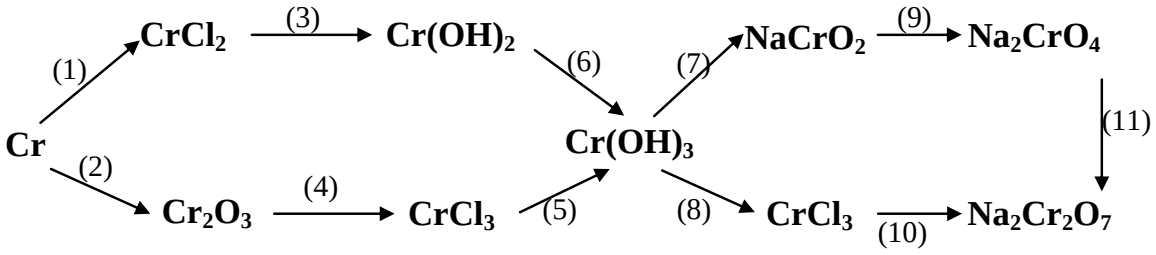
8 клас

Задача 1 (11 *балів*)

Напишіть та урівняйте рівняння реакцій, за допомогою яких можна здійснити такі перетворення:



Розв'язок

1) Хром реагує з розбавленою HCl: $Cr + 2HCl_{(розб.)} = CrCl_2 + H_2\uparrow$

2) При нагріванні порошкоподібний Cr легко згоряє у кисню:

$$4Cr + 3O_2 = 2Cr_2O_3$$

3) При взаємодії хлорид хрому(II) $CrCl_2$ з лугами утворюється осад хром (II) гідроксиду жовтого кольору: $CrCl_2 + 2NaOH = Cr(OH)_2\downarrow + 2NaCl$.

4) Хром (III) оксид Cr_2O_3 у дрібнодисперсному стані розчиняється у сильних кислотах: $Cr_2O_3 + 6HCl = 2CrCl_3 + 3H_2O$.

5) Дією лугів на хлорид хрому (III) добувають хром (III) гідроксид:

$$CrCl_3 + 3NaOH = Cr(OH)_3\downarrow + 3NaCl.$$

6) $Cr(OH)_2$ легко окиснюється киснем повітря у хром (III) гідроксид:

$$4Cr(OH)_2 + O_2 + 2H_2O = 4Cr(OH)_3.$$

7) При сплавлянні хром (III) гідроксиду $Cr(OH)_3$ з лугами утворюються метахроміти: $Cr(OH)_3 + NaOH = NaCrO_2 + 2H_2O$.

8) При розчиненні хром (III) гідроксиду в кислотах утворюються солі хрому(III): $Cr(OH)_3 + 3\,HCl = CrCl_3 + 3H_2O$.

9) Хроміт іони в лужному середовищі окиснюються в хромат іони:

$$2NaCrO_2 + 2NaOH + 3H_2O_2 = 2Na_2CrO_4 + 4H_2O.$$

10) Під дією сильних окисників:

$$2CrCl_3 + 2NaCl + 3H_2O_2 + H_2O = Na_2Cr_2O_7 + 8HCl.$$

11) Хромати під дією кислоти переходять у дихромати:

$$2Na_2CrO_4 + 2HCl_{(розб.)} = Na_2Cr_2O_7 + 2NaCl + H_2O.$$

Задача 2 (10 *балів*)

Через трубку, у якій знаходиться 55 г Na_2O_2 пропустили 1 л (н. у.) газової суміші, що містить 15 % O_2, 10 % CO_2 та 75 % N_2 за об'ємом. Визначте вміст кисню (у об. %) у суміші газів після реакції.

Розв'язок

1) Оскільки 1 л газової суміші містить 15 % O_2, 10 % CO_2 та 75 % N_2 за об'ємом, то $V(O_2) = 0{,}15 \cdot 1$ л $= 0{,}15$ л; $V(CO_2) = 0{,}1 \cdot 1$ л $= 0{,}1$ л; $V(N_2) = 0{,}75 \cdot 1$ л $= 0{,}15$ л.

2) Na_2O_2 взаємодіє з CO_2 за реакцією: $2\,Na_2O_2 + 2\,CO_2 = 2\,Na_2CO_3 + O_2$.

$n(Na_2O_2) = \frac{55}{78} = 0{,}71$ моль; $n(CO_2) = \frac{0{,}1}{22{,}4} = 0{,}004$ моль

8 клас

Na_2O_2 – у надлишку, а CO_2 – у недостачі (повністю прореагує), тому розрахунки об'єму O_2 проводимо за CO_2.

3) Об'єм кисню, що утворився: $\frac{0,1}{2 \cdot 22,4} = \frac{x}{22,4}$, де x = $\frac{0,1 \cdot 22,4}{2 \cdot 22,4}$ = 0,05 л

4) Оскільки CO_2 прореагував повністю, а внаслідок реакції ще утворився кисень, то об'єм суміші газів становить:

V(суміші) = 1 - 0,1 + 0,05 = 0,95 л

5) Вміст кисню у суміші становить: $\varphi(O_2) = \frac{0,15+0,05}{0,95}$ = **21 об. %**

Задача 3 (12 *балів*)

Через каталізатор пропустили 89,6 л (за н.у.) суміші азоту та водню. Після завершення реакції суміш займала об'єм 67,2 л (за н.у.). Цю суміш пропустили через 100 мл 12% розчину аміаку (ρ = 0,95 г/см^3). Визначте концентрацію аміаку (у мас. %) в одержанному розчині.

Розв'язок

1) $N_2 + 3H_2 \leftrightarrow 2NH_3$

Нехай x – об'єм азоту, що витратився у реакції, тоді $V(H_2) = 3x$; $V(NH_3) = 2x$

89,6 – x – 3x + 2x = 67,2; 89,6 – 4x + 2x = 67,2; 2x = 22,4; x = 11,2 л

$V(NH_3) = 2x = 11,2 \times 2 = 22,4$ л;

2) $\upsilon(NH_3) = 22,4$ л / 22,4 л/моль = 1 моль; $M(NH_3) = 17$ г/моль

$m(NH_3) = \upsilon(NH_3) \times M(NH_3) = 1$ моль × 17 г/моль = 17 г

3) m_1(р-ну) = V(р-ну) × ρ(р-ну) = 100 см^3 × 0,95 г/см^3 = 95 г

m_2(р-ну) = 95 г + 17 г (NH_3) = 112 г

4) $m_1(NH_3) = m_1$(р-ну) × $\omega(NH_3)$ / 100% = 95 × 12 / 100 = 11,4 г

$m_2(NH_3)$ = 11,4 г + 17 г = 28,4 г

5) $\omega(NH_3) = m_2(NH_3) / m_2$(р-ну) × 100% = 28,4 / 112 × 100 = **25,4 мас. %**

Задача 4 (15 *балів*)

Суміш порошків цинку, міді та магнію масою 8,5 г обробили надлишком хлоридної кислоти, виділилось 3,36 л газу. Нерозчинний залишок розчинили в концентрованій нітратній кислоті з виділенням 0,56 л газу (н.у.). Запишіть та урівняйте рівняння описаних в умові хімічних реакцій. Визначте масову частку (з точністю до сотих) магнію в початковій суміші.

Розв'язок

1) Записуємо рівняння реакції взаємодії міді (нерозчинного залишку) з концентрованою нітратною кислотою (HNO_3):

$$Cu + 4HNO_{3конц.} = Cu(NO_3)_2 + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

2) Визначаємо вміст Cu, виходячи з рівняння реакції та умови задачі, складаємо пропорцію:

З 1 моля (64 г) Cu утворюється 2 молі (за н.у. 44,8 л) NO_2

x г Cu 0,56 л газу

8 клас

$$x = \frac{64 \cdot 0,56}{44,8} = \frac{35,84}{44,8} = 0,8 \text{ г}$$

3) Визначаємо вміст (г) Zn та Mg в 8,5 г суміші порошків металів

$$m(Zn) + m(Mg) = 8,5 - 0,8 = 7,7 \text{ г}$$

4) Записуємо рівняння реакції взаємодії Zn та Mg з хлоридною кислотою (HCl)

$$Zn + 2HCl = ZnCl_2 + H_2\uparrow; \qquad Mg + 2HCl = MgCl_2 + H_2\uparrow$$

5) Позначаємо через ***x*** масу Zn в суміші з Mg, а через y_1 – об'єм виділеного H_2 і складаємо пропорцію:

65 г – 22,4 л H_2

x г – y_1 л H_2

звідси записуємо вираз для визначення y_1: $y_1 = \frac{22,4 \cdot x}{65}$

6) Позначаємо масу Mg, яка провзаємодіяла з HCl через (7,7 – ***x***), а y_2 - об'єм виділеного H_2 і складаємо пропорцію:

24 г – 22,4 л H_2

(7,7 – ***x***) г – y_2 л H_2

звідси: $y_2 = \frac{22,4 \cdot (7,7 - x)}{24}$

7) Записуємо сумарне рівняння: $\frac{22,4 \cdot x}{65} + \frac{22,4 \cdot (7,7 - x)}{24} = 3,36$ л

9) Розв'язуємо це рівняння:

$$24 \cdot 22,4x + 65 \cdot (172,48 - 22,4x) = 3,36; \qquad 918,4x = 5969,2$$

$$x = \frac{5969,2}{918,4} = 6,5 \text{ г}$$

10) Визначаємо вміст (г) Mg в суміші порошків:

7,7 г – 6,5 г = 1,2 г Mg

11) Визначаємо масову частку Mg в початковій суміші порошків:

8,5 г – 100%

1,2 г – ***x*** %

x = **14,12 мас.%**

Задача 5 (12 *балів*)

При розчиненні певної маси речовини **X** у надлишку розчину кислоти виділилось 1,2 *л* газу **A**. При розчиненні такої ж маси речовини **X** у надлишку розчину лугу виділилось 11,2 *л* газу **Б**, від якого зволожений лакмусовий папірець змінює забарвлення з червоного на синє. Густина газу **A** у 2,59 раз більша, ніж густина газу **Б**. Визначте речовину **X** і зазначте її масу (у *г*, з точністю до десятих), взяту для реакції з кислотою.

Розв'язок

1) **X** + кислота(надлишок) = **A**↑; **X** + луг(надлишок) = **Б**↑

V(**A**) = V(**Б**) = 11,2 л; ρ = m(газу) / V(газу)

Оскільки об'єми газів однакові, то співвідношення густин справедливе і для мас (молярних мас): M(**Б**) × 2,59 = M(**A**)

8 клас

2) Невідоий газ **Б** – це аміак, оскільки у воді він утворює систему, в якій співіснують молекули аміаку, іони амонію та гідроксид-іони, які в свою чергу, змінюють забарвлення лакмусового папірця з червоного на синє (лужне середовище).

