

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до самостійного розв'язування задач**

студентами денної та заочної форм навчання напрямку підготовки 6.050303
Переробка корисних копалин

Дніпропетровськ
2010

Технічний аналіз мінеральної сировини. Методичні рекомендації до самостійного розв'язування задач студентами денної та заочної форм навчання напряму підготовки 6.050303 Переробка корисних копалин / П.О. Єгоров, О.Б. Нетяга, Г.В. Тарасова. – Д.: Національний гірничий університет, 2010 . – 29 с.

Автори:

П.О. Єгоров, канд. хім. наук, проф.;

О.Б. Нетяга, старш. викл.;

Г.В. Тарасова, асист.

Затверджено методичною комісією з напряму підготовки 6.050303 Переробка корисних копалин (протокол № 1 від 28 квітня 2010) за поданням кафедри хімії (протокол № 8 від 27 квітня 2010).

Подано теоретичні відомості з основних розділів дисципліни «Технічний аналіз мінеральної сировини», задачі для самостійного розв'язку та приклади виконання типових розрахунків у гравіметричному й титриметричному методах аналізу. Рекомендації призначаються для студентів напряму підготовки 6.050303 Переробка корисних копалин.

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

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}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

$$A_r(\text{Cu}) = 63,54 \text{ а.о.м.}; \quad M(\text{Cu}) = 63,54 \text{ г/моль}$$

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

$$M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ а.о.м.}; \quad M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98 \text{ г/моль}$$

1.3. Еквівалент

Еквівалентом (Е) 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 Al_2O_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:

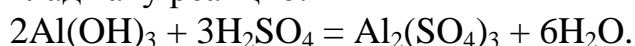
$$M_e(\text{Al}_2\text{O}_3) = M_e(\text{Al}) + M_e(\text{O}) = \frac{M(\text{Al})}{3} + \frac{M(\text{O})}{2} = \frac{27}{3} + \frac{16}{2} = 17 \text{ г/моль.}$$

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 KMnO_4 в кислому середовищі. У цих умовах Mn^{+7} приймає 5 електронів і переходить в 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 NaCl ?
2. Скільки молів та еквівалентів міститься в 5 г Cu ?
3. Скільки атомних одиниць маси міститься в 1 г Zn ?
4. Визначити масу двох еквівалентів H_2SO_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 KMnO_4 ?
8. Скільки еквівалентів міститься в 11,2 л SO_2 за нормальних умов?

9. Скільки молей CuSO_4 міститься в 10 еквівалентах солі?
 10. Скільки атомних одиниць маси міститься в одному молі CaO ?

2. СТЕХІОМЕТРИЧНІ РОЗРАХУНКИ

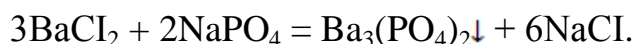
В основі аналітичних розрахунків лежать рівняння реакцій, що характеризують одночасно якісні показники реагуючих речовин і кількісні співвідношення між ними.

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

Наприклад, які б кількості BaCl_2 і Na_3PO_4 не брали участь у реакції, співвідношення між кількістю BaCl_2 , що вступила в реакції, і кількістю Na_3PO_4 , що прореагувала з BaCl_2 , та кількостями $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$ 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_2	Na_3PO_4	$\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$	NaCl
Моль	3	2	1	6
Грам (обчислено за молярними масами)	$3 \cdot M(\text{BaCl}_2)$ 3·208	$2 \cdot M(\text{Na}_3\text{PO}_4)$ 2·164	$1 \cdot M(\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2)$ 602	$6 \cdot M(\text{NaCl})$ 6·58,5
Еквівалент	1	1	1	1
Грам (обчислено за молярними масами еквівалентів)	$M_e(\text{BaCl}_2)$ 104	$M_e(\text{Na}_3\text{PO}_4)$ 54,7	$M_e(\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2)$ 101	$M_e(\text{NaCl})$ 58,5

Приклад 1

Скільки грамів $\text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2$ утвориться при осадженні 2г BaCl_2 надлишком Na_3PO_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 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

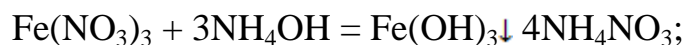
Було розчинено наважку сплаву масою 0,15 г, з цього розчину осадили залізо у вигляді $\text{Fe}(\text{OH})_3$, осад промили, висушили й прожарили. Після прожарювання виявилось, що маса отриманого Fe_2O_3 дорівнює 0,05 г. Визначити процентний вміст Феруму в сплаві.

