

Задача 1 (16 балів)

В суміші газоподібних CO та CO₂ масове співвідношення C : O = 2 : 5.

Розрахуйте масову та об'ємну частки (у %, з точністю до десятих) кожного газу в суміші. За якого масового співвідношення C : O в суміші не зможуть бути обидва гази одночасно?

Розв'язок

1) Нехай маса суміші дорівнює 100 г, і в ній є $n_{CO} = x$ моль CO та $n_{CO_2} = y$ моль CO₂. Молярна маса CO дорівнює 28 г/моль, а CO₂ – 44 г/моль.

Тоді: $28x + 44y = 100$

і, згідно умови:

$$\frac{m(C)}{m(O)} = \frac{12(x+y)}{16(x+2y)} = \frac{2}{5}$$

Розв'язуючи отриману систему рівнянь, знаходимо:

$$x = 0.298 \text{ моль} \quad y = 2.083 \text{ моль}$$

2) Масові частки CO та CO₂:

$$\omega_{CO} = \frac{m_{CO}}{m_{CO} + m_{CO_2}} = \frac{28 \cdot n_{CO}}{28 \cdot n_{CO} + 44 \cdot n_{CO_2}} = \frac{28 \cdot 0.298}{28 \cdot 0.298 + 44 \cdot 2.083} \cdot 100 = 8,3 \%$$

$$\omega_{CO_2} = 100 - 8.3 = 91,7 \%$$

3) Враховуючи, що однакові кількості газів за однакових умов займають однакові об'єми, мольні (η) та об'ємні (φ) частки газів є однаковими.

Тоді об'ємні частки CO та CO₂:

$$\varphi_{CO} = \frac{n_{CO}}{n_{CO} + n_{CO_2}} = \frac{x}{x+y} = \frac{0.298}{0.298 + 2.083} \cdot 100 = 12.5 \%$$

$$\varphi_{CO_2} = 100 - 12.5 = 87.5 \%$$

4) Два гази не зможуть перебувати одночасно в суміші, якщо буде чистий CO або чистий CO₂.

Тоді масове співвідношення становитиме:

$$\frac{m(C)}{m(O)} = \frac{12}{16} = \frac{3}{4} = 0.750 \quad \text{у випадку чистого CO і}$$

$$\frac{m(C)}{m(O)} = \frac{12}{16 \cdot 2} = \frac{3}{8} = 0.375 \quad \text{у випадку чистого CO}_2.$$

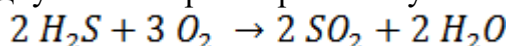
Задача 2 (16 балів)

Суміш сірководню з надлишком кисню помістили в герметичний міцний сталевий контейнер об'ємом 1 л, за температури 0 °C та тиску 101,3 кПа. Контейнер нагріли і, після завершення реакції, охолодили до 0 °C; тиск газів при цьому зменшився до 90.0 кПа.

Розрахуйте об'ємну частку (у %, з точністю до десятих) кожного газу у вихідній суміші. Вважати, що вся вода, утворена в реакції, перебуває в рідкому стані.

Розв'язок

1) Рівняння реакції, яка відбувається при нагріванні суміші:



2) Зменшення тиску в системі зумовлене зменшенням кількості газоподібних продуктів: з 5 моль газів утворюється 2 моль газоподібного SO_2 . Кількість газоподібних продуктів при цьому зменшується на 3 молі.

3) В системі СІ об'єм контейнера дорівнює 0.001 м^3 ; температура $0+273=273 \text{ К}$ та тиск 101300 Па (до реакції); температура $0+273=273 \text{ К}$ та тиск 90000 Па (після реакції).

4) Використовуючи рівняння стану ідеального газу розраховуємо кількість моль газів до та після реакції:

$$n_{\text{п}} = \frac{pV}{RT} = \frac{101300 \cdot 0.001}{8.314 \cdot 273} = 0,0446 \text{ моль}; \quad n_{\text{к}} = \frac{pV}{RT} = \frac{90000 \cdot 0.001}{8.314 \cdot 273} = 0,0397 \text{ моль}$$

5) Зменшення кількості моль газоподібних продуктів

$$\Delta n = n_{\text{п}} - n_{\text{к}} = 0,0446 - 0,0397 = 0,0049 \text{ моль.}$$

6) 2 молям прореагованого газоподібного H_2S відповідає зменшення кількості газоподібних продуктів під час реакції на 3 молі. В контейнері кількість газоподібних продуктів зменшилась на 0.0049 моль. За пропорцією знаходимо кількість сірководню у початковій суміші:

$$n(\text{H}_2\text{S}) = \frac{2 \cdot 0.0049}{3} = 0.0033 \text{ моль.}$$

Початкова кількість кисню: $n(\text{O}_2) = 0.0446 - 0.0033 = 0,0413$ моль.

7) Враховуючи, що однакові кількості газів за однакових умов займають однакові об'єми, мольні (η) та об'ємні (φ) частки газів є однаковими.