3) M(**Б**) = 17 г/моль (NH_3), тоді

M(**А**) = M(**Б**) × 2,59 = 17 × 2,59 = 44 г/моль (CO_2)

4) Невідомою речовиною X може бути кисла сіль амоній гідрогенкарбонату NH_4HCO_3 або середня сіль амоній карбонату $(NH_4)_2CO_3$.

а) $NH_4HCO_3 + HCl(\text{надлишок}) = CO_2\uparrow + H_2O + NH_4Cl$

1 моль 1 моль

$NH_4HCO_3 + 2NaOH(\text{надлишок}) = NH_3\uparrow + 2H_2O + Na_2CO_3$

1 моль 1 моль

б) $(NH_4)_2CO_3 + 2HCl(\text{надлишок}) = CO_2\uparrow + H_2O + 2NH_4Cl,$

1 моль 1 моль

$(NH_4)_2CO_3 + 2NaOH(\text{надлишок}) = 2NH_3\uparrow + 2H_2O + Na_2CO_3$

1 моль 2 моль

5) Оскільки в умові сказано, що при використанні в реакціях однакової кількості речовини **X**, утворюється однаковий об'єм газів **А** та **Б**, то невідомою речовиною **X** є кисла сіль амоній гідрогенкарбонату NH_4HCO_3

$NH_4HCO_3 + HCl(\text{надлишок}) = CO_2\uparrow + H_2O + NH_4Cl$

x г 11,2 л

79 г/моль 22,4 л/моль

x = 79 г/моль × 11,2 л / 22,4 л/моль = **39,5 г NH_4HCO_3**

Задача 6 (20 *балів*)

Під скляним ковпаком поміщають у відкритих ємкостях 400 *г* насиченого розчину сульфату магнію та 20 *г* безводного сульфату натрію. У результаті поглинання парів води сульфат натрію перетворюється в кристалогідрат $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$.

Визначте масу кристалогідрату сульфату магнію $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, який випаде в осад з розчину після завершення гідратації сульфату натрію. Розчинність сульфату магнію – 35,5 *г* на 100 *г* води.

Розв'язок

1) Запишемо рівняння реакції сульфату натрію з водою з утворенням кристалогідрату та складемо пропорцію з врахуванням молярних мас сульфату магнію та води:

20 (г) *m* (г)

$$Na_2SO_4 + 10\,H_2O \rightarrow Na_2SO_4 \cdot 10\,H_2O$$

142 (г/моль) 10·18 (г/моль)

Розраховуємо масу прореагованої води, ця кількість води випарує з насиченого розчину сульфату магнію:

$$m(H_2O) = \frac{20 \cdot 10 \cdot 18}{142} = 25{,}35\ (г).$$

8 клас

2) Враховуючи розчинність сульфату магнію, знаходимо масу $MgSO_4$, розчиненого у 400 г розчину:

$$m(MgSO_4) = \frac{35,5 \cdot 400}{(100+35,5)} = 104,80 \text{ (г)}$$

.

3) Після випаровування 25,35 г води з насиченого розчину сульфату магнію утвориться суміш насиченого розчину та $MgSO_4 \cdot 7\ H_2O$ масою

400–25,35=374,65 (г).

4) Співвідношення $MgSO_4$ (M=120 г/моль) і H_2O у кристалогідраті $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ (M=246 г/моль) становить: 120 (г) до 7·18=126 (г)

5) Нехай маса кристалогідрату сульфату магнію $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, який випаде в осад з розчину становить *x* (г), тоді маса насиченого розчину (374,65–*x*) (г).

В розчині міститься $\frac{35,5}{135,5}(374,65-x)$ (г) $MgSO_4$, тоді в кристалогідраті міститиметься $\frac{120}{246}x$ (г) $MgSO_4$. Сумарна маса $MgSO_4$ рівна масі $MgSO_4$, початково розчиненого у 400 г розчину – 104,80 (г).

6) Сумарна маса сульфату магнію тоді запишеться у вигляді рівняння:

$$\frac{120}{246}x + \frac{35,5}{135,5}(374,65-x) = 104,8$$

Розв'язуючи це рівняння, отримаємо x = **29,40 (г) осаду $MgSO_4 \cdot 7\ H_2O$**.

9 клас

Задача 1 (16 *балів*)

Подрібнений сплав міді, заліза та алюмінію масою 2,500 *г* повністю розчинили, використавши спочатку концентровану сульфатну кислоту, а потім розведену, добавивши дистильованої води до утвореного розчину. Розчин випарували до сухих солей і розчинили у 100 $см^3$ дистильованої води (гідролізом солей знехтувати). У розчин занурили залізну пластинку, маса якої в результаті проходження реакції збільшилася з 10,10 до 10,26 *г*.

До відібраних 10,0 $см^3$ розчину додали кілька краплин концентрованої нітратної кислоти і прокип'ятили до закінчення виділення оксидів нітрогену. До цієї суміші додали розчину амоніаку до появи відчутного запаху, утворений осад відфільтрували. Після прокалювання осаду при 800 ºС його маса становила 0,2462 *г*.

- Напишіть та урівняйте всі рівняння реакцій, які описані в умові задачі.
- Визначте масові частки всіх компонентів у вихідному сплаві.
- Поясніть чому для повного розчинення сплаву було необхідно використовувати як концентровану, так і розведену сульфатну кислоти, а також чому перед зануренням залізної пластинки було необхідно випарувати розчин до сухих солей.

Розв'язок

1) Мідь не розчиняється у розведеній сульфатній кислоті, проте у концентрованій протікає наступна хімічна реакція:

$$Cu + 2H_2SO_4 = CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O \qquad (\mathbf{1}).$$

При цьому залізо та алюміній не розчиняються, оскільки пасивуються. Залізо та алюміній розчинятимуться лише після розведення концентрованої сульфатної кислоти:

$$Fe + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2\uparrow \qquad (\mathbf{2})$$

$$2Al + 3H_2SO_4 = Al_2(SO_4)_3 + 6H_2\uparrow \qquad (\mathbf{3})$$

2) При зануренні залізної пластинки у розчин солей сульфатів протікає реакція:

$$CuSO_4 + \underset{55,845}{\overset{y}{Fe}} = \underset{63,546}{\overset{x}{Cu}} + FeSO_4 \qquad (\mathbf{4})$$

Якщо попередньо розчин не випарити до сухих солей, то надлишок сульфатної кислоти міг би частково розчинити залізну пластинку.

3) Маса залізної пластинки зменшується внаслідок її розчинення і збільшується в результаті осадження на ній «вільної» міді:

$$10,26 = 10,10 - y + x \qquad (\mathbf{5})$$

A_{Fe} = 55,845 г/моль; A_{Cu} = 63,546 г/моль. З рівняння (**4**):

$$63,546\ y = 55,845\ x \qquad (\mathbf{6})$$

Розв'язавши систему двох рівнянь (**5–6**) з двома невідомими одержимо:

y = 1,160 г – маса розчиненого заліза; x = 1,320 г – маса осадженої міді.

4) Після відбору 10,0 мл розчину і додавання концентрованої нітратної кислоти при нагріванні протікає реакція окиснення феруму (II) сульфату:

$$6FeSO_4 + 2HNO_3 + 3H_2SO_4 = 3Fe_2(SO_4)_3 + 2NO\uparrow + 4H_2O.$$

В іонному вигляді: $Fe^{2+} + 2NO_3^- + 8H^+ = Fe^{3+} + 2NO\uparrow + 4H_2O.$

5) Після додавання розчину амоніаку :

$$6NH_4OH + Fe_2(SO_4)_3 = 2Fe(OH)_3\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4$$

$$Al_2(SO_4)_3 + 8NH_4OH = 2NH_4[Al(OH)_4] + 3(NH_4)_2SO_4$$

6) Після прокалювання осаду феруму (III) гідроксиду

$$2Fe(OH)_3 = Fe_2O_3 + 3H_2O$$

за масою утвореного феруму (III) оксиду знаходимо загальну масу феруму в аліквоті розчину. $M(Fe_2O_3) = 159{,}69$ г/моль. Складаємо пропорцію:

159,69 г Fe_2O_3 – 2•55,845 г Fe

0,2462 г Fe_2O_3 – x г Fe

$$m^1_{Fe} = x = \frac{0{,}2462 \cdot 2 \cdot 55{,}845}{159{,}845} = 0{,}1720\ г$$

7) Оскільки для аналізу було взято лише частину розчину (10 мл зі 100 мл), то маса феруму у розчині становила:

$$m_{Fe} = \frac{0{,}1720}{10} \cdot 100 = 1{,}720\ г$$

8) При відновленні міді залізною пластинкою (рівняння **4**) у розчин додатково перейшло ще 1,160 г заліза із залізної пластинки. Отже маса заліза у сплаві становила: M(Fe) = 1,720 – 1,160 = 0,56 г

9) Масу алюмінію визначаємо за різницею маси сплаву і суми мас міді та заліза:

$$m(Al) = m_{спл.} - m(Fe) - m(Cu) = 2{,}500 - 1{,}320 - 0{,}56 = 0{,}62\ г$$

10) Розраховуємо масові частки компонентів сплаву:

m(Cu) = 1,320 г, ω(Cu) = 1,320·100/2,5 = 52,8 %

m(Fe) = 0,56 г, ω(Fe) = 0,56·100/2,5 = 22,4 %

m(Al) = 0,62 г, ω(Al) = 0,62·100/2,5 = 24,8 %

Задача 2 (11 *балів*)

У хіміка наявний розчин KOH з масовою часткою ω_{KOH}=2,93 *мас. %* (розчин **1,** ρ=1,025 г/*см*^{3})

1) Обчисліть молярну концентрацію C_1 розчину **1**.
2) Скільки *мл* розчину **1** з C_1 треба використати, щоб, доливши дистильованої води, одержати $1{,}0 \cdot 10^3$ *мл* розчину з C_2= 0,100 *моль/л*? (розчин **2**)
3) Скільки води треба долити до 100 *мл* розчину **1** з C_1 , щоб одержати розчин **3** з C_3= 0,175 *моль/л*?
4) Скільки мл розчину **2** з C_2= 0,100 *моль/л* треба додати до 100 *мл* розчину **3** з C_3= 0,175 *моль/л*, щоб одержати розчин **4** з C_4= 0,12 *моль/л*?
5) Обчислити pH розчину **4** з C_4= 0,12 *моль/л*.
6) Обчислити титр *T* (у *мг/мл*) розчину **4** з C_4= 0,12 *моль/л*.
7) Який об'єм розчину **4** треба витратити, щоб повністю нейтралізувати 20 *мл* сульфатної кислоти з молярною концентрацією *C*= 0,18 *моль/л*?
8) Реакція нейтралізації $H^+ + OH^- = H_2O$ супроводжується виділенням тепла. Її тепловий ефект становить 57 *кДж/моль*. Скільки тепла виділиться внаслідок нейтралізації 20 мл сульфатної кислоти з молярною концентрацією *C*= 0,18 моль/л розчином **4** (згідно п.7 задачі)?
9) Як називають реакції, які супроводжуються виділенням тепла?