У цьому випадку послідовно відбуваються три процеси:

розчинення наважки сплаву:



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



перетворення $\text{Fe}(\text{OH})_3$ у Fe_2O_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:

$$\begin{aligned} 3 \text{ моль Fe} &\text{ утвориться } 1 \text{ моль Fe}_2\text{O}_3, \text{ тобто} \\ 2 \cdot 55,8 &\text{ - - - - - } 159,6; \\ m(\text{Fe}), \text{ г} &\text{ - - - - - } 0,05; \\ m(\text{Fe}) &= \frac{0,05 \cdot 55,8}{159,6} = 0,035 \text{ г.} \end{aligned}$$

ЗАВДАННЯ

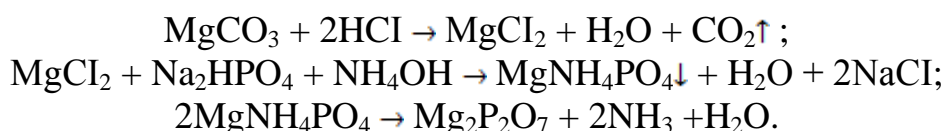
11. Кальцій карбонат розчиняють у хлоридній кислоті. Розрахувати, скільки молей, еквівалентів і грамів HCl буде потрібно для розчинення 1 моля CaCO_3 . Результати розрахунків звести в табл. 2.

Таблиця 2

Розчинено CaCO_3	Витрачено HCl		
	молей	еквівалентів	грамів
1 моль			
1 еквівалент			
1 грам			

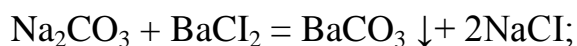
12. Розчин FeSO_4 окиснюють розчином KMnO_4 . Скільки молей, еквівалентів і грамів KMnO_4 буде потрібно для окиснення 1 моля, 1 еквівалента та 1 грама FeSO_4 ? Скласти таблицю, подібну до наведеної в завданні 11.

13. Скільки грамів $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ утвориться з 1 г MgCO_3 внаслідок таких реакцій:



14. Розчин FeSO_4 окиснюють розчином K_2CrO_4 в кислому середовищі. Скільки молей та еквівалентів K_2CrO_4 потрібно для окиснення 10 г FeSO_4 . Скласти таблицю, подібну до наведеної в завданні 11.

15. Якій об'єм CO_2 при нормальних умовах утвориться з 300 г Na_2CO_3 унаслідок таких реакцій:

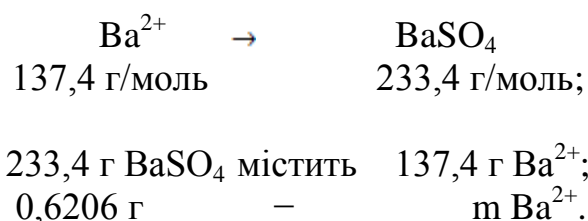


3. ВИКОНАННЯ ОБЧИСЛЕНЬ У ВАГОВОМУ АНАЛІЗІ

3.1. Обчислення вагового й процентного вмісту речовини

Обчислення вагового й процентного вмісту визначеної речовини при ваговому аналізі роблять, виходячи з кількості зваженого осаду (вагової форми).

