$[\text{H}^+] = k \cdot \alpha \cdot C_M = \alpha \cdot N.$$

Концентрація іонів гідроксиду в розчині лугу

$$[\text{OH}^-] = k \cdot \alpha \cdot C_M,$$

де  $k$  – кислотність основи.

Якщо відома константа дисоціації слабкої кислоти або основи ( $K$ ), то ступінь дисоціації можна обчислити відповідно до закону розведення Оствальда:

$$\alpha = \sqrt{\frac{K}{C_M}}.$$

## ЗАВДАННЯ

80. Обчислити рН: а) 0,040 N розчину  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , якщо  $\alpha = 1$ ; б) 0,005 N розчину  $\text{KOH}$ , коли  $\alpha = 1$ .

81. Стосовно розчину, рН якого дорівнює 3,1 обчислити: а) концентрацію  $\text{H}^+$ ; б) кількість іонів  $\text{H}^+$ , що міститься в 1 л розчину.

82. Визначити концентрацію  $\text{OH}^-$  у розчині, рН якого дорівнює 12,2.

83. У скільки разів зміниться (збільшиться або зменшиться) концентрація  $\text{H}^+$ , якщо рН збільшиться: а) на 1; б) на 0,2?

84. Обчислити рН 0,01 N розчину оцтової кислоти, якщо ступінь дисоціації її дорівнює 4,2 %.

85. Стосовно 0,10 N розчину оцтової кислоти за константою дисоціації, яка дорівнює  $1,8 \cdot 10^{-5}$ , обчислити: а) рН; б) ступінь дисоціації.

86. До 25 мл 0,1054 N розчину  $\text{HCl}$  додано 30 мл 0,1135 N розчину  $\text{NaOH}$ . Обчислити рН отриманого розчину.

### 4.8. Обчислення рН при титруванні кислот і лугів

#### 4.8.1. Титрування сильної кислоти лугом

Коли змішують розчини сильної кислоти й лугу, то концентрація іонів  $\text{H}^+$  дорівнює нормальній концентрації кислоти, що залишилася в розчині, або ж

нормальна концентрація іонів гідроксиду дорівнює концентрації лугу, що залишився в розчині.

До об'єму розчину кислоти  $V(a)$  мл прилито  $V(b)$  мл лугу. Нормальність кислоти позначимо через  $N(a)$ , лугу –  $N(b)$ . При цьому

$$\text{кількість еквівалентів кислоти } n_e(a) = \frac{N(a) \cdot V(a)}{1000};$$

$$\text{кількість еквівалентів лугу } n_e(b) = \frac{N(b) \cdot V(b)}{1000}.$$

Якщо  $n_e(a) > n_e(b)$ , то можемо обчислити кількість еквівалентів що залишилася (не вступила в реакцію з лугом) кислоти  $n'_e(a)$ , таким чином:

$$n'_e(a) = n_e(a) - n_e(b).$$

Якщо  $n_e(a) < n_e(b)$ , то обчислення кількості лугу, що залишилася  $n'_e(b)$ , відбувається таким чином:

$$n'_e(b) = n_e(b) - n_e(a).$$

Для обчислення концентрації кислоти (лугу) обчислюємо загальний об'єм розчину:  $V = V(a) + V(b)$ , а потім нормальну концентрацію кислоти  $N'(a)$  або лугу  $N'(b)$ , а саме:

$$N'(a) = \frac{n'_e(a) \cdot 1000}{V}; \quad N'(b) = \frac{n'_e(b) \cdot 1000}{V}.$$

Припускаючи, що дисоціація повна,  $[H^+] = N(a)$ ,  $[OH^-] = N(b)$ ,

$$pH = -\lg[H^+], \quad pOH = -\lg[OH^-].$$

**Приклад 16.** До 50 мл 0,2 N розчину HCl додано 25 мл 0,1 N розчину NaOH. Обчислити pH отриманого розчину. Послідовність розрахунків:

$$\text{кількість еквівалентів } n_e(\text{HCl}) = \frac{0,2 \cdot 50}{1000} = 1,00 \cdot 10^{-2};$$

$$\text{кількість еквівалентів } n_e(\text{NaOH}) = \frac{0,1 \cdot 25}{1000} = 0,25 \cdot 10^{-2}.$$

Надлишок HCl:  $1,00 \cdot 10^{-2} - 0,25 \cdot 10^{-2} = 0,75 \cdot 10^{-2}$  еквівалентів

Об'єм отриманого розчину 50 мл + 25 мл = 75 мл.

Нормальна концентрація HCl

$$C_N(\text{HCl}) = \frac{0,75 \cdot 10^{-2} \cdot 1000}{75} = 0,1 \text{ моль/л.}$$

Тоді

$$[\text{H}^+] = 0,1 \text{ моль/л,} \quad \text{pH} = -\lg 0,1 = 1.$$

#### 4.8.2. Титрування слабкої кислоти лугом

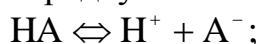
Якщо в розчині має місце надлишок лугу, то обчислення повністю ідентичні обчисленням при титруванні сильної кислоти лугом (п. 4.8.1)

У разі, коли спостерігається надлишок слабкої кислоти ( $c$ ), обчислення ідентичні тим, що виконують при титруванні сильної кислоти лугом до того, як починають розраховувати  $[\text{H}^+]$  за вже обчисленим значенням концентрації отриманого розчину.