9 клас

Розв'язок

1) $\omega = \frac{m_{\text{KOH}}}{m_{\text{розч}}} \cdot 100\% = \frac{m_{\text{KOH}}}{\rho \cdot V_{\text{розч}}} \cdot 100\%$; $C_{\text{KOH}} = \frac{m_{\text{KOH}}}{M_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{розч}}}$; $C_{\text{KOH}} = \frac{\omega \cdot \rho}{M_{\text{KOH}} \cdot 100}$

$\frac{\omega}{100} \cdot \rho \cdot V_{\text{розч}} = C_{\text{KOH}} \cdot M_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{розч}}$; $C_{1,\text{KOH}} = \frac{2{,}93 \cdot 1{,}025 \cdot 1000}{56 \cdot 100} = 0{,}5363$ моль/л

Множник 1000 з'явився внаслідок того, що густину в умові подано в г/см^3, а концентрацію обчислюємо в моль/л (1 л = 1000 см^3).

2) $C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2$; $V_{1,\text{KOH}} = \frac{0{,}100 \cdot 1{,}0 \cdot 10^3}{0{,}5363} = 186{,}5$ мл

3) $0{,}175 \cdot (100 + V_3) = 0{,}5363 \cdot 100$; $\boldsymbol{V_3 = 206{,}5}$ **мл**

4) $0{,}175 \cdot 100 + 0{,}100 \cdot V_4 = 0{,}12 \cdot (100 + V_4)$; $\boldsymbol{V_4 = 275{,}0}$ **мл**

5) pH=14-pOH=14+lgC_4=14-0,92=**13,08**

6) $T = \frac{m_{\text{KOH}}}{V_{\text{розч}}}$; $T \cdot V_{\text{розч}} = C_{\text{KOH}} \cdot M_{\text{KOH}} \cdot V_{\text{розч}}$;

$T = C_{\text{KOH}} \cdot M_{\text{KOH}} = 0{,}12 \cdot 56 = 6{,}72$ г/л = $6{,}72$ мг/мл

7) $C_{\text{M},\,H_2SO_4} = 0{,}18$ моль/л, $C_{\text{E},\,H_2SO_4} = 0{,}36$ моль/л

$0{,}36 \cdot 20 = 0{,}12 \cdot V$; $\boldsymbol{V = 60}$ **мл**

8) Під час нейтралізації у п. 7 задачі утвориться вода:

$$n_{H^+} = n_{OH^-} = n_{H_2O} = 0{,}0072 \text{ моль}$$

Тому виділиться тепла: $\boldsymbol{Q}$=57·0,0072=0,4104 кДж=**410,4 Дж**.

9) Реакції, які супроводжуються виділенням тепла, називають ***екзотермічними***.

Задача 3(19 *балів*)

Тверда речовина темно-фіолетового кольору **А** за нагрівання розкладається на речовини **Б, В** і газ **Г**. За наявності речовини **В** такий самий газ **Г** утворюється в разі розкладання твердої речовини **Д** (цю речовину використовують при виготовленні сірників), та у разі розкладання речовини **Е,** яка існує лише у її водному розчині. У випадку розкладання речовини **Д** за відсутності речовини **В** продуктами є речовини **Є** та **Ж**.

Додатково відомо, що при взаємодії речовин **А** та **Е** у підкисленому розчині також одним із продуктів є газ **Г.** При дії концентрованої сульфатної кислоти на суху речовину **Є** можна отримати газ **З**, який добре розчиняється у воді. У разі взаємодії водних розчинів речовин **А** + **З, В** + **З** і **Д** + **З**, у числі продуктів усіх трьох реакцій утворюється токсичний газ **И**.

- Запишіть формули усіх вказаних речовин **А–И** та зазначте ступені окиснення елементів.
- Урівняйте усі згадані в умові рівняння реакцій.
- Зазначте, яку роль відіграє речовина **В** у реакціях розкладання **Д** та **Е**.
- Для речовин **А**, **Д**, **Е** та **Є** вкажіть їхні тривіальні назви та наведіть приклади практичного застосування.

9 клас

Розв'язок

1)

А – $KMnO_4$ – калій перманганат, марганцівка;
Б – K_2MnO_4 – калій манганат (VI);
В – MnO_2 – манган (IV) оксид;
Г – O_2 – кисень;
Д – $KClO_3$ – калій хлорат, бертолетова сіль;
Е – H_2O_2 – гідроген пероксид, перекис водню;
Є – KCl – калій хлорид, мінерал сильвін;
Ж – $KClO_4$ – калій перхлорат;
З – HCl – хлороводень (газ), хлоридна кислота (водний розчин);
И – Cl_2 – хлор.

2) $2K^{+1}Mn^{+7}O_4 = K^{+1}{}_2Mn^{+6}O_4 + MnO_2 + O_2$;
$2KCl^{+5}O_3{}^{-2} = 2KCl^{-1} + 3O_2{}^0$ (MnO_2 – каталізатор);
$2H_2O_2 = 2H_2O + O_2$ (MnO_2 – каталізатор);
$4KCl^{+5}O_3 = 3KCl^{+7}O_4 + KCl^{-1}$;
$2KMnO_4 + 5H_2O_2 + 3H_2SO_4 = 2MnSO_4 + K_2SO_4 + 5O_2 + 8H_2O$;
KCl (тв) + H_2SO_4 (конц) = $KHSO_4 + HCl$;
$2KMnO_4 + 16HCl = 2KCl + 2MnCl_2 + 5Cl_2 + 8H_2O$;
$Mn^{+4}O_2 + 4HCl^{-1} = Mn^{+2}Cl_2 + Cl_2{}^0 + 2H_2O$;
$KClO_3 + 6HCl = KCl + 3Cl_2 + 3H_2O$;

3) Розбавлені розчини (близько 0,1%) **калій перманганату** застосовують у медицині як антисептичний засіб, для полоскання горла, промивання ран, обробки опіків, а також при отруєннях для промивання шлунка. У кількісному аналізі калій перманганат, як сильний окисник, використовують у титриметричних методах аналізу (окисно-відновне титрування, перманганатометрія), хімічного споживання кисню при оцінці якості води (метод Кубеля).

Інші сфери застосування:

- Лужний розчин калій перманганату добре відмиває лабораторний посуд від жирів і інших органічних речовин.
- Розчини (концентрації приблизно 3 г/л) широко застосовуються для тонування фотографій.
- У піротехніці застосовують як сильний окиснювач.
- Застосовують як каталізатор розкладу перекису водню в космічних рідинно-ракетних двигунах.
- Водний розчин калій пермаганату використовується для травлення дерева, як морилка.

4) **Гідроген пероксид** (перекис водню) H_2O_2 застосовують для відбілювання паперу, шкіри, хутра, текстильних матеріалів, олій, жирів. Окисник у складі ракетних палив. Дезінфекційний засіб для знешкодження побутових та промислових стічних вод. В хімічному синтезі: для добування органічних і неорганічних пероксидів, епоксидів, гліколів тощо.

У медицині розчин перекису водню (зазвичай 3%) застосовують як антисептичний засіб. При контакті із пошкодженою шкірою чи слизовими оболонками перекис водню під впливом каталази розщеплюється з активним виділенням кисню, що сприяє згортанню крові та створює несприятливі умови для розвитку мікроорганізмів.

5) Суміші **бертолетової солі $KClO_3$** з різними горючими речовинами здатні вибухати від удару. Тому бертолетову сіль застосовують для виготовлення запалів, у піротехніці, сірниковій промисловості.

6) **KCl** у вигляді мінералу сильвіну широко застосовується в сільському господарстві як калійне добриво. Крім того, є сировиною для одержання калій гідроксиду та інших сполук калію. Іноді застосовується як добавка до кухонної солі (так звана «сіль з пониженим вмістом натрію»).

Задача 4 (12 *балів*)

Визначали вміст двох важких токсичних металів у фруктах. Для цього пробу яблука масою 200,0 *г* подрібнили, розтерли і озолили термічно до сухого залишку, який розчинили у розчині нітратної кислоти. До половини одержаного розчину додали натрій сульфід, маса утвореного осаду становила 0,0010 *г*. До другої половини додали калій йодид, маса осаду – 0,0008 *г*. Прийміть до уваги, що перший метал утворює важкорозчинні сульфат, йодид, сульфід та малорозчинний хлорид, другий – важкорозчинний сульфід жовтого кольору.

Обчисліть вміст металів у *мг/кг* яблук. Чи можна вважати, що яблука забруднені цими металами, якщо їхні допустимі вмісти не повинні перевищувати 0,5 *мг/кг*?

Розв'язок

1) Після озолення (спалювання органічних складових) і повного розчинення сухого залишку у нітратній кислоті всі метали переходять у розчин у вигляді нітратів. За даними задачі можна припустити, що невідомі метали це Pb і Cd, які утворюють осади згідно рівнянь реакцій:

$Pb(NO_3)_2 + Na_2SO_4 = PbSO_4\downarrow + 2NaNO_3$ ($PbSO_4\downarrow$ - білого кольору)

$Pb(NO_3)_2 + 2NaCl = PbCl_2\downarrow + 2NaNO_3$ ($PbCl_2\downarrow$ - білого кольру)

$Pb(NO_3)_2 + 2KI = PbI_2\downarrow + 2KNO_3$ ($PbI_2\downarrow$ - жовтого кольору)

$Pb(NO_3)_2 + Na_2S = PbS\downarrow + 2NaNO_3$ ($PbS\downarrow$ - чорного кольору)

$Cd(NO_3)_2 + Na_2S = CdS\downarrow + KNaNO_3$ ($CdS\downarrow$ - золотисто-жовтого кольору)

2) За масою осаду, який випадає при додаванні калій йодиду можна визначити масу Плюмбуму у розчині: $Pb(NO_3)_2 + 2KI = PbI_2\downarrow + 2KNO_3$ або

$$\overset{x}{\underset{207,2}{Pb^{2+}}} + 2I^- = \overset{0,0008}{\underset{461,0}{PbI_2}}$$

$M(PbI_2)$ = 461,0 г/моль; $A(Pb)$ = 207,2 г/моль

$$m_{Pb} = x = \frac{207,2 \cdot 0,0008}{461,0} = 0,00036\,г$$

3) При додаванні натрій сульфіду в осад випадає і плюмбум сульфід, і кадмій сульфід: $Pb(NO_3)_2 + Na_2S = PbS\downarrow + 2NaNO_3$

$Cd(NO_3)_2 + Na_2S = CdS\downarrow + KNaNO_3$

В іонному вигляді: $\overset{0,00036}{\underset{207,2}{Pb^{2+}}} + S^{2-} = \overset{y}{\underset{239,3}{PbS}}\downarrow$

$M(PbS)$ = 239,3 г/моль. Знаючи масу Плюмбуму, можна розрахувати масу осаду $PbS\downarrow$:

9 клас

$$m_{PbS} = y = \frac{0{,}00036 \cdot 239{,}3}{207{,}2} = 0{,}000416 \text{ г}$$

4) За різницею сум мас осадів і маси плюмбум сульфіду, знаходимо масу осаду кадмій сульфіду: $m(CdS) = m_{сум} - m(PbS) = 0{,}0010 - 0{,}000416 = 0{,}000584$ г

$M_{CdS} = 144{,}5$ г/моль; $M_{Cd^{2+}} = 112{,}4$ г/моль. З рівняння:

$$\underset{112,4}{\overset{z}{Cd^{2+}}} + S^{2-} = \underset{144,5}{\overset{0,000584}{CdS}}\downarrow ; \qquad m_{Cd} = z = \frac{0{,}000584 \cdot 112{,}4}{144{,}5} = 0{,}00045 \text{г}$$

5) Розрахуємо вміст плюмбуму і кадмію в перерахунку на 1 кг яблук:

$$P_{Me} = \frac{m_{Me}}{m_{íàâ}} \cdot 1000; \qquad P_{Pb} = \frac{0{,}00036 \cdot 2}{200} \cdot 1000 = 0{,}0036 \text{г/кг} = 3{,}6 \text{ мг/кг}$$

$$P_{Cd} = \frac{0{,}00045 \cdot 2}{200} \cdot 1000 = 0{,}0045 \text{ г/кг} = 4{,}5 \text{ мг/кг}$$

6) Отже, вміст плюмбуму і кадмію в яблуках перевищує допустимі норми в 3,6/0,5 = **7,2** і 4,5/0,5 = **9,0** разів відповідно.