Приклад. Потрібно обчислити вміст барію в розчині за масою прожареного залишку BaSO_4 . Нехай маса залишку BaSO_4 становила 0,6205 г. Тоді можна скласти таке співвідношення:



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

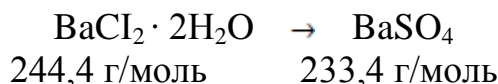
Зазвичай виникає потреба обчислити не ваговий зміст того чи іншого елемента в досліджуваній речовині, а його відносний, процентний вміст. Для цього необхідно знати величину наважки аналізованої речовини. Якщо обчислена вище кількість барію (0,3653 г) була отримана з наважки $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, масою 0,6531 г, то процентний вміст барію у вихідній солі обчислюють за такою пропорцією:

$$\begin{array}{ccc} 0,6531 \text{ г BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} & \text{становить} & 100 \% ; \\ 0,3653 \text{ г Ba}^{2+} & - & \% \text{ Ba}^{2+}. \end{array}$$

$$\% \text{Ba}^{2+} = \frac{0,3653 \cdot 100}{0,6531} = 55,92 \% .$$

Результати кількісного аналізу можна виражати по-різному, наприклад, показуючи вміст окремих елементів (Ba, Fe, Cu), іонів (Ba^{2+} , SO_4^{2-}), оксидів (BaO , Fe_2O_3) або солей ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Приклад. За умовами попереднього завдання можна замість процентного вмісту 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 BaSO_4 утвориться з 244,4 г $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$;
 0,6206 г 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 $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - - - - - x %;

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

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 і гігроскопічної вологи.

ЗАВДАННЯ

16. У розчині калій хлориду, що містить іони Cl^- , хлор був осаджений у вигляді AgCl , маса якого після висушування дорівнює 0,1562 г. Обчислити ваговий вміст Cl^- у цьому розчині.

17. У розчині натрій броміду осадили бром у вигляді AgBr . Після висушування маса осаду дорівнює 0,2510 г. Обчислити ваговий вміст 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 Fe_2O_3 дорівнює 0,3288 г. Обчислити: а) ваговий вміст 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 Fe_2O_3 дорівнює 0,2662 г. Обчислити ваговий вміст у первісному розчині: а) Fe^{2+} ; б) $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

20. Із 50 мл розчину алюміній сульфату осадили іон SO_4^{2-} у вигляді BaSO_4 . Маса BaSO_4 дорівнює 0,2640 г. Обчислити, скільки міститься в одному літрі розчину: а) грамів 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 PdI_2 прожарили в потоці водню, при цьому він відновився до металевого паладію. Обчислити вміст KI у первісному розчині, якщо маса металевого паладію дорівнює 0,2345 г.

22. Осад, що містить SiO_2 , Al_2O_3 і Fe_2O_3 , обробили сумішшю фторидної та сульфатної кислот для видалення 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 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 Na_2O 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 P_2O_5 у цій пробі.

27. З наважки вапняку, маса якої дорівнює 0,5210 г, після розчинення, осадження і прожарювання було отримано 0,2218 г CaO і 0,0146 г $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$. Обчислити процентний вміст CaCO_3 і 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 CuSCN і 0,0423 г SnO_2 . Обчислити процентний склад латуні.

29. У наважці калій хлориду масою 0,1341 г, забрудненого натрій хлоридом, перевірили вміст калію осадженням у вигляді KCIO_4 , маса якого дорівнює 0,2206 г. Обчислити процентний вміст KCl у досліджуваному зразку калій хлориду.

30. Наважка сурм'яного блиску Sb_2S_3 дорівнює 0,1872 г. Після відповідної обробки весь сульфур було переведено в SO_4^{2-} , який отримали у вигляді BaSO_4 , при цьому виявилось, що маса останнього дорівнює 0,3243 г. Обчислити процентний вміст Sb_2S_3 в пробі сурм'яного блиску.

31. З наважки алюмінієво-калієвого галуно масою 0,2690 г після відповідної обробки було отримано 0,2584 г 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 SO_4^{2-} . У тому самому розчині визначили K^+ , який осадили й зважили у вигляді KCIO_4 . Обчислити масу осаду 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 KCIO_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, Cu₂Cl₂, 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. Стибій сульфід містить 72,29 % Sb і 27,63 % S. Обчислити емпіричну формулу сполуки, вводячи такі позначення:

$a(\text{Sb})$ – кількість атомів стибіюму; $a(\text{S})$ – кількість атомів сульфуру.