Тоді об'ємні частки H_2S та O_2 :

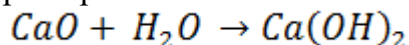
$$\varphi_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{S}}}{n_{\text{H}_2\text{S}} + n_{\text{O}_2}} = \frac{0.0033}{0.0446} \cdot 100 = 7.4 \% \quad \varphi_{\text{O}_2} = 100 - 7.4 = 92.6 \%$$

Задача 3 (10 балів)

Під час гасіння негашеного вапна подачу води зупинили, коли маса вапна зросла на 25 %. Чи повністю при цьому негашене вапно перетворилось в гашене? Якщо не повністю, то який ступінь перетворення CaO ?

Розв'язок

1) Реакція, яка відбувається при отриманні гашеного вапна:



Молярні маси реагентів: $M(\text{CaO}) = 56 \text{ г/моль}$, $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}$, $M(\text{Ca(OH)}_2) = 74 \text{ г/моль}$.

2) Якщо реакція відбувається повністю, то маса зросте на $\frac{18}{56} \cdot 100 = 32.1 \%$.

Отже, за умов, описаних в умові задачі, реакція відбудеться не повністю.

3) Приймемо, що початкова маса оксиду кальцію 56 г , тоді маса прореагованої води:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = \frac{56 \cdot 25}{100} = 14 \text{ г.}$$

4) Масу прореагованого оксиду кальцію розраховуємо за рівнянням реакції, враховуючи молярні маси реагентів:

$$m(\text{CaO}) = \frac{56 \cdot 14}{18} = 43.6 \text{ г.}$$

$$\text{Ступінь перетворення CaO: } \omega(\text{CaO}) = \frac{43.6}{56} \cdot 100 = 77.8 \%$$

Задача 4 (16 балів)

При розчиненні 83.4 г кристалогідрату сульфату заліза $\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ та 30.4 г безводного сульфату заліза FeSO_4 в 886,2 г води отримано розчин з масовою часткою солі 7.6 %.

Розрахуйте скільки молекул води входить до складу однієї структурної одиниці кристалогідрату (значення x).

Розв'язок

1) Маса отриманого розчину дорівнює $83.4 + 30.4 + 886.2 = 1000$ г.

2) Масова частка розчину сульфату заліза визначається рівнянням:

$$w = \frac{m(\text{FeSO}_4)}{m(\text{розчину})} \cdot 100 \%$$

Звідси знаходимо масу сульфату заліза FeSO_4 в цьому розчині: $\frac{1000}{100} \cdot 7.6 = 76$ г.

3) Відповідно, маса сульфату заліза FeSO_4 в кристалогідраті: $76 - 30.4 = 45.6$ г.

4) Отже, маса води в кристалогідраті $83.4 - 45.6 = 37.8$ (г).

5) Молярна маса FeSO_4 дорівнює 152 г/моль, а води – 18 г/моль.

Тож, в 83.4 г кристалогідрату сульфату заліза міститиметься:

$$\frac{m(\text{FeSO}_4)}{M(\text{FeSO}_4)} = \frac{45.6}{152} = 0,3 \text{ моль } \text{FeSO}_4 \quad \text{та} \quad \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{37.8}{18} = 2.1 \text{ моль } \text{H}_2\text{O}.$$

6) Мольне відношення між FeSO_4 та H_2O дорівнює $0.3 : 2.1 = 1 : 7$.

Таким чином, формула кристалогідрату $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$.

До складу однієї структурної одиниці кристалогідрату входить 7 молекул води

Задача 5 (10 балів)

Хлорид деякого металу містить 74,7 мас. % хлору.

Який це може бути метал? Відносну атомну масу хлору прийняти рівною 35,5.

Розв'язок

1) Формула хлориду металу MeCl_n , де n – ціле число.

2) Масова частка хлору визначається як

$$w(\text{Cl}) = \frac{m(n \text{ Cl})}{m(\text{MeCl}_n)} \cdot 100 = \frac{n \cdot A(\text{Cl})}{M(\text{MeCl}_n)} \cdot 100 = \frac{35,5n}{A(\text{Me}) + 35,5n} \cdot 100 = 74,5$$

3) Звідси атомна маса металу $A(\text{Me}) = 12n$.

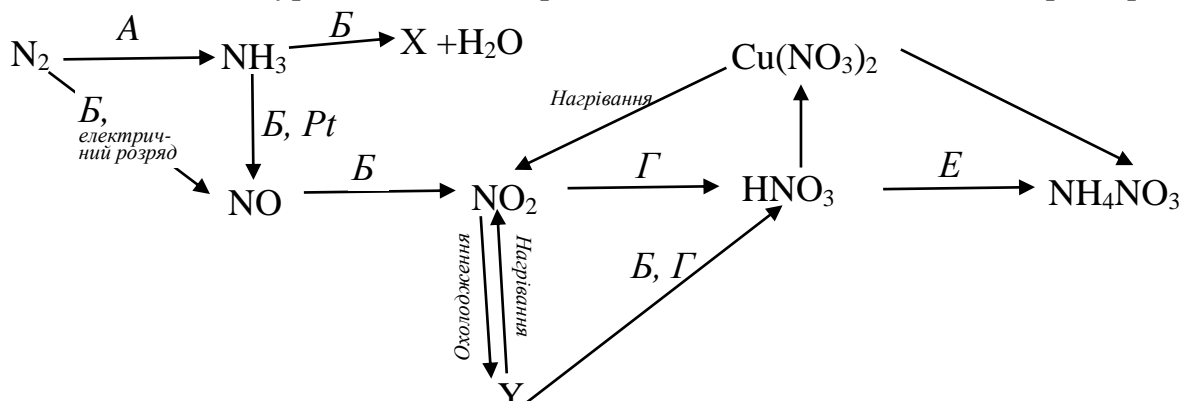
4) Для різних значень n отримаємо атомні маси металу:

N	$A(\text{Me})$	Me
1	12	–
2	24	Mg
3	36	–
4	48	Ti
5	60	–

5) Отже це може бути **магній** або **титан**.

Задача 6 (12 балів)

Напишіть та урівняйте хімічні реакції, які відповідають таким перетворенням:



Дайте назви речовин, які зашифровані літерами у схемі перетворень. Поблизу зашифрованих речовин можуть також вказуватись каталізатори або умови реакції.

Розв'язок

Рівняння реакцій перетворень, представлених на схемі:

- $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 = 2\text{NH}_3$ (речовина $A \equiv \text{H}_2$);
- $\text{N}_2 + \text{O}_2 \xrightarrow{\text{електричний розряд}} 2\text{NO}$ (речовина $B \equiv \text{O}_2$);
- $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 \xrightarrow{\text{платиновий каталізатор}} 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$ (речовина $B \equiv \text{O}_2$);
- $4\text{NH}_3 + 3\text{O}_2 = 2\text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ (речовина $X \equiv \text{N}_2$);
- $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$;
- $2\text{NO}_2 \xrightleftharpoons[\text{нагрівання}]{\text{охолодження}} \text{N}_2\text{O}_4$ (речовина $Y \equiv \text{N}_2\text{O}_4$);
- $3\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{HNO}_3 + \text{NO}$ (речовина $\Gamma \equiv \text{H}_2\text{O}$);
- $\text{N}_2\text{O}_4 + \text{H}_2\text{O} + 3\text{O}_2 = 2\text{HNO}_3$ (речовина $B \equiv \text{O}_2$, речовина $\Gamma \equiv \text{H}_2\text{O}$);
- $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ (замість Cu можна використати і сполуки Купруму – CuO , $\text{Cu}(\text{OH})_2$, $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3$, $\text{Cu}(\text{CO}_3)_2$ та ін.);
- $2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{T} 2\text{CuO} + 4\text{NO}_2 + \text{O}_2$
- $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NH}_4\text{OH} = \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow + 2\text{NH}_4\text{NO}_3$ (замість NH_4OH можна використати солі амонію, аніон яких утворює з йоном Cu^{2+} нерозчинні сполуки, наприклад, фосфат, сульфід та ін.);
- $\text{HNO}_3 + \text{NH}_3 = \text{NH}_4\text{NO}_3$ (речовина $E \equiv \text{NH}_3$)

Задача 1 (11 балів)

У лабораторії є розчин H_2SO_4 з масовою часткою $\omega = 33,82\%$ (розчин **1**), густина розчину **1** $\rho = 1,25 \text{ г/см}^3$.

- 1) Обчисліть молярну концентрацію C_1 розчину **1**.
- 2) Скільки *мл* розчину **1** треба використати, щоб доливши дистильованої води, одержати *0,5 л* розчину з $C_2 = 0,100 \text{ моль/л}$ (розчин **2**)?
- 3) Який об'єм розчину KOH з молярною концентрацією $C_{\text{KOH}} = 0,085 \text{ моль/л}$ треба витратити, щоб повністю нейтралізувати *25,00 мл* розчину **2** ($C_2 = 0,100 \text{ моль/л}$)?
- 4) Реакція нейтралізації $\text{H}^+ + \text{OH}^- = \text{H}_2\text{O}$ супроводжується виділенням тепла. Її тепловий ефект становить $57 \text{ кДж} \cdot \text{моль}^{-1}$. Скільки тепла виділиться внаслідок нейтралізації, яку описано у п. 3?
- 5) Чому розрахунки дещо відрізняються від експериментальних результатів?
- 6) Як називають реакції, які супроводжуються виділенням тепла?

Розв'язок

1)

$$\omega = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{m_{\text{розч}}} \cdot 100\% = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{\rho \cdot V_{\text{розч}}} \cdot 100\%; \quad C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot V_{\text{розч}}}$$

$$\frac{\omega}{100} \cdot \rho \cdot V_{\text{розч}} = C_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot M_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot V_{\text{розч}};$$

$$C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{\omega \cdot \rho}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4} \cdot 100} \quad C_{1, \text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{33,82 \cdot 1,25 \cdot 1000}{98 \cdot 100} = 4,31 \text{ моль/л}$$

Множник 1000 у чисельнику з'явився внаслідок того, що густина в умові подано в г/см^3 , а концентрацію обчислюємо в моль/л ($1 \text{ л} \cong 1 \text{ дм}^3 = 1000 \text{ см}^3$).