Задача 5 (12 *балів*)

Природний газ, який використовують для опалення, містить перші чотири гомологи вуглеводнів і негорючі гази. Вміст (за стандартних умов) найлегшого з вуглеводнів – 92 *об. %*, другого – у 2 рази більший, ніж третього, а останнього – у 3 рази менший, ніж третього. На негорючі домішки в суміші припадає 6 *об. %*. Стандартна теплота (за температури 25 С) спалювання цих вуглеводнів становить 890,95; 1560,92; 2221,52; та 2880,43 *кДж/моль* відповідно.

- Напишіть та урівняйте рівняння реакцій горіння вуглеводнів.
- Розрахуйте кількість теплоти, яка виділиться при спалюванні 1 *м*^{3} природного газу.
- Згідно з державними нормативами, теплота спалювання 1 *м*^{3} природного газу повинна становити не менше 8000 *ккал* (за температури 25 С і тиску 1 *атм*). Обчисліть об'єм природного газу, який треба спалити для отримання теплоти 8000 *ккал*, якщо 1 *кал* = 4,1868 *Дж*.

Розв'язок

1) Перші насичені вуглеводні, які є складовими природнього газу є: CH_4, C_2H_6, C_3H_8, C_4H_{10}.

2) Сумарний вміст етану, пропану та бутану у природному газі розраховуємо за різницею: $\varphi_{сум.} = 100 - 92 - 6 = 2$ об. %

Якщо x – вміст C_4H_{10}, тоді 6x + 3x+ x = 2, звідси x = 0,2 (об. %).

Отже: $\varphi(CH_4)$ – 92 об. %, $\varphi(C_2H_6)$ – 1,2 об. %, $\varphi(C_3H_8)$ – 0,6 об. %, $\varphi(C_4H_{10})$ – 0,2 об. %.

У перерахунку на 1 м^3: $V_{CH_4} = \frac{1 \cdot 92}{100} = 0{,}920 \text{ м}^3(920 \text{ дм}^3)$;

$V_{C_2H_6} = \frac{1 \cdot 1{,}2}{100} = 0{,}012 \text{ м}^3(12 \text{ дм}^3)$; $V_{C_3H_8} = \frac{1 \cdot 0{,}6}{100} = 0{,}006 \text{ м}^3(6 \text{ дм}^3)$;

$V_{C_4H_{10}} = \frac{1 \cdot 0{,}2}{100} = 0{,}002 \text{ м}^3(2 \text{ дм}^3)$.

9 клас

3) Обчислимо молярний об'єм газу за температури 298 К і кількості (в моль) газів:

$$\frac{V_{298}}{298} = \frac{22,4}{273}, \quad V_{298} = \frac{22,4 \cdot 298}{273} = 24,45 \text{ дм}^3/\text{моль}$$

$$\nu_{CH_4} = \frac{1000}{22,45} \cdot 0,920 = 37,62 \text{ моль}; \quad \nu_{C_2H_6} = \frac{1000}{24,45} \cdot 0,012 = 0,490 \text{ моль};$$

$$\nu_{C_3H_8} = \frac{1000}{24,45} \cdot 0,006 = 0,245 \text{ моль}; \quad \nu_{C_4H_{10}} = \frac{1000}{24,45} \cdot 0,002 = 0,082 \text{ моль};$$

4) Рівняння горіння газів: $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$

$$2C_2H_6 + 7O_2 = 4CO_2 + 6H_2O$$

$$C_3H_8 + 5O_2 = 3CO_2 + 4H_2O$$

$$2C_4H_{10} + 13O_2 = 8CO_2 + 10H_2O$$

4) Теплота згоряння газів $E_{зг}$ (за температури 25° С):

$Q_{зг} = 37,62$ моль × 890,95 кДж/моль + 0,490 моль × 1560,93 кДж/моль +

+ 0,245 моль × 2221,52 кДж/моль + 0,082моль × 2880,43 кДж/моль = 35062 кДж

Оскільки 1 кал = 4,1868 Дж: $Q_{зг} = \frac{35062}{4,1868} = 8374$ ккал

5) Розраховуємо об'єм суміші газів, необхідний для виділення 8000 ккал енергії:

1 м^3 – 8374 ккал

х м^3 – 8000 ккал $\quad V_{ñóì} = x = \frac{8000 \cdot 1}{8374} = 0,955$ м^3

Задача 6 (10 *балів*)

Для нейтралізації 11,1 *г* одноосновної карбонової кислоти було використано 30,0 *г* розчину натрій гідроксиду певної концентрації. 40,0 *г* розчину натрій гідроксиду такої ж концентрації кількісно (повністю) осаджує купрум(II) гідроксид із розчину, виготовленого розчиненням 25,0 *г* мідного купоросу.

Знайдіть формулу кислоти, зобразіть її графічну формулу та назвіть згідно з міжнародною номенклатурою IUPAC.

Розв'язок

1) Обчислюємо кількість моль речовини безводного купрум (II) сульфату:

$M(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 250$ г/моль; $\quad \nu(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 25/250 = 0,1$ моль.

Отже, $\nu(CuSO_4) = \nu(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 0,1$ моль.

2) За рівнянням реакції обчислюємо масу натрій гідроксиду, необхідного для осадження купрум (II) гідроксиду:

$$\underset{1,0}{\overset{0,1}{CuSO_4}} + 2\underset{2 \cdot 40}{\overset{x}{NaOH}} = Cu(OH)_2 \downarrow + Na_2SO_4; \qquad x = m_{NaOH} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 0,1}{1,0} = 8 \text{ г}$$

3) Отже, у розчині, масою 40 г міститься 8,0 г NaOH, а у 30 г розчину з такою ж концентрацією:

40 г р-ну – 8 г NaOH

30 г р-ну – у г NaOH

$$y = m_{NaOH} = \frac{30 \cdot 8}{40} = 6 \text{ г}$$

9 клас

4) За рівнянням реакції нейтралізації обчислюємо молярну масу карбонової кислоти і за загальною формулою карбонових кислот знаходимо її формулу:

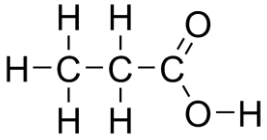
$$\underset{M}{\overset{11,1}{C_nH_{2n+1}COOH}} + \underset{40}{\overset{6}{NaOH}} = C_nH_{2n+1}COONa + H_2O$$

$$M_{C_nH_{2n+1}COOH} = \frac{11,1 \cdot 40}{6} = 74\,г/моль$$

$M(C_nH_{2n+1}COOH) = 12n + 2n + 1 + 12 + 32 + 1 = 74$, звідси $n = 2$

Отже, молекулярна формула кислоти: C_2H_5COOH або CH_3CH_2COOH.

5) Це – **пропанова кислота**



10 клас

Задача 1 (8 *балів*)

Зразок мінералу ($KCl \cdot MeCl_2 \cdot 6H_2O$) масою 2 *г* розчинили у 100 *мл* дистильованої води та додали 10 *мл* розчину арґентум нітрату з масовою часткою солі 2% (густина 1 г/см^3). В результаті випав білий сирнистий осад. Хімічний аналіз вказав на наявність в складі зразка 8,65% (мас.) невідомого металу.

- Обчисліть відносну атомну масу невідомого металу *Me*.
- Як називається мінерал, описаний в умові задачі, де він використовується.
- Обчисліть масу осаду, що випадає при додаванні розчину арґентум нітрату. Напишіть його склад.
- Які зміни можна спостерігати при додаванні до білого осаду, згаданого в задачі, 1000 *мл* водного розчину амоніаку.

Розв'язок

1) Припустимо що атомна маса невідомого металу складає x а.о.м. Тоді відносна молекулярна маса мінералу:

$$M_r(KCl \cdot MeCl_2 \cdot 6H_2O) = 39 + 35{,}5 + x + 2 \cdot 35{,}5 + 6 \cdot (2+16) = 253{,}5 + x$$

2) Використовуючи цей вираз для масовою частки невідомого елемента в маємо:

$$\varpi(Me) = \frac{A_r(Me)}{Mr(KCl \cdot MeCl_2 \cdot 6H_2O)} \qquad 0{,}0865 = \frac{x}{253{,}5 + x}$$

Розв'язавши рівняння встановлюємо що x = 24 а.о.м. Тож невідомий метал – **Магній**, а мінерал – **карналіт $KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O$**, який використовують як природне джерело сполук калію, сировину для виробництва магнію тощо.

3) Виходячи з умови задачі, реагують $7{,}2 \cdot 10^{-3}$ моль карналіту та $1{,}18 \cdot 10^{-3}$ моль арґентум нітрату. Перший в надлишку, тому обчислення маси осаду ведемо за кількістю солі Арґентуму та наступним хімічним рівнянням:

$$KCl \cdot MgCl_2 \cdot 6H_2O + 3AgNO_3 = 3\mathbf{AgCl}\downarrow + KNO_3 + Mg(NO_3)_2 + 6H_2O$$

4) Результат: випало $1{,}18 \cdot 10^{-3}$ *моль* або 0,17 *г* осаду **Арґентум хлориду**.

5) Враховуючи великий надлишок амоніаку порівняно з кількістю осаду хлориду, відбуватиметься розчинення відповідного осаду:

$$AgCl + 2NH_3 \rightarrow [Ag(NH_3)_2]Cl$$

Задача 2 (10 *балів*)

12 *л* суміші хлору, фтору та гелію за нормальних умов важить 18,75 *г*. Після збільшення тиску до 10 *атм*, відділення рідкої фази та повернення до нормальних умов об'єм суміші склав 10 *л*.