Отже,

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

Таким чином, маємо емпіричну формулу сполуки – Sb₂S₃.

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

Приклад. У речовині, що містить тільки магній, фосфор та кисень, унаслідок аналізу знайдено 36,23 % MgO і 63,77 % P₂O₅. Знайти емпіричну формулу цієї речовини, користуючись такими позначеннями:

$a(\text{MgO})$ – кількість молекул MgO, $a(\text{P}_2\text{O}_5)$ – кількість молекул P₂O₅.

$$\begin{aligned} a(\text{MgO}) : a(\text{P}_2\text{O}_5) &= \frac{36,23}{M_r(\text{MgO})} : \frac{63,77}{M_r(\text{P}_2\text{O}_5)} = \frac{36,23}{40,32} : \frac{63,77}{142,0} = 0,90 : 0,45 = \\ &= 2 : 1. \end{aligned}$$

Таким чином склад сполуки – 2MgO·P₂O₅; емпірична формула – Mg₂P₂O₇.

ЗАВДАННЯ

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

35. Ферум 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 ₂ O.....	3,04	Al ₂ O ₃	17,23
CaO.....	18,92	SiO ₂	60,81

38. У цинк силікаті знайдено 58,6 % Zn. Вважаючи, що в цьому силікаті сумарний вміст ZnO і SiO₂ дорівнює 100 %, знайти його емпіричну формулу.

39. Аналізуючи вологу гірську породу отримали такі значення вмісту компонентів, % : Fe₂O₃ – 18,28; Al₂O₃ – 21,53; SiO₂ – 53,35; CaO – 0,92; волога – 5,92. Визначити вміст компонентів у сухій породі.

3.3. Розрахунок наважки аналізованої речовини

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

Наприклад, занадто велика наважка дає велику кількість осаду, який важко чисто помити, 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 і промивання й т. д.

У методичних рекомендаціях до вагового 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. Виконуючи ваговий 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 найменшу наважку:

1 моль AgCl	відповідає	1 молю Cl ⁻
143,4 г/моль	–	35,5 г/моль

35,5 г Cl ⁻	міститься в	143,4 г AgCl;
m, г Cl ⁻	–	0,4 г AgCl.

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

0,09 г Cl ⁻	становить	30 % ;
m наважки	–	100 %.

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

Обчислюємо найбільшу наважку:

35,5 г Cl^-	міститься в	143,4 г AgCl ;
m, г Cl^-	–	0,6 г AgCl .

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

0,15 г Cl^-	становить	30 %;
m наважки	–	100 %.

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

ЗАВДАННЯ

40. Для виконання вагового 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 вагового аналізу магнію у вигляді оксихіноляту потрібно, щоб розчин містив не більше 0,05 г 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 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 CaO ?

4. ВИКОНАННЯ ОБЧИСЛЕНЬ В ОБ'ЄМНОМУ 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 NaCl означає, що в його 100 г міститься 5 г 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 молі 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 н. 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 ним.

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 а і b.

Титр за робочою речовиною (або просто титр) являє собою кількість грамів цієї речовини, що міститься в 1 мл розчину.

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

Титр можна виражати також у мг/мл:

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

Титр за визначуваною речовиною – це кількість грамів цієї речовини, що реагує з 1 мл даного робочого розчину, зокрема

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

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

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

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. Обчислити масу NaOH, що міститься в 50 мл 0,5 М розчину таким чином:

$$\begin{aligned} V &= 50 \text{ мл} = 0,05 \text{ л}; \\ n &= V \cdot C_M = 0,05 \cdot 0,5 = 0,025 \text{ моль}; \\ M(\text{NaOH}) &= 40 \text{ г/моль}; \\ m &= n \cdot M = 0,025 \cdot 40 = 1 \text{ г}. \end{aligned}$$