2)

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2; \quad V_{1, \text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{0,100 \cdot 0,5 \cdot 10^3}{4,31} = 11,6 \text{ мл}$$

3)

$$C_{\text{M, H}_2\text{SO}_4} = 0,100 \text{ моль/л}, \quad 0,200 \cdot 25,0 = 0,085 \cdot V \quad V_{\text{KOH}} = 58,8 \text{ мл}$$

$$C_{\text{E, H}_2\text{SO}_4} = 0,200 \text{ моль/л}$$

4) Під час нейтралізації, яку описано в п. 3 задачі, утвориться води

$$n_{\text{H}^+} = n_{\text{OH}^-} = n_{\text{H}_2\text{O}} = 0,005 \text{ моль}$$

Тому виділиться тепла: $Q = 57 \cdot 0,005 = 0,285 \text{ кДж} = \mathbf{285 \text{ Дж}}$.

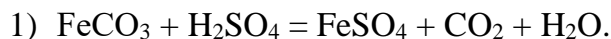
5) Дані експериментальних результатів дещо відрізняються від розрахованих (теоретичних) значень, оскільки двохосновна сульфатна кислота за другою стадією дисоціації є кислотою середньої сили і частина енергії (тепла) витрачається на дисоціацію гідрогенсульфат аніона: $\text{HSO}_4^- \rightleftharpoons \text{SO}_4^{2-} + \text{H}^+$

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

Задача 2 (13 балів)

Для визначення вмісту заліза у шпатовому залізняку, основним компонентом якого є ферум(II) карбонат, наважку руди масою 6,3 г розчинили в надлишку 20 % розчину сульфатної кислоти. Отриману суміш профільтрували від нерозчинних залишків, розчин перенесли в колбу об'ємом 0,500 л і довели до мітки водою (р-н I). Для стандартизації розчину калій перманганату (р-н II) приготували розчин оксалатної кислоти розчиненням 1,280 г $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ в мірній колбі об'ємом 250,0 мл (р-н III). На взаємодію з 10,0 мл розчину оксалатної кислоти витратили 8,0 мл розчину калій перманганату. Для визначення заліза відібрали 20,0 мл досліджуваного розчину (р-н I) на титрування якого витратили 12,0 мл розчину калій перманганату.

- 1) Напишіть і урівняйте рівняння всіх згаданих в умові реакцій.
- 2) Розрахуйте вміст заліза (мас. %) у руді.
- 3) Розрахуйте масову частку шпатового залізняка у руді (%).

Розв'язок

2) Розраховуємо концентрацію розчину оксалатної кислоти:

$$C_N(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) \cdot f(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) \cdot V_{\text{колб}}} = \frac{1,280 \cdot}{128 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,250} = 0,080 \text{ моль} \cdot \text{екв} \cdot \text{л}^{-1}$$

$M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = 128$ г/моль, $f(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 1/2$ (фактор еквівалентності оксалатної кислоти)

3) Взаємодії калій перманганату з оксалатною кислотою:



У цій реакції $f(\text{KMnO}_4) = 1/5$, $f(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 1/2$.

$$C_N(\text{KMnO}_4) = \frac{C_N(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) \cdot V(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{V(\text{KMnO}_4)} = \frac{0,080 \cdot 10,0}{8,0} = 0,100 \text{ моль} \cdot \text{екв} \cdot \text{л}^{-1}$$

4) Розраховуємо масу заліза в наважці руди із врахуванням розведення (аліквоти):

$$m(\text{Fe}) = \frac{C_N(\text{KMnO}_4) \cdot V(\text{KMnO}_4) \cdot M(\text{Fe})}{1000} \cdot \frac{V_3}{V_a} = \frac{0,100 \cdot 12,00 \cdot 56}{1000} \cdot \frac{500}{20} = 1,68 \text{ г}$$

Коефіцієнт 1000 з'явився внаслідок використання об'ємів у мл

5) Вміст шпатового залізняка: $m(\text{FeCO}_3) = \frac{m(\text{Fe}) \cdot M(\text{FeCO}_3)}{M(\text{Fe})} = \frac{1,68 \cdot 116}{56} = 3,48 \text{ г}$

6) Розраховуємо масові частки: $w(\text{FeCO}_3) = \frac{m(\text{FeCO}_3)}{m_p} \cdot 100 = \frac{3,48}{6,3} \cdot 100 = 55,2\%$

$$w(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{m_p} \cdot 100 = \frac{1,68}{6,3} \cdot 100 = 26,7\%$$

Задача 3 (18 балів)

Кристалічна речовина **A** темно-фіолетового кольору за нагрівання розкладається (**реакція 1**) на суміш порошків двох твердих речовин: **B** – темно-зеленого, та **B** – чорного кольору, а як третій продукт реакції виділяється безбарвний газ **Г**, що не має запаху та який можна зібрати у посудину витісненням води. Такий самий газ **Г** утворюється, якщо невелику кількість порошку речовини **B** додати до водного розчину речовини **D** (**реакція 2**). Відомо також, що за наявності надлишку газу **Г** яскраво