- Визначте склад вихідної суміші в об'ємних відсотках;
- Наведіть хоча б одну реакцію без використання електричного струму за допомогою якої можна добути фтор для приготування вихідної суміші. Опишіть умови перебігу відповідної реакції;
- З якого матеріалу слід виготовити резервуар для зберігання добутого фтору до приготування суміші. Аргументуйте свою відповідь.

10 клас

Розв'язок

1) Після збільшення тиску до 10 атм у рідкий стан переходить хлор, отже різниця об'ємі до і після стискання це об'єм хлору $V(Cl_2)$= 12 л – 10 л = 2 л, маса такої кількості хлору $m(Cl_2)$ = 2 *л*/22,4 *л*/*моль*·71 *г*/*моль*= 6,34 г.

2) Маса суміші після відділення хлору становить:

$$m(F_2 + HCl) = 18{,}75\ г - 6{,}34\ г = 12{,}41\ г.$$

3) Нехай в суміші *x* л фтору та (10–*x*) *л* гелію. Використовуючи мольні маси відповідних речовин знаходимо склад суміш після відділення хлору:

$$x \cdot 38/22{,}4 + (10 - x) \cdot 4/22{,}4 = 12{,}43$$

x= $V(F_2)$= 7 л; $V(He)$= 10 – 7 = 3 л.

4) Склад суміші: $\varphi(Cl_2)$= 2/12= 0,167; $\varphi(F_2)$= 7/12= 0,583;

$$\varphi(HCl) = 1 - 0{,}167 - 0{,}583 = 0{,}25.$$

5) Не зважаючи на найбільшу електронегативність Флуору, а отже формальну неможливість віддавати електрони іншим елементам, проста речовина фтор утворюється в багатьох реакція, які проходять за високої температури і відповідають розкладу або перетворенню сполук елементів з нетиповими (зазвичай дуже високим позитивним) ступенем окиснення, наприклад:

$2OF_2 = O_2 + 2F_2$	вище 200° С
$2CoF_3 = 2CoF_2 + F_2$	350-700° С
$2K[PtF_6] = 2PtF_4 + F_2 + 2KF$	750° С.

6) Для зберігання фтору слід користуватися посудиною із благородних металів (платина, іридій, але відбувається повільне руйнування), міді або нікелю (самочинно вкриваються щільним шаром купрум фториду, окиснення припиняється), спеціальних конструкційних сталей.

Задача 3 (17 *балів*)

Світло-сірий метал **А** розчинили в слабкій кислоті **Б**, з утворенням продукту **В** та виділенням водню. Взаємодія **В** з амоніаком приводить до утворення сполуки **Г**. Нагрівання **Г** призводить до утворення сполуки жовто-зеленої сполуки **Д** та газоподібної суміші (при охолодженні утворюється флуорвмісна речовина). Нагрівання **Д** в атмосфері фтору призводить до утворенні в'язкої білої рідини **Е**. Обережне струшування **Е** з еквівалентною кількістю розчину натрій гідроксиду викликає випадання оранжевого осаду **Є** (розчинний в надлишку розчину лугу). Кип'ятіння **Є** в концентрованій сульфатній кислоті супроводжується утворенням синьої сполуки **Ж,** у якій на один атом металу припадає п'ять атомів Оксигену. Той самий продукт **Ж** утворюється при взаємодії металу **А** та концентрованої сульфатної кислоти.

- Розшифруйте відповідні речовини **А**–**Ж**, напишіть і урівняйте рівняння відповідних хімічних реакцій;
- Напишіть рівняння взаємодії **А** з фтором та йодом;
- Опишіть будову та гібридизацію електронних орбіталей центрального атома аніону в сполуці **Б**;
- Передбачте магнітні властивості сполуки **В**.

10 клас

Розв'язок

1) Ключовим для розв'язання задачі є співвідношення метал-оксиген в складі сполуки **Ж**. У «звичайних» сульфатах утворених катіонами металів не має такого співвідношення, отже Оксиген також є і в складі катіону, сполука **Ж** оксосульфат, а метал **А** належить до перехідних.

2) Для перехідних металів характерна відносна інертність у вигляді простої речовини (за звичайних умов більшість не реагують з слабкими кислотами), тож сполука **Б** повинні реагувати з простими речовинами особливим чином. Єдиний кандидат – це фторидна кислота, яка розчиняє частину перехідних металів за рахунок комплексоутворення. Отже **В** – комплексна кислота, що містить в аніоні перехідний метал, **Г** – її амонійна сіль.

3) Після розкладу сполуки **Г** мав би залишитись фторид металу **Д**, якій реагує з фтором з утворенням нового фториду **Е**. Розчинення останнього в лузі призводить до утворення амфотерного осаду **Є** (розчиняється в надлишку лугу). Колір сполук підказує що в умові задачі описано сполуки Ванадію.

4) Відповідні формули сполук: **А** – V; **Б** – HF; **В** – $H_3[VF_6]$; **Г –** $NH_4[VF_6]$; **Д** – VF_3; **Е** – VF_5; **Є** – V_2O_5; **Ж –** $(VO)SO_4$.5) Рівняння хімічних перетворень наступні:

$2V + 12HF = 2H_3[VF_6] + 3H_2$; $2H_3[VF_6] + 3NH_3 = (NH_4)_3VF_6$;

$(NH_4)_3VF_6 = 3NH_3 + HF + VF_3$; $VF_3 + F_2 = VF_5$;

$2VF_5 + 10NaOH = V_2O_5 + 10NaF + 5H_2O$;

$2V_2O_5 + 4H_2SO_4 = VOSO_4 + 4H_2O + O_2$.

6) Металічний ванадій по різному реагує з хлором та йодом:

$2V + 5Cl_2 = 2VCl_5$; $2V + 3I_2 = 2VI_3$

7) Аніон $[VF_6]^{3-}$ октаедр, гібридизація d^2sp^3.

8) Речовина **В** парамагнітна, оскільки у V^{3+} наявні два неспарених електрони на *d*-орбіталях

Задача 4 (11 *балів*)

У результаті неповного розкладу метану на ацетилен і водень зафіксовано збільшення загального об'єму газів в 1,4 раза. Обчисліть відносний вихід ацетилену.

Розв'язок

1) Розклад метану відбувається за рівнянням:

$$\underset{2x}{2\,CH_4} \xrightarrow{t} \underset{x}{HC{\equiv}CH} + \underset{3x}{3\,H_2}$$

2) Нехай об'єм утвореного ацетилену дорівнює *x*. Тоді за рівнянням реакції об'єм прореагованого метану становитиме *2x*, а об'єм утвореного водню – *3x*.

3) Припустимо, що об'єм метану до початку реакції дорівнював 100 мл. Тоді сумарний об'єм газової суміші після реакції становитиме 100 × 1,4 = 140 мл. Отже, 140 = 100 – *2x* + *x* + *3*, а об'єм утвореного ацетилену *x* = 20 мл.

4) За рівнянням реакції повинно було утворитися 0,5·100 = 50 мл ацетилену.

5) Отже, відносний вихід ацетилену становить: $\eta = (20 / 50) \times 100 =$ **40 %**.

10 клас

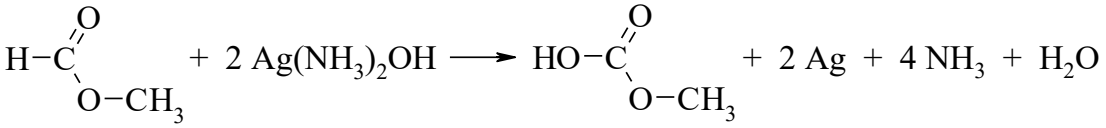
Задача 5 (11 *балів*)

Встановіть будову органічної сполуки $C_2H_4O_2$, якщо відомо, що: 1) вона дає реакцію срібного дзеркала; 2) при нагріванні з розчином лугу утворює водний розчин двох органічних сполук; 3) одна з цих сполук у чистому вигляді реагує з металічним натрієм; 4) друга сполука при прожарюванні з надлишком лугу виділяє безбарвний газ.

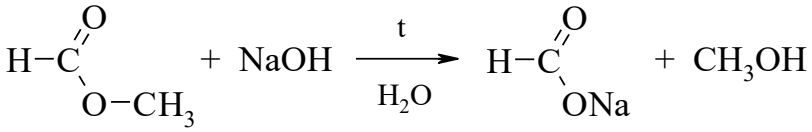
Розв'язок

1) Сполукою $C_2H_4O_2$ є **метиловий естер мурашиної кислоти**.

2) Він вступає в реакцію срібного дзеркала (реакція на альдегідну групу):

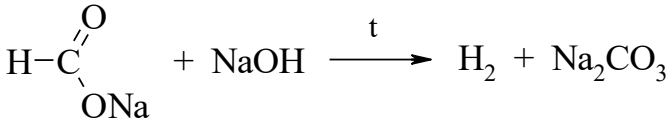


3) При нагріванні з розчином лугу ця сполука гідролізує, утворюючи метанол і сіль мурашиної кислоти (обидві сполуки добре розчиняються у воді):



4) Метанол взаємодіє з натрієм за рівнянням:

5) Форміат натрію при прожарюванні з надлишком лугу утворює водень (безбарвний газ):



Задача 6 (13 *балів*)

Вуглеводень **А** масою 0,19 г, найпростіша формула якого C_3H_2, реагує з 0,115 г натрію. При гідруванні вуглеводню **А** в присутності подрібненого нікелю утворюється вуглеводень **Б** з найпростішою формулою C_3H_7.

Встановіть структурні формули сполук **А** і **Б** та обговоріть можливість існування у них просторових ізомерів.

Розв'язок

1) Найпростіша формула C_3H_7 відповідає молекулярній формулі алкану C_6H_{14}, тобто вуглеводень **Б** – гексан.

2) У ході гідрування не відбувається зміна кількості атомів карбону в молекулі. Отже, вуглеводень **А** має молекулярну формулу C_6H_4 (M = 76 г/моль).

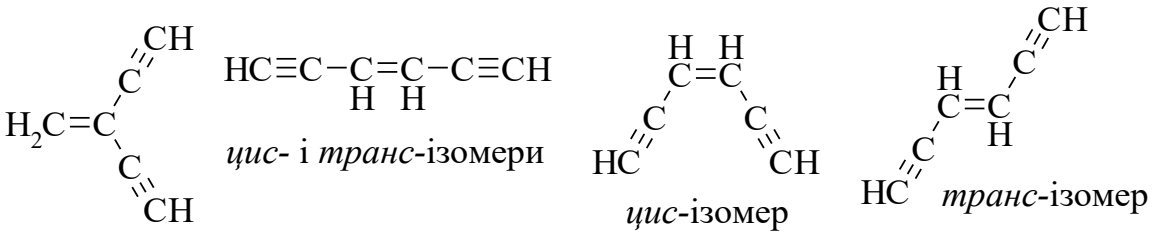
3) Взаємодія **А** з металічним натрієм свідчить про наявність у молекулі принаймні одного крайнього потрійного зв'язку C≡CH.