4.2.2. Нормальна концентрація

$$n_e = V \cdot C_N,$$

де n_e – кількість еквівалентів розчиненої речовини

$$m = n_e \cdot M_e.$$

Приклад. Обчислити масу H_2SO_4 , що міститься в 40 мл 0,2 н. розчину, в такій послідовності:

$$\begin{aligned} V &= 40 \text{ мл} = 0,04 \text{ л}; \\ n_e &= 0,04 \cdot 0,2 = 0,008 \text{ еквівалентів}; \\ M_e &= 49 \text{ г/моль}; \\ m &= 0,008 \cdot 49 = 0,392 \text{ г}. \end{aligned}$$

4.2.3. Титр за робочою речовиною

$$m = V \cdot T,$$

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

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

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

4.2.4. Титр за визначуваною речовиною

Приклад. 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:

$$m = V \cdot T = 50 \cdot 0,0025 = 0,125 \text{ г.}$$

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 1. 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:

$$m = V \cdot \rho;$$

$$V = 5 \text{ л} = 5000 \text{ мл розчину};$$

$$m = 5000 \cdot 1,1 = 5500 \text{ г.}$$

Складаємо пропорцію:

5 г NaOH міститься в 100 г розчину;

m NaOH – 5500 г.

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

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 2. Яку масу NaOH потрібно взяти для приготування 5 л 0,2 н. розчину? Виконуємо такі розрахунки:

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

1 еквівалент NaOH становить 40 г;

0,2 еквівалента NaOH – m_1 .

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

8 г NaOH міститься в 1 л розчину;

m NaOH – в 5 л.

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

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 н.

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 3. Який об'єм 50%-ного розчину H_2SO_4 ($\rho = 1,4$ г/мл) потрібно взяти для приготування 10 л 0,3 н. розчину?

1-й розчин:	2-й розчин:
$V = 10$ л	$V_x = ?$
0,3 н.	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 н. розчину. Отже, користуючись складеними пропорціями, визначаємо цю масу:

0,3 еквівалента H_2SO_4	міститься	в 1 л розчину;
n_e еквівалентів H_2SO_4	–	в 10 л розчину.

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

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

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

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

$$m = 49 \cdot 3 = 147 \text{ г.}$$

Потім аналогічно визначаємо масу другого розчину, в якому міститься 147 г H_2SO_4 , тобто

50 г H_2SO_4	міститься в 100 г розчину;
147 г H_2SO_4	– в m 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 H_2SO_4 і довести цей об'єм дистильованою водою до 10 л. Одержимо 10 л 0,3 н. розчину.

Приклад 4. Скільки води потрібно додати до 1 л 2 н. розчину H_2SO_4 , щоб одержати 0,5 н. 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. Скільки грамів $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ необхідно 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. Скільки грамів $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ необхідно розчинити в 1 л води для отримання 10%-ного розчину?

46. Скільки грамів $Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$ необхідно для приготування 1 л 1М розчину?

47. Скільки грамів Na_2CO_3 потрібно для приготування 1 л 1 н. розчину?

48. Скільки грамів $KMnO_4$ потрібно для приготування 1 л 1 н. розчину, якщо він буде використаний у реакції окиснення в кислому середовищі?

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

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

51. Яку наважку $Na_2C_2O_4$ варто взяти для аналізу, щоб на титрування в кислому середовищі було витрачено 25 мл 0,1025 н. розчину $KMnO_4$?

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,

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

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

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, тобто

$$\frac{M}{M_e} = \frac{C_f}{C_i} = n_e.$$

Розчинена речовина а може вступати в реакцію з речовиною б. 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 с, 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. 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:

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

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

$$T(\text{NaOH}/\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{T(\text{NaOH}) \cdot M_e(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M_e(\text{NaOH})} = \frac{0,04 \cdot 49}{40} = 0,049 \text{ г/мл};$$

$$M_e(\text{NaOH}) = 40 \text{ г/моль}, \quad M_e(\text{H}_2\text{SO}_4) = 49 \text{ г/моль};$$

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

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

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 $\text{Ba}(\text{OH})_2$, якщо $T(\text{Ba}(\text{OH})_2/\text{CH}_3\text{COOH})$ 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 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

56. Обчислити : а) молярність, б) титр, в) титр за киснем, г) титр за ферумом для 0,1010 н. 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 $T(\text{Na}_2\text{CO}_3/\text{HCl}) = 0,029$ г/мл.