9 клас

спалахує тліюча скіпка. Якщо ж речовину **В** додати до водного розчину кислоти **Е**, то виділяється інший газ – **Ж** з різким задушливим запахом, жовто-зеленого кольору (**реакція 3**). Відомо, що речовина **Б** повільно розкладається водою (**реакція 4**) з утворенням речовин **А** та **В** і третього продукту **З**, який може легко реагувати з кислотою **Е** (**реакція 5**). При взаємодії речовини **Б** з розведеним розчином кислоти **Е** у числі інших продуктів реакції утворюються речовини **А** та **В** (**реакція 6**). Унаслідок дії газу **Ж** на речовину **Б** (**реакція 7**) можна знову отримати речовину **А**, а також один з продуктів реакції 5.

На основі даного опису:

- 1) Ідентифікуйте перелічені речовини **А–З**.
- 2) Запишіть рівняння усіх згаданих в умові реакцій та урівняйте їх складанням електронного балансу, зазначте окисник та відновник (за необхідності).
- 3) В чому особливість **реакції 4** порівняно з іншими згаданими перетвореннями?
- 4) Зазначте, яка з окисно-відновних реакцій принципово відрізняється від решти і чим?
- 5) Наведіть приклади газів, які **не можна** збирати шляхом витіснення води і поясніть чому.

Розв'язок

Вказані речовини це:

А	Б	В	Г
KMnO ₄	K ₂ MnO ₄	MnO ₂	O ₂
Д	Е	Ж	З
H ₂ O ₂	HCl	Cl ₂	KOH

Описані реакції:

- 1) $2\text{KMnO}_4 = \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{O}_2\uparrow$ (термічне розкладання калій перманганату)
- 2) $2\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2\uparrow$ (каталітичне розкладання гідроген пероксиду; каталізатор – порошок MnO₂)
- 3) $\text{MnO}_2 + 4\text{HCl} = \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- 4) $3\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{KMnO}_4 + \text{MnO}_2 + 4\text{KOH}$ (взаємодія калій манганату(VI) водою, **реакція диспропорціювання: і окисник, і відновник – це Mn(+6)**)
- 5) $\text{KOH} + \text{HCl} = \text{KOH} + \text{H}_2\text{O}$ (**реакція нейтралізації, яка єдина з описаних НЕ є окисно-відновною**)
- 6) $3\text{K}_2\text{MnO}_4 + 4\text{HCl} = 2\text{KMnO}_4 + \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{KCl}$
- 7) $2\text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{Cl}_2 = 2\text{KMnO}_4 + 2\text{KCl}$

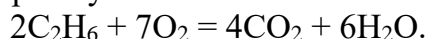
Витісненням води не можна збирати гази, які добре розчинні у воді (HCl, H₂S), або які взаємодіють з водою, зокрема ангідриди кислот (SO₂, NO₂), Cl₂ тощо.

Задача 4 (8 балів)

Суміш етану і вуглекислого газу об'ємом 400 мл (н.у.) спалили у кисні та пропустили утворену газову суміш через розчин баритової води. Маса одержаного осаду склала 5,72 г. Визначте вміст етану та вуглекислого газу у вихідній суміші газів (в об. %).

Розв'язок

- 1) У вихідній газовій суміші згоряти у кисні може лише етан:



Як видно з рівняння реакції, з 1 моль етану утворюється 2 моль CO₂.

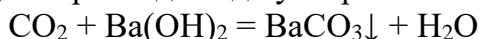
9 клас

2) Нехай x – об'єм метану у суміші (у мл). Тоді вихідний об'єм вуглекислого газу становив 400-хмл, а в результаті згоряння етану утворюється додатково $2x$ мл.

3) Після згоряння етану об'єм вуглекислого газу зростає:

$$V(\text{CO}_2)_{\text{кін}} = 2x + (400 - x) = 400 + x. (\text{I})$$

4) Взаємодія з баритовою водою призводить до утворення осаду барій карбонату:



5) $M(\text{BaCO}_3) = 197$ г/моль. Отже кінцевий об'єм вуглекислого газу:

$$V(\text{CO}_2)_{\text{кін}} = 5,72 \cdot 22400 / 197 = 650 \text{ мл}$$

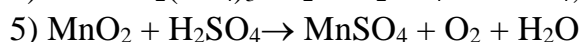
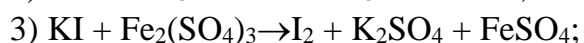
6) Підставляємо $V(\text{CO}_2)_{\text{кін}}$ в р-ня(I), одержуємо: $x = 650 - 400 = 250$ мл