4) За умовою задачі, 0,19 г **А**, або 0,19 : 76 = 0,0025 моль **А**, реагує з 0,115 г Na (M = 23 г/моль), або 0,115 : 23 = 0,005 моль Na, тобто $\nu(Na) = 2\nu(\mathbf{A})$.

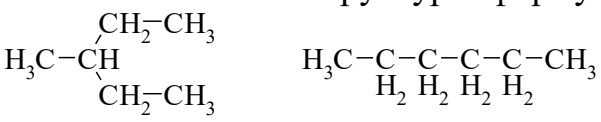
Це означає, що молекула **А** містить дві кінцеві групи –C≡CH.

5) Тому для **А** можна запропонувати такі структурні формули:

10 клас



6) Відповідно сполука **Б** може мати такі структурні формули:



Задача 7 (10 *балів*)

Відомо, що стандартні значення ентальпій утворення метану, етану, етилену та ацетилену становлять –74,85; –84,67; 52,88 та 226,75 кДж/моль, відповідно. Розрахуйте енергії зв'язків C–H, C–C, C=C та C≡C. Чому отримані Вами результати щодо енергій зв'язків дещо відрізнятимуться від величин наведених у довідковій літературі.

Використовуючи знайдені енергії зв'язків, розрахуйте ентальпію утворення газуватого фенілацетилену. Порівняйте отриманий результат з довідковим значенням 306,6 кДж/моль та поясніть різницю.

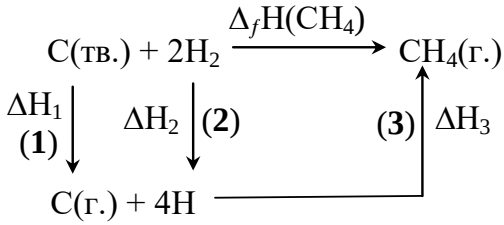
Додатково відомо, що ентальпії дисоціації водню та сублімації вуглецю дорівнюють 436,0 та 715,0 кДж/моль, відповідно

Розв'язок

1) Ентальпія утворення речовини – це ентальпія реакції її утворення, виходячи з простих речовин. Для метану це реакція

$$C(\text{тв.}) + 2H_2 \rightarrow CH_4(\text{г.});\ \Delta_r H = \Delta_f H(CH_4) = -74{,}85 \text{ кДж/моль}.$$

2) Проте синтез метану можна провести за альтернативною схемою:



Тут ΔH_1 – ентальпія сублімації вуглецю; ΔH_2 – ентальпія дисоціації двох молекул водню; ΔH_3 – ентальпія реакції атомарного гідрогену з вуглецем в газовій фазі. При цьому під час реакції (**3**) утворюється 4 зв'язки C–H, тобто: $\Delta H_3 = -4E(C–H)$.

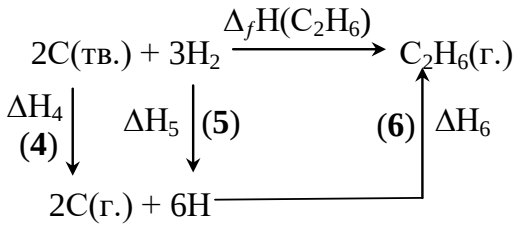
3) Згідно з законом Гесса для зображеної схеми можна записати:

$$\Delta_f H(CH_4) = \Delta_r H_1 + \Delta_r H_2 + \Delta_r H_3 = \Delta_{sub} H(C) + 2\Delta_{dis} H(H_2) - 4E(C–H);$$

$$E(C–H) = \tfrac{1}{4}\,(\Delta_{sub} H(C) + 2\Delta_{dis} H(H_2) - \Delta_f H(CH_4)) = \tfrac{1}{4}\,(715 + 2\cdot 436 + 74{,}85) \cong$$

$$\cong 415{,}46 \text{ кДж/моль}$$

4) Для етану:



При цьому під час реакції (**6**) утворюються 6 зв'язків С–Н та один С–С, тобто:

$$\Delta H_6 = -6E(C–H) – E(C–C).$$

5) Згідно з законом Гесса для зображеної схеми можна записати:

$$\Delta_f H(C_2H_6) = \Delta_r H_4 + \Delta_r H_5 + \Delta_r H_6 = 2\Delta_{sub}H(C) + 3\Delta_{dis}H(H_2) – 6E(C–H) – E(C–C);$$

$$E(C–C) = 2\Delta_{sub}H(C) + 3\Delta_{dis}H(H_2) – 6E(C–H) – \Delta_f H(C_2H_6) = 2\cdot715 + 3\cdot436 – 6\cdot415{,}46 + 84{,}67 = 329{,}91 \text{ кДж/моль}$$

6) Для етену: $\Delta_f H(C_2H_4) = 2\Delta_{sub}H(C) + 2\Delta_{dis}H(H_2) – 4E(C–H) – E(C=C);$

$$E(C=C) = 2\Delta_{sub}H(C) + 2\Delta_{dis}H(H_2) – 4E(C–H) – \Delta_f H(C_2H_4) = 2\cdot715 + 2\cdot436 – 4\cdot415{,}46 – 52{,}88 = 587{,}28 \text{ кДж/моль}.$$

7) Для етину: $\Delta_f H(C_2H_2) = 2\Delta_{sub}H(C) + \Delta_{dis}H(H_2) – 2E(C–H) – E(C\equiv C);$

$$E(C\equiv C) = 2\Delta_{sub}H(C) + \Delta_{dis}H(H_2) – 2E(C–H) – \Delta_f H(C_2H_2) = 2\cdot715 + 436 – 2\cdot415{,}46 – 226{,}75 = 808{,}33 \text{ кДж/моль}.$$

8) Для фенілацетилену:

$$\Delta_f H(C_6H_5–C\equiv CH) = 8\Delta_{sub}H(C) + 3\Delta_{dis}H(H_2) – 6E(C–H) – 4E(C–C) – 3E(C=C) – E(C\equiv C) = 8\cdot715 + 3\cdot436 – 6\cdot415{,}46 – 4\cdot329{,}91 – 3\cdot587{,}28 – 808{,}33 = 645{,}42 \text{ кДж/моль}.$$

Отриманий результат практично вдвічі більший за табличне значення, оскільки фенільне кільце не є сукупністю трьох одинарних і трьох подвійних зв'язків, як приймалося під час розрахунку, а сукупністю шести ідентичних зв'язків, енергія яких більша за Е(С–С), проте менша порівняно з Е(С=С).

9) Енергія ідентичного зв'язка може коливатися у значних межах залежно від оточення (складу і будови молекули сполуки). Тому у довідковій літературі наводяться середні енергії зв'язків, які були знайдені на основі подібних до проведених вище розрахунків, але для широкої низки сполук, тоді як у даній задачі йшлося фактично лише про одну сполуку.

11 клас

Задача 1 (7 *балів*)

Оранжеву-жовту сполуку металу з оксигеном (19,51 *г*) обробили надлишком вуглекислого газу. Утворився твердий залишок (практично чиста речовина **А**) і безбарвний газ (проста речовина **Б**). Речовину **А** розчинили у воді і додали надлишок розчину барій нітрату, випало 16,4 *г* білого осаду. Газ **Б** пропустили крізь скляну трубку з розпеченими мідними ошурками, маса трубки зросла на 4,0 *г*.

Встановіть формули невідомих сполук **А** та **Б,** напишіть й урівняйте рівняння реакцій описаних в умові задачі.

Розв'язок

1) Вуглекислий газ CO_2 взаємодії з оксигенвмісними сполуками металів переважно з утворенням карбонату цього металу (речовина **А**, метал належить скоріше всього до лужних, оскільки тільки такі карбонати розчинні у воді), тоді безбарвний газ, що виділяється – кисень (**Б**). Тоді хімічні процеси описані в задачі можна описати наступними рівняннями:

$Me_xO_y + x/2CO_2 = x/2Me_2CO_3 + ((y + 2x/2 - 3x/2)/2)O_2\uparrow$ **1**

$Me_2CO_3 + Ba(NO_3)_2 = BaCO_3\downarrow + 2MeNO_3$ **2**

$2Cu + O_2 = 2CuO$ **3**

2) Збільшення маси трубки з розпеченою міддю (реакція **3**) відбувається за рахунок кисню, який вивільнився у першій реакції, тому:

$$\nu(O_2) = 4\ г\ /\ 32\ г\cdot моль = 0{,}125\ моль$$

3) З рівняння **2** отримуємо:

$$\nu(Me_2CO_3) = \nu(BaCO_3) = 16{,}4\ г\ /197\ г\cdot моль = 0{,}083\ моль$$

$$\nu(Me) = 2\nu(Me_2CO_3) = 0{,}166\ моль$$

4) З рівнянь реакцій **1** – **3** та знайдених вище кількості молів речовин **А** та **Б**, отримаємо баланс елементів у сполуці Me_xO_y:

$x = 0{,}166$; $(y + 2x/2 - 3x/2)/2 = 0{,}125$ *моль*, тому $y = 0{,}333$.

5) Мольне співвідношення елементів ($x : y$) у формулі становить:

$$x:y = 0{,}166:0{,}333 = 1:2$$

Отже, найпростіша формула оксигенвмісної сполуки – MeO_2.

6) Оскільки $\nu(MeO_2) = \nu(Me) = 0{,}166$ *моль*, то мольна маса MeO_2 дорівнюватиме: $M(MeO_2) = 19{,}51\ г\ /0{,}166\ моль = 117{,}5\ г/моль$, а мольна маса Me становитиме: $M(Me) = 117{,}4\ г/моль - 32\ г/моль = 85{,}4\ г/моль$.

7) Тож шуканий метал Me – рубідій; формула оксигенвмісної сполуки – RbO_2 (рубідій надпероксид)**1** матиме вигляд:

$$4RbO_2 + 2CO_2 = 2Rb_2CO_3 + 3O_2\uparrow$$

Задача 2 (12 *балів*)

На поличках господарського магазину один хімік помітив повністю покриту з середини блідо-жовтим нальотом лампу розжарювання. Зацікавившись явищем, вчений купив лампу та приніс в науково-дослідну лабораторію для подальших досліджень. Ось що він виявив:

1. Лампа розжарення при ввімкненні в електричну мережу не працює;

11 клас

2. Наліт зі стінок лампи є практично чистою речовиною **А** та розчинається в киплячій суміші фосфатної і нітратної кислот з утворенням сполуки **Б**;
3. Прожарювання **А** в присутності коксу у високотемпературні печі (близько 1000°С) призводить до утворення сіро-синьої сполуки **В** (входить до складу стопу «побєдіт»)
4. Серед продуктів сплавляння **В** із натрій гідроксидом в присутності кисню можна виділити безбарвну білу сіль **Г** (до складу якої входять той самий металічний елемент, що і сполуки **А**);
5. Взаємодія розчину **Г** з ферум(II) сульфатом в кислому середовищі призводить до утворення коричневого осаду **Д**, який при спіканні з сіркою перетворюється на темно-сіру речовину **Е**.