60. Обчислити $T(\text{HCl}/\text{Na}_2\text{CO}_3)$ 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 установлюваної речовини, користуючись такими позначеннями:

$m(y)$ – наважка установлювальної речовини;

$n_e(y)$ – кількість еквівалентів установлювальної речовини;

$C_H(p)$ – нормальність робочого розчину;

$M_e(y)$ – маса еквівалента установлювальної 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:

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

При цьому відповідно до закону еквівалентів

$$n_e(y) = n_e(p);$$

$$\frac{m(y)}{M_e(y)} = \frac{C_H(p) \cdot V(p)}{1000};$$

$$C_H(p) = \frac{m(y) \cdot 1000}{M_e(y) \cdot V(p)}.$$

Приклад. Обчислити нормальність і титр розчину HCl, якщо на титрування 0,3922 г хімічно чистої соди Na_2CO_3 витрачається 37 мл цього розчину. Розрахунок виконуємо в такій послідовності:

$$M_e(Na_2CO_3) = \frac{106}{2} = 53 \text{ г/моль.}$$

$$n_e(Na_2CO_3) = \frac{0,3922}{53};$$

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

$$n_e(Na_2CO_3) = n_e(HCl);$$

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

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

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

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

ЗАВДАННЯ

61. Обчислити нормальність розчину HCl, якщо на титрування 0,1946 г хімічно чистої солі Na₂CO₃ витрачено 20,45 мл цього розчину?

62. Обчислити молярність розчину H₂SO₄, якщо на титрування 0,4519 г бури (Na₂B₄O₇·10H₂O) витрачено 16,43 мл цього розчину?

63. Розрахувати титр розчину HCl, якщо на титрування 0,2147 г Na₂CO₃ витрачено 22,26 мл цього розчину.

64. Розрахувати T(HCl/Na₂CO₃) для розчину хлоридної кислоти, якщо при титруванні 0,1231 г Na₂CO₃ витрачено 20,45 мл цього розчину.

65. Розрахувати T(HCl/CaO), якщо при титруванні на 0,1040 г Na₂CO₃ витрачено 25,14 мл цього розчину.

66. При титруванні 1,025 г H₂C₂O₄·2H₂O витрачено 24,10 мл розчину NaOH. Обчислити: а) титр цього розчину, б) його титр за H₂C₂O₄, 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 Na₂C₂O₄ у кислому середовищі витрачено 20,75 мл розчину KMnO₄. Знайти: а) нормальність цього розчину, б) його титр за ферумом.

69. До наважки 0,1200 г K₂Cr₂O₇ додали надлишок KI і HCl; йод, що виділився, відтитрували 22,85 мл розчину Na₂S₂O₃. Знайти: а) нормальність розчину тіосульфату натрію, б) його титр за йодом.

70. На титрування 20 мл розчину йоду витрачено 21,35 мл 0,1135 н. розчину Na₂S₂O₃. 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 визначуваною 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

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

ЗАВДАННЯ

71. Скільки грамів H_2SO_4 міститься в розчині, якщо на нейтралізацію потрібно 20,00 мл розчину $NaOH$, якщо його титр дорівнює 0,004614 г/мл?

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

73. Скільки міліграмів $NaOH$ міститься в розчині, якщо на його нейтралізацію витрачено 20,00 мл 0,2210 М розчину H_2SO_4 ?

74. Скільки міліграмів HCl міститься в розчині, якщо на його нейтралізацію витрачено 22,00 мл 0,1140 М розчину Na_2CO_3 ?