7) Отже у вихідній суміші було 250 мл C_2H_6 та 150 мл CO_2 , або

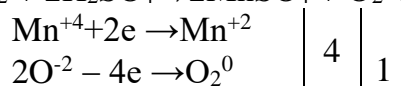
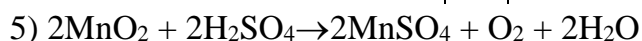
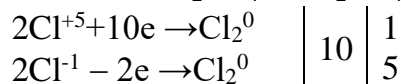
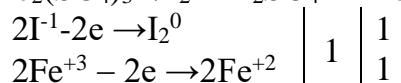
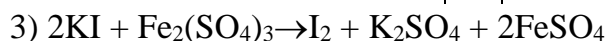
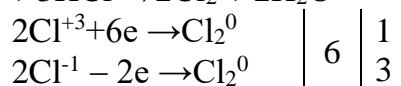
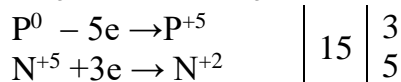
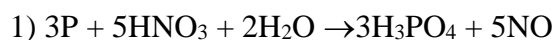
$$\varphi(\text{CO}_2) = 150/400 = 0,375 \text{ (37,5 об.\%);} \quad \varphi(\text{C}_2\text{H}_6) = 250/400 = 0,625 \text{ (62,5 об.\%)}$$

Задача 5 (20 балів)

Допишіть продукти окисно-відновних реакцій та урівняйте їх методом електронного або іонно-електронного балансу. Вкажіть окисник та відновник для кожної з таких реакцій:



Розв'язок



№реакції	Окисник	Відновник
1.	HNO_3	P
2.	HClO_2	HCl
3.	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	KI
4.	KClO_3	KCl
5.	MnO_2	MnO_2

Задача 6 (10 балів)

Для реакції $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3 + Q$:

- 1) Знайдіть швидкість прямої реакції (за воднем), якщо за 4 хв концентрація водню зменшилася від 2,4 до 1,2 моль/л.
- 2) Як зміниться швидкість реакції, якщо одночасно концентрацію азоту збільшити в 2 рази, а концентрацію водню збільшити в 3 рази.
- 3) Як зміниться швидкість реакції, якщо тиск збільшити в 2 рази.
- 4) Як зміниться швидкість реакції при збільшенні температури на 30° , якщо температурний коефіцієнт дорівнює 3.

Розв'язок

1) За означенням, швидкість реакції визначається як зміна концентрації за одиницю часу: $v = \frac{dC}{dt} = \frac{2,4 - 1,2}{4} = 0,3 \text{ моль/л}$

2) Залежність швидкості хімічної реакції від концентрації виражає формула:
 $v = k \cdot C(N_2) C^2(H_2)$.

У нашому випадку при зміні концентрацій: $v_1 = k \cdot 2C(N_2) (3C)^2(H_2) = 54v$

Швидкість збільшилася у 54 рази.

3) При збільшенні тиску в 2 рази зростають концентрації у 2 рази, тож використовуємо попередній підхід: $v_1 = k \cdot 2C(N_2) (2C)^2(H_2) = 16v$

Швидкість збільшилася у 16 разів.

4) Залежність швидкості хімічної реакції від температури описує емпіричне правило Вант-Гоффа: при зміні температури на кожні 10 град. швидкість змінюється в 2-4 рази:
 $v_2 = v_1 \cdot \gamma^{(T_2 - T_1)/10}$

У нашому випадку: $v_2 = v_1 \cdot 3^{30/10} = 27v_1$

Швидкість реакції збільшилася у 27 разів.

10 клас

Задача 1 (7 балів)

У мережі Тік Ток поширюється небезпечний тренд: з алюмінієвої фольги та засобу побутової хімії для усунення засмічення в системі каналізації (у складі якого переважає NaOH) діти виготовлюють “петарду” в закоркованій пластиковій пляшці. Внаслідок вибуху такого виробу вже постраждали кілька школярів Львівщини.

Учень взяв шматок харчової фольги вагою 4 г та помістив у пляшку об’ємом 1,5 л, куди попередньо було налито 200 мл (з надлишком) розчину натрій гідроксиду.

- Обчисліть можливий тиск у посудині в момент повного розчинення алюмінію (вважати початкові умови нормальними та прийняти, що газувата суміш у пляшці нагрівається до 200°C).
- Перерахуйте, до яких небезпечних для здоров’я наслідків може призвести використання такого пристрою?

Розв’язок

1. Реакція алюмінієвої фольги з лугом відповідає рівнянню:

$$2\text{Al} + 6\text{NaOH} + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Na}_3[\text{Al}(\text{OH})_6] + 3\text{H}_2\uparrow$$
2. Обчислимо кількість алюмінію:

$$n(\text{Al}) = 4 \text{ г} / 27 \text{ г/моль} = 0,148 \text{ моль}$$
3. За рівнянням реакції обчислюємо кількість водню, що виділяється (н.у.):

$$n(\text{H}_2) = 0,148 \text{ моль} \cdot 3/2 = 0,222 \text{ моль},$$

$$V(\text{H}_2) = 0,222 \text{ моль} \cdot 22,4 \text{ моль/л} = 4,97 \text{ л}$$
4. Визначаємо об’єм повітря в посудині (та ж величина відповідає кінцевому об’єму газової суміші в пляшці) з врахуванням рідини та його кількість:

$$V = 1,5 \text{ л} - 0,2 \text{ л} = 1,3 \text{ л}, N(\text{повітря}) = 1,3 \text{ л} / 22,4 \text{ л/моль} = 0,058 \text{ моль}.$$
5. Обчислюємо кінцевий тиск з врахування нагрівання продуктів реакції:

$$P = n(\text{суміші}) \cdot R \cdot T / V = (0,222 + 0,058) \cdot 8,31 \cdot 473 / 1,3 \approx 847 \text{ кПа (близько 8,4 атм)}.$$
6. Основні небезпеки під час використання такого пристрою це:
 - потрапляння крапель гарячого розчину лугу чи розплаву матеріалу пляшки на шкіру та в очі;
 - ураження скалками та дрібними камінцями з місця вибуху, ураження слуху внаслідок вибуху, тощо;
 - зверніть увагу, можливе займання суміші водень/повітря, що призведе до підсилення впливу небезпечних факторів!

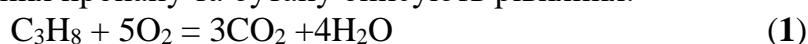
Задача 2 (8 балів)

У замкнену посудину з повітрям додали суміш пропану та бутану (співвідношення об’ємних часток компонентів суміші органічних компонентів 3 : 1), вміст підпалили. Згорання алканів відбулося повністю, утворилися лише карбон(IV) оксид та вода, в посудині кисню не залишилось.

- Обчисліть об’ємний склад (в об. частках) суміші в посудині до підпалювання.
- Де у техніці та побуті використовують пропан-бутанову суміш?

Розв’язок

1) Реакція горіння пропану та бутану описують рівняння:



10 клас

Згадане в умові повне згоряння алканів та відсутність кисню після реакції дозволяє в загальному вигляді встановити склад вихідної суміші повітря/пропан/бутан.

- 2) Нехай використали x л суміші, за умовою задачі в ній $0,75x$ л пропану та $0,25x$ л бутану. Відповідно до рівнянь реакцій (1) та (2), на спалювання такої кількості вуглеводнів необхідно $3,75x + 1,625x = 5,375x$ л кисню.
- 3) Знаючи, що об'ємна частка кисню в повітрі становить $0,21$, для спалювання суміші потрібно $5,375x/0,21 = 25,60x$ л повітря.
- 4) У посудині перед спалюванням було $0,75x$ л пропану, $0,25x$ л бутану та $25,60x$ л повітря. Загальний об'єм суміші становитиме $0,75x + 0,25x + 25,60x = 26,60x$ л.
- 5) Об'ємні частки компонентів пропану – $0,75x/26,60x = 0,028$, бутану – $0,25x/26,60x = 0,0094$, решта суміші – повітря.
- 6) Пропан-бутанова суміш в основному використовується як паливо та як вихідний продукт в органічному синтезі для отримання в основному ненасичений аліфатичних вуглеводнів та їх кисневмісних похідних.

Задача 3 (20 балів)

До 121 мл гарячого розчину солі аргентуму **A** з концентрацією розчиненої речовини 9 г/л додали еквімолярну (1 : 1) кількість галогеніду **B**. В результаті утворилося $0,48$ г білого осаду сполуки **B** та розчин солі **Г**. Осад **B** відфільтрували, до фільтрату додали невеликий надлишок натрій карбонату, утворилося $0,96$ г осаду **Д**. Осад **Д** розчинили в нітратній кислоті, а продукт **Е** відділили та обережно висушили. Сполуку **Е** додали до 70% розчину етанолу та прилили концентрованої нітратної кислоти. В наслідок цього утворився продукт **Ж**. Якщо пропускати через амоніачний розчин сполуки **Е** ацетилен то випадає осад сполуки **З**, який при необережному поводженні вибухає з утворенням, зокрема, червоно-бурого газу.

- Ідентифікуйте речовини **A**, **B**, **B**, **Г**, **Д**, **Е**, **Ж**, **З** та запишіть їх формули.
- Напишіть та урівняйте рівняння згаданих в умові реакцій та термічного розкладу сполук **A** та **Д**?

Розв'язок

1) Виходячи з еквімолярного співвідношення сполук **A** та **B** можна записати:



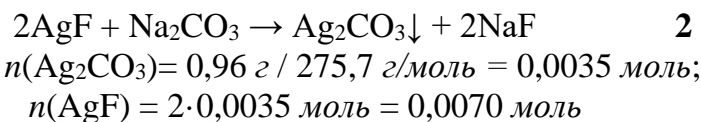
2) Серед галогенідів аргентуму білий колір тільки у AgCl (бромід жовтуватий, йодид – жовтий, в свою чергу, фторид – розчинний у воді що суперечить умові).