Дайте відповіді на наступні запитання:

- Чому не працює лампа;
- Які речовини зашифровано під літерами **А** – **Е.** Напишіть їх формули;
- Запишіть рівняння хімічних перетворень описаних в задачі. Для реакції добування **Б** з **А** врахуйте, що у реакції бере участь тільки фосфатна кислота, а формульна одиниця сполуки **Б** містить 12 атомів металічного елементу;
- Опишіть галузі використання "побеідіту" та сполуки **Е**.

Розв'язок

1) Лампа розжарення складається з вольфрамової дротини у інертній атмосфері та герметичної скляної колби. Оскільки на стінках колби є блідо-жовтий наліт, а лампа не працює, то скоріше всього сталася розгерметизація колби та розпечена дротина згоріла на повітрі.

2) Відповідні формули сполук: **А** – WO_3; **Б** – $H_3PW_{12}O_{40}$; **В** – WC; **Г**– Na_2WO_4; **Д** – WO_2; **Е** –WS_23) Рівняння хімічних перетворень описаних в умові задачі:

$2W + 3O_2 = 2WO_3$; $12WO_3 + H_3PO_4 = H_3PW_{12}O_{40}$;

$WO_3 + C = WC + 3CO$; $2WC + 8NaOH + 5O_2 = 2Na_2WO_4 + 2Na_2CO_3 + 4H_2O$;

$Na_2WO_4 + 2H_2SO_4 + 2FeSO_4 = Fe_2(SO_4)_3 + WO_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O$;

$WO_2 + 3S = WS_2 + SO_2$.

4) «Побєдіт» використовують для виготовлення інструментів для механічної обробки металів та твердих матеріалів (наприклад різців), а WS_2 – як антифрикційна добавка (добавка, що зменшує тертя) у змащувальних матеріалах, а також як каталізатор крекінгу нафти.

Задача 3 (16 *балів*)

При розчиненні суміші двох твердих простих речовин (суміш **А**) в концентрованому розчині гідроген пероксиду виділили коричневу бінарну сполуку **Б**, проте частина суміші **А** залишилася нерозчиненою. Розчинення **Б** в концентрованому розчин хлоридної кислоти призводить до утворення отруйної сполуки **В**, хлору та води. Нагрівання сполуки **Б** супроводжується появою темно-бурої речовини **Г** (складається з тих самих елементів що і **Б**). При взаємодії з водою **Г** утворюється сильно-лужний розчин речовини **Д**.

11 клас

Серед продуктів взаємодії суміші **А** із розведеною нітратною кислотою можна виділити тверду бінарну речовину **Е** (ізостехіометрична до **Б**). Взаємодія **Е** з натрійборогідридом в присутності сульфатної кислоти призводить до утворення борної кислоти та газу **Є** (горить зеленим полум'ям, при цьому утворюється складова частина суміші **А**). Серед продуктів розчинення речовини **Е** в концентрованому розчині нітратної кислоти – тверда бінарної сполука **Ж**. Обережне нагрівання світло-жовтої сполуки **Е** супроводжується утворенням білої речовини **З**. Розчинення останньої сполуки у хлоридній кислоті приводить до утворення речовин **К** та **Л**.

Які речовини зашифровано під літерами **А** – **Л**? Встановіть їхні формули, напишіть й урівняйте рівняння реакцій описаних в умові задачі.

Розв'язок

1) Твердих простих речовин, які розчиняються у розчині пероксиду, не надто багато. Це, в основному, метали. Водночас виділення хлору під час взаємодії хлоридної кислотою з речовиною **Б** свідчить про її високу окиснювальну здатність. Перетворення **Б** у **В** та розчин **Г** підтверджує припущення, що частина суміші **А** – активний метал. Колір сполук вказує на Талій.

2) Горіння газу **Є** (утвореного при відновленні в присутності борогідриду) з виділенням твердої простої речовини підказує, що до його складу можуть входити S, Sb, As або Bi. Утворення бінарної сполуки **Е** при розчиненні суміші в нітратні й кислоті (скоріше за все оксиду) виключає Bi з переліку можливих компонентів вихідної суміші, а можливість розчинення **Е** в концентрованій нітратній кислоті – робить те саме з S. Властивості сполук As не задовольняють подальші умови. Отже, залишається Sb. Тому суміш **А** містить Sb та Tl.

3) Тож відповідні формули сполук: **А** – суміш Tl+Sb; **Б** – Tl_2O_3; **В** – $H[TlCl_2]$; **Г** – Tl_2O; **Д** – TlOH; **Е** – Sb_2O_3; **Є** – SbH_3; **Ж** – Sb_2O_5; **З** – Sb_4O_4; **К** – $SbCl_3$; **Л** – $HSbCl_6$.

4) Рівняння хімічних перетворень описаних в умові задачі матимуть вигляд:

$Tl + 3H_2O_2 = Tl_2O_3\downarrow + 3H_2O$; $Tl_2O_3 = Tl_2O + O_2\uparrow$

$Tl_2O_3 + 8HCl = 2H[TlCl_2] + 2Cl_2 + 3H_2O$; $Tl_2O + H_2O = 2TlOH$

$Sb + 2HNO_3 = Sb_2O_3 + 2NO + H_2O$;

$Sb_2O_3 + 6NaBH_4 + 3H_2SO + 6H_2O = 8SbH_3 + 6B(OH)_3 + 3Na_2SO_4$;

$4SbH_3 + 3O_2 = 4Sb + 6H_2O$; $Sb_2O_3 + 4HNO_3 = Sb_2O_5 + 4NO_2 + 2H_2O$

$Sb_2O_5 = 2(Sb^{III}Sb^{V})O_4 + O_2$; $2(Sb^{III}Sb^{V})O_4 + HCl = 2SbCl_3 + 2HSbCl_6 + 4H_2O$

Задача 4 (11 *балів*)

Сполука **А** ($C_8H_{14}O_2$) при нагріванні з водою в присутності сильної неорганічної кислоти утворює дві сполуки – **Б** ($C_4H_{10}O$) і **В** ($C_4H_6O_2$). Сполука **Б** у водному розчині має нейтральну реакцію, стійка до окиснення, але де гідратується при легкому нагріванні з концентрованою сульфатною кислотою. Сполука **В** дає кислу реакцію, не вступає в реакцію з озоном, а її молекула не містить кінцевих метильних груп.

Запишіть структурні формули зазначених сполук **А–В** і назвіть їх.

11 клас

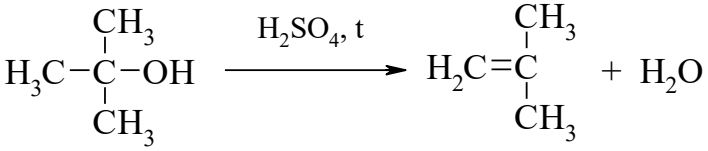
Розв'язок

1) Порівнюючи молекулярні формули сполук **А** ($C_8H_{14}O_2$), **Б** ($C_4H_{10}O$) і **В** ($C_4H_6O_2$), бачимо, що кількість атомів карбону у сполуці **А** дорівнює сумі атомів цього елемента у сполуках **Б** і **В**, а кількості атомів гідрогену і оксигену сполуки **А** менші за відповідні суми цих атомів сполук **Б** і **В** на 2 і 1 відповідно, що свідчить про взаємодію сполуки **А** з водою (наприклад, гідроліз естеру):

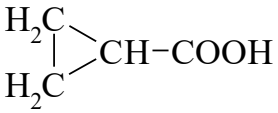
$$\underset{\textbf{А}}{C_8H_{14}O_2} + H_2O \xrightarrow{t} \underset{\textbf{Б}}{C_4H_{10}O} + \underset{\textbf{В}}{C_4H_6O_2}$$

2) Враховуючи, що сполука **Б** має нейтральну, а **В** – кислу реакцію, можна припустити, що **Б** це спирт, а **В** – кислота, які утворюються в ході гідролізу естеру **А**. Визначимо їх структуру.

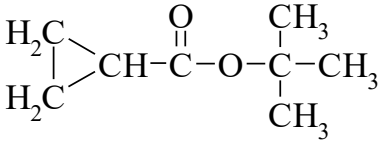
3) Структура сполуки **Б** повинна відповідати одному з чотирьох ізомерних бутилових спиртів формули $C_4H_{10}O$. Серед них стійким до окиснення є **трет-бутиловий спирт**, який легко дегідратується при нагріванні з концентрованою сульфатною кислотою, утворюючи ізобутилен:



4) Кислота **В** ($C_4H_6O_2$) відповідає загальній формулі $C_nH_{2n-2}O_2$, що характерно для мононенасичених одноосновних кислот. Оскільки за умовою задачі кислота не містить в молекулі кінцевих метильних груп і не взаємодіє з озоном, вона не повинна містити подвійного зв'язку. Сполуці **В** відповідає кислота, яка містить насичений циклічний фрагмент – **циклопропанкарбонова кислота**:



5) Тоді сполука **А** – **трет-бутиловий естер циклопропанкарбонової кислоти**:



Задача 5 (11 *балів*)

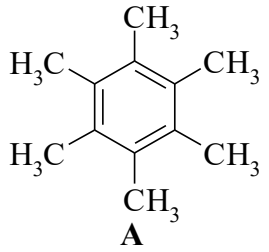
Сполука **А** дає негативну реакцію з бромом у CCl_4 та негативну реакцію з калій перманганатом за кімнатної температури. Окиснення сполуки **А** розчином $KMnO_4$ при нагріванні дає сполуку **В** ($C_{12}H_6O_{12}$), яка розчинна у воді і виділяє газ при обробці водним розчином соди. Дегідратація сполуки **В** дає продукт **С** складу $C_{12}O_9$.

Встановіть можливу будову речовин **А**, **В** та **С**, враховуючи, що у ^{1}H ЯМР спектрі сполуки **А** наявний лише один сигнал (синглет). Наведіть схеми відповідних перетворень.