Щоб обчислити концентрацію іонів водню, спершу необхідно визначити концентрацію аніонів слабкої кислоти  $N(c)$  у розчині, яка дорівнює концентрації солі, що утворилася, тобто

$$N(c) = \frac{n_e(b) \cdot 1000}{V}.$$

Потім обчислюємо концентрацію іонів  $[\text{H}^+]$  з використанням константи дисоціації кислоти  $\text{HA}$  ( $K$ ) у такому порядку:



$$K = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{A}^-]}{[\text{HA}]};$$

$$K = \frac{[\text{H}^+] \cdot C_N(c)}{C_N(a)}; \quad [\text{H}^+] = \frac{K \cdot C_N(a)}{C_N(c)};$$

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

**Приклад 17.** До 100 мл 0,1 н. розчину  $\text{CH}_3\text{COOH}$  долило 40 мл 0,1 N розчину  $\text{NaOH}$ . Обчислити pH отриманого розчину, якщо константа дисоціації кислоти  $K(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,86 \cdot 10^{-5}$ . Розрахунок виконуємо в такій послідовності:

$$n_e(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{0,1 \cdot 100}{1000} = 1,00 \cdot 10^{-2};$$

$$n_e(\text{NaOH}) = \frac{0,1 \cdot 40}{1000} = 0,4 \cdot 10^{-2};$$

$$n_e(\text{CH}_3\text{COOH}) = (1,00 - 0,40) \cdot 10^{-2} = 0,60 \cdot 10^{-2};$$

$$V = 100 \text{ мл} + 40 \text{ мл} = 140 \text{ мл.}$$

$$N'(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{0,6 \cdot 10^{-2} \cdot 1000}{140} = 4,28 \cdot 10^{-2};$$

$$N'(\text{CH}_3\text{COONa}) = \frac{0,4 \cdot 10^{-2} \cdot 1000}{140} = 2,85 \cdot 10^{-2};$$

$$K(\text{CH}_3\text{COOH}) = \frac{[\text{H}^+] \cdot [\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]};$$

$$1,86 \cdot 10^{-5} = \frac{[\text{H}^+] \cdot N'(\text{CH}_3\text{COONa})}{N'(\text{CH}_3\text{COOH})}.$$

$$[\text{H}^+] = \frac{1,86 \cdot 10^{-5} \cdot 4,28 \cdot 10^{-2}}{2,85 \cdot 10^{-2}} = 2,79 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л,}$$

$$\text{pH} = -\lg 2,79 \cdot 10^{-5} = 4,554.$$

## ЗАВДАННЯ

87. Розрахувати рН розчину, отриманого при титруванні, якщо до 20 мл 0,2 N розчину HCl додано такі кількості 0,2 N розчину NaOH: а) 17 мл, б) 20 мл, в) 21 мл.

88. Шляхом титрування було нейтралізовано на 80% 0,1 N розчин HCl за допомогою 20 мл 0,1 N розчину KOH. Розрахувати рН отриманого розчину.

89. Розрахувати рН розчину, отриманого при титруванні, якщо до 20 мл 0,1 N розчину CH<sub>3</sub>COOH додано такі кількості 0,1 N розчину NaOH: а) 18 мл, б) 20 мл, в) 21 мл.

90. Шляхом титрування було нейтралізовано на 80 % 0,1 N розчин CH<sub>3</sub>COOH за допомогою 0,1 N розчину NaOH. Розрахувати рН отриманого розчину.

## Перелік рекомендованих посилань

1. Аналітична хімія : Якісний та кількісний аналіз ; Навчальний конспект лекцій /В.В. Болотов, О. М. Свечнікова, М. Ю. Голік та ін.; За ред. проф. В. В. Болотова. - Вінниця : Нова Книга, 2011. - 424 с.

2. Циганок Л.П. Аналітична хімія. Хімічні методи аналізу: навчальний посібник / Л.П.Циганок, Т.О.Бубель, А.Б.Вишнікін, О.Ю.Вашкевич; За ред. проф. Л.П.Циганок - Дніпропетровськ: ДНУ ім. О.Гончара, 2014.- 252 с.

3. Більченко М.М. Лабораторний практикум з аналітичної хімії. Кількісний аналіз : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. рек. МОНУ. Суми : Університетська книга, 8. 2007. 142 с.

4. Бугаєвський О.А., Дрозд А.В. Науменко В.А., Юрченко О.І. Лабораторний практикум з аналітичної хімії. Харків : ХДУ, 1998. 140 с. URL:

5. Логінова Л.П., Клещевнікова В.М., Решетняк О.О., Харченко О.В. Збірник задач з аналітичної хімії : навч. посіб. Харків : ХВУ, ХДУ, 1999. 248 с. URL: <http://ebooks.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi20/0013348.pdf>.

**Светкіна** Олена Юріївна

**Нетяга** Ольга Борисівна

**Тарасова** Ганна Володимирівна

## **АНАЛІТИЧНА ХІМІЯ**

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**  
**до самостійного розв'язування задач з дисципліни**  
студентами спеціальності 161  
**Хімічні технології та інженерія**

У редакції авторів.

НТУ «Дніпровська політехніка»  
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.