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

76. Скільки міліграмів Na_2CO_3 міститься в розчині, якщо на його нейтралізацію до H_2CO_3 витрачено 23,00 мл 0,1020 н. розчину HCl ?

77. Розрахувати процентний вміст бури $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ в забрудненому зразку, якщо при титруванні наважки масою 0,8750 г витрачено 20,40 мл 0,2120 н. розчину HCl .

78. На титрування Fe^{2+} у розчині, отриманому з 0,2115 г руди, що містить залізо, витрачено 24,18 мл розчину $KMnO_4$, титр якого за киснем дорівнює 0,0008112 г/мл. Розрахувати процентний вміст Fe_2O_3 в руді.

79. Аналізуючи наважку доломіту масою 0,2435 г, виділили Ca^{2+} у вигляді CaC_2O_4 , на титрування якого витрачено 42,20 мл розчину $KMnO_4$, при цьому $T(KMnO_4 / Fe) = 0,005139$ г/мл. Скільки відсотків $CaCO_3$ міститься в доломіті?

4.7. Обчислення концентрації іонів H^+ та рН розчинів кислот і лугів

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

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

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 якої-небудь кислоти визначається трьома факторами: ступенем дисоціації кислоти α , основністю кислоти k й молярною концентрацією кислоти, що можна записати таким чином:

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

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, то ступінь дисоціації можна обчислити відповідно до закону розведення Оствальда:

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

ЗАВДАННЯ

80. Обчислити рН: а) 0,040 н. розчину H_2SO_4 , якщо $\alpha = 1$; б) 0,005 н. розчину KOH , коли $\alpha = 1$.

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

82. Визначити концентрацію OH^- у розчині, рН якого дорівнює 12,2.

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

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

85. Стосовно 0,10 н. 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 н. розчину HCl додано 30 мл 0,1135 н. розчину 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 водню 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 $C_H(a)$, лугу – $C_H(b)$. При цьому

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

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

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 $C'_H(a)$ або лугу $C'_H(b)$, а саме:

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

Припускаючи, що дисоціація повна, $[H^+] = C_H(a)$, $[OH^-] = C_H(b)$, $pH = -\lg[H^+]$, $pOH = -\lg[OH^-]$.

Приклад. До 50 мл 0,2 н. розчину HCl додано 25 мл 0,1 н. 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

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

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 (с), 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 $C_{\text{H}}(\text{с})$ у розчині, яка дорівнює концентрації солі, що утворилася, тобто

$$C_{\text{H}}(\text{с}) = \frac{n_{\text{e}}(\text{b}) \cdot 1000}{V}.$$

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



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

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

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

Приклад. До 100 мл 0,1 н. розчину CH_3COOH долило 40 мл 0,1 н. розчину NaOH . Обчислити pH отриманого розчину, якщо $K(\text{CH}_3\text{COOH}) = 1,86 \cdot 10^{-5}$. Розрахунок виконуємо в такій послідовності:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ЗАВДАННЯ

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

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

89. Розрахувати рН розчину, отриманого при титруванні, якщо до 20 мл 0,1 н. розчину CH₃COOH долити такі кількості 0,1 н. розчину NaOH: а) 18 мл, б) 20 мл, в) 21 мл.

90. Шляхом титрування було нейтралізовано на 80 % 0,1 н. розчин CH₃COOH за допомогою 0,1 н. розчину NaOH. Розрахувати рН отриманого розчину.

Єгоров Павло Олексійович
Нетяга Ольга Борисівна
Тарасова Ганна Володимирівна

ТЕХНІЧНИЙ АНАЛІЗ МІНЕРАЛЬНОЇ СИРОВИНИ.

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
ДО САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЗАДАЧ
СТУДЕНТАМИ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ НАПРЯМУ
ПІДГОТОВКИ 6.050303 ПЕРЕРОБКА КОРИСНИХ КОПАЛИН

Редактор О.Н. Ільченко

Підписано до друку 13.05.2010. Формат 30x42/4.

Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 1,7.

Обл.-вид. арк. 1,9. Тираж 50 прим. Зам №

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