Розв'язок

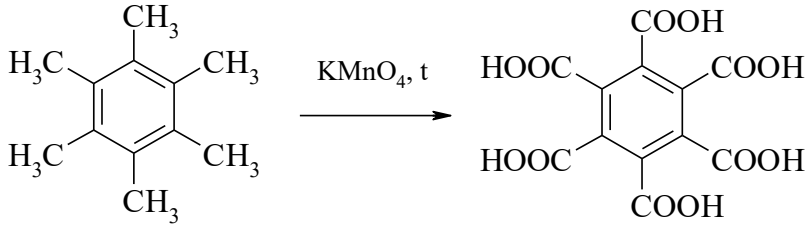
1) Сполукою **А** може бути гексаметилбензен, який дає негативну реакцію з бромом у CCl_4 та негативну реакцію з перманганатом калію за кімнатної темпера-

11 клас


A

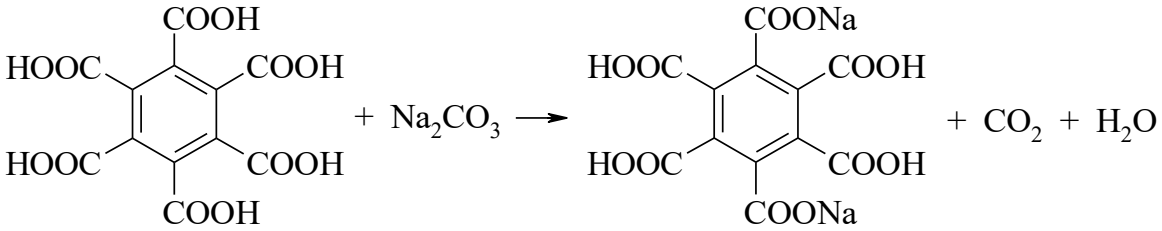
тури. У цій сполуці є лише один тип атомів гідрогену, тому в спектрі ЯМР ^{1}H наявний лише один інтенсивний сигнал (синглет), який відповідає еквівалентним протонам шести метильних груп.

2) Оскільки окиснення сполуки **A** розчином $KMnO_4$ при нагріванні дає сполуку **B** ($C_{12}H_6O_{12}$), яка розчинна у воді і виділяє газ при обробці водним розчином соди, то сполука **B** повинна бути бензенгексакарбоновою кислотою:

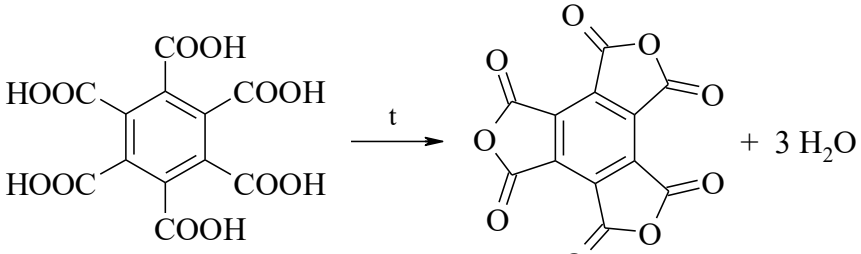


A **B**

$C_{12}H_6O_{12}$



3) Дегідратація кислоти **B** дає продукт **C** ($C_{12}O_9$). Ним є триангідрид цієї кислоти, який має таку будову:



B **C**

$C_{12}O_9$

Задача 6 (13 *балів*)

Напишіть рівняння реакцій, які відповідають такій схемі перетворень:

$$C_9H_{12}O \rightarrow C_9H_9O_2K \rightarrow C_9H_{10}O_2 \rightarrow C_9H_9O_2Cl \rightarrow C_9H_{11}O_2N \rightarrow$$
$$\rightarrow C_{11}H_{14}O_3N_2 \rightarrow C_9H_{10}O_2NNa.$$

У рівняннях вкажіть структурні формули сполук та зазначте умови перебігу реакцій.

Розв'язок

1) Враховуючи ступінь ненасиченості сполук, цілком вірогідно, що до їхнього складу входить бензенове кільце.

2) У першій реакції молекула втрачає три атоми гідрогену і з'являється група –OK. Це відповідає окисненню первинної спиртової групи до карбоксильної в лужному середовищі:

11 клас

$$RCH_2OH \longrightarrow RCOOK$$

3) Окиснення відбувається у слабколужному розчині калій перманганату:

$$3\ RCH_2OH + 4\ KMnO_4 + H_2O \longrightarrow 3\ RCOOK + 4\ MnO_2 + KOH + 5\ H_2O$$

Радикал R має формулу C_8H_9 і, очевидно, є ароматичним радикалом.

4) Припустимо, що у вихідній ароматичній сполуці був лише один бічний ланцюг, тоді:

$$\underset{\mathbf{C_9H_{12}O}}{C_6H_5(CH_2)_2CH_2OH} \xrightarrow{[O]} \underset{\mathbf{C_9H_9O_2K}}{C_6H_5(CH_2)_2COOK}$$

5) Отримана калієва сіль при підкисленні дає карбонову кислоту:

$$\underset{\mathbf{C_9H_9O_2K}}{C_6H_5(CH_2)_2COOK} + HCl \longrightarrow \underset{\mathbf{C_9H_{10}O_2}}{C_6H_5(CH_2)_2COOH} + KCl$$

6) У третій реакції один атом гідрогену заміщується на атом хлору. Це відбувається в α-положенні до карбоксильної групи:

$$\underset{\mathbf{C_9H_{10}O_2}}{C_6H_5(CH_2)_2COOH} + Cl_2 \xrightarrow{P} \underset{\mathbf{C_9H_9O_2Cl}}{C_6H_5CH_2CH(Cl)COOH} + HCl$$

7) Далі атом хлору заміщується на аміногрупу. Це звичайний спосіб одержання амінокислот із хлоровмісних кислот:

$$\underset{\mathbf{C_9H_9O_2Cl}}{C_6H_5CH_2CH(Cl)COOH} + 2\ NH_3 \longrightarrow \underset{\mathbf{C_9H_{11}O_2N}}{C_6H_5CH_2CH(NH_2)COOH} + NH_4Cl$$

Отже, ми одержали фенілаланін.

8) Збільшення кількості атомів карбону на два ($C_9 \rightarrow C_{11}$) свідчить про утворення дипептиду за участю найпростішої амінокислоти – гліцину:

$$\underset{\mathbf{C_9H_{11}O_2N}}{C_6H_5CH_2CH(NH_2)COOH} + H_2NCH_2COOH \longrightarrow \underset{\mathbf{C_{11}H_{14}O_3N_2}}{C_6H_5CH_2CH(NH_2)CONHCH_2COOH} + H_2O$$

9) Нарешті, лужний гідроліз фенілаланілгліцину веде до утворення останньої сполуки – натрієвої солі фенілаланіну:

$$\underset{\mathbf{C_{11}H_{14}O_3N_2}}{C_6H_5CH_2CH(NH_2)CONHCH_2COOH} + 2\ NaOH \longrightarrow \underset{\mathbf{C_9H_{10}O_2NNa}}{C_6H_5CH_2CH(NH_2)COONa} + H_2NCH_2COONa + H_2O$$

Задача 7 (10 *балів*)

Залежність констант рівноваги реакцій

$H_2 + Cl_2 \Leftrightarrow 2HCl$ **(1)** та $H_2 + Br_2 \Leftrightarrow 2HBr$ **(2)**

від температури відповідно описується рівняннями:

$$\lg K_p^{(1)} = \frac{9400}{T} - 1,353\lg T + 0,138\cdot 10^{-3}T + 5,035$$

та $\lg K_p^{(2)} = \dfrac{5190}{T} - 1,479\lg T + 0,208\cdot 10^{-3}T + 5,375$.

Скориставшись законом Гесса, виведіть рівняння для температурної залежності константи рівноваги реакції

$HBr + 1/2Cl_2 \Leftrightarrow HCl + 1/2Br_2$ **(3)**

та знайдіть її значення за температури 800 K. Запишіть вирази для констант рівноваги K_p і K_c цієї реакції та формулу, яка їх пов'язує.

11 клас

Вкажіть яким чином вплинуть на вихід гідроген хлориду в реакції (**3**) такі фактори: 1) зменшення температури реакційної суміші; 2) збільшення сумарного тиску суміші; 3) введення додаткової кількості хлору в реакційну суміш?

Реакція (**3**) є екзо- чи ендотермічним процесом? Обґрунтуйте свою відповідь.

Розв'язок

1) Реакцію (3) можна отримати, віднявши від реакції (1) реакцію (2) та розділивши результат на два, тобто: (3) = ½ (1) – ½ (2):

$$\begin{array}{c} H_2 + Cl_2 \Leftrightarrow 2HCl \\ - \\ \underline{H_2 + Br_2 \Leftrightarrow 2HBr} \\ Cl_2 - Br_2 \Leftrightarrow 2HCl - 2HBr \end{array}$$

або ($Cl_2 + 2HBr \Leftrightarrow 2HCl + Br_2$) /2, отримуємо рівняння (3).

2) Отже, згідно з правилом Ґіббса:

$$\Delta G^o_{(3)} = \frac{1}{2}\Delta G^o_{(1)} - \frac{1}{2}\Delta G^o_{(2)}; \qquad -RT\ln K_p^{(3)} = -\frac{1}{2}RT\ln K_p^{(1)} + \frac{1}{2}RT\ln K_p^{(2)};$$

$$\ln K_p^{(3)} = \frac{1}{2}\ln K_p^{(1)} - \frac{1}{2}\ln K_p^{(2)}; \qquad \lg K_p^{(3)} = \frac{1}{2}\left(\lg K_p^{(1)} - \lg K_p^{(2)}\right)$$

3) Підставивши дані умови задачі, отримуємо:

$$\lg K_p^{(3)} = \frac{1}{2}\left(\frac{4210}{T} + 0.126\lg T - 0,07\cdot 10^{-3}T - 0,34\right) = \frac{2105}{T} + 0.063\lg T - 0,035\cdot 10^{-3}T - 0,17$$

4) За T=800 K: $\lg K_p^{(3)} = 2,616;$ $K_{p,800}^{(3)} = 413$

5) Оскільки в результаті реакції (**3**) кількість газоподібних реагентів не змінюється, то константи рівноваги реакції мають вигляд:

$$K_p^{(3)} = \left[\frac{p(HCl)\,p(Br_2)^{1/2}}{p(HBr)\,p(Cl_2)^{1/2}}\right]_{рівноважні} = K_c^{(3)} = \left[\frac{c(HCl)c(Br_2)^{1/2}}{c(HBr)c(Cl_2)^{1/2}}\right]_{рівноважні} = \frac{[HCl][Br_2]^{1/2}}{[HBr][Cl_2]^{1/2}}$$

6) Оскільки в результаті реакції (3) кількість газоподібних реагентів не змінюється, то зміна тиску **не впливатиме** на зміну положення рівноваги і, відповідно, вихід продуктів.

7) Згідно з принципом Ле Шательє введення додаткової кількості хлору в реакційну суміш змістить положення рівноваги реакції вправо, а отже вихід HCl **збільшиться**.

8) Знайдемо значення константи швидкості за іншої температури, наприклад 1000 K: $\lg K_{p,1000}^{(3)} = 2,089;$ $K_{p,1000}^{(3)} = 122,74.$

Оскільки зі зменшенням температури константа рівноваги зростає, то вихід продуктів, згідно з виразами для констант рівноваги, **зростатиме** за таких умов.

9) Залежність константи рівноваги від температури за постійного тику описує рівняння ізобари хімічної реакції $\left(\frac{d\ln K_p}{dT}\right)_p = \frac{\Delta_r H}{RT^2}$. Оскільки вже відомо, що

$\left(\frac{d\ln K_p}{dT}\right)_p < 0$, то $\frac{\Delta_r H}{RT^2} < 0$ і $\Delta_r H < 0$. Тобто реакція (3) є **екзотермічною**.