3) Перевіримо таке припущення: $n(\text{AgCl}) = 0,48 \text{ г} / 143,3 \text{ г/моль} = 0,0033 \text{ моль}$, з рівняння **1** – $n(\text{Ag}_x\text{A}) = 0,0033/x \text{ моль}$, в вихідному розчині сполуки **A** – $m(\text{Ag}_x\text{An}) = 0,121 \text{ л} \cdot 9 \text{ г/л} = 1,09 \text{ г}$. Тоді $M(\text{Ag}_x\text{An}) = 1,09 \text{ г} / (0,0033/x) \text{ моль} \approx 330 \cdot x \text{ г/моль}$.

Тобто за жодних цілочисельних, додатних значень x мольна маса сполуки **A** не відповідає реальним аргентум галогенідам.

4) Отже, осадом є інший продукт реакції – речовина CatAn в рівнянні **1** (вона ж **B** з умови задачі), а речовина **Г** – аргентум флуорид (як єдиний розчинний з аргентум галогенідів).

5) Відповідно, внаслідок взаємодії **B** з натрій карбонатом випадає осад аргентум карбонату (сполука **Д**):



6) Перетворення з умови тепер можна записати схемою:



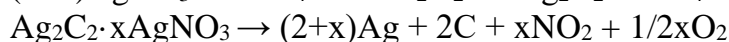
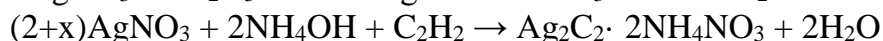
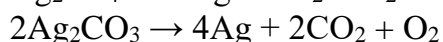
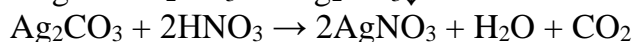
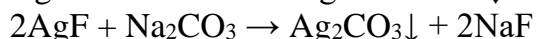
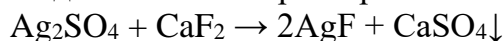
Тоді: $n(\text{Ag}_x\text{An}) = 1,09 / (x \cdot 107,9 + M(\text{An}))$, одночасно $n(\text{Ag}_x\text{An}) = n(\text{AgF})/x = 0,0070/x$, тобто $1,09 / (x \cdot 107,9 + M(\text{An})) = 0,0070/x$.

7) Також з рівняння **3** маємо $n(\text{An}) = 0,48 / (M(\text{Cat}) + M(\text{An}))$ що також має бути рівним $n(\text{AgF})/x$, тобто $0,48 / (M(\text{Cat}) + M(\text{An})) = 0,0070/x$

8) Підставивши значення $x = 1, 2, 3$ можемо встановити, що $\text{Cat} = \text{Ca}^{2+}$, $\text{An} = \text{SO}_4^{2-}$.

9) Тому **A** – Ag_2SO_4 , **B** – CaF_2 , **B** – CaSO_4 , **Г** – AgF , **Д** – Ag_2CO_3 , **Е** – AgNO_3 , **Ж** – AgCNO , **З** – адукт змінного складу $\text{Ag}_2\text{C}_2 \cdot x\text{AgNO}_3$.

10) В задачі описані перетворення:



Задача 4 (15 балів)

Вуглеводень **A** є рідиною за нормальних умов. Його пара приблизно в 3,66 рази важча за повітря. Ця сполука за кімнатної температури не знебарвлює бромну воду, не реагує з аміачним розчином оксиду срібла чи з водним розчином перманганату калію. Після спалювання в кисні 2 г цієї речовини утворилося 6,642 г вуглекислого газу і 1,699 г води.

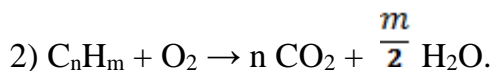
- На основі цих даних визначте молекулярну формулу вуглеводню і напишіть структурні формули можливих ізомерів сполуки **A** (враховуйте описану вище реакційну здатність сполуки **A**). Визначте котра з структур належить сполуці **A**, якщо відомо, що у її спектрі ^1H ЯМР наявні 2 сигнали. Обґрунтуйте ваш вибір та запишіть схематично спектр сполуки **A**.
- Відомо також, що продукт окислення сполуки **A** надлишком киплячого водного розчину перманганату калію, сполука **B**, застосовується у виготовленні полімеру з якого виготовляють пластикові пляшки для газованих солодких напоїв (таких як Соса-Сола). Запишіть схему реакції $\text{A} \rightarrow \text{B}$, та запишіть елементарну ланку згаданого полімеру.

Розв'язок

1) Обчислюємо молекулярну масу, маючи відносну густину за повітрям:

$$M(\text{C}_n\text{H}_m) = M(\text{повітря}) \cdot D_{\text{повітря}}(\text{C}_n\text{H}_m) = 29 \cdot 3,66 = 106,14 \text{ г/моль};$$

Обчислюємо кількість спаленого вуглеводню: $\nu_{\text{C}_n\text{H}_m} = \frac{m}{M} = \frac{2}{106} \cdot 14 = 0,0188 \text{ моль}$



Обчислюємо кількість С і Н:

$$\nu_{\text{CO}_2} = \nu_{\text{C}} = \frac{m}{M_{\text{CO}_2}} = 6 \cdot \frac{642}{44} = 0,15 \text{ моль}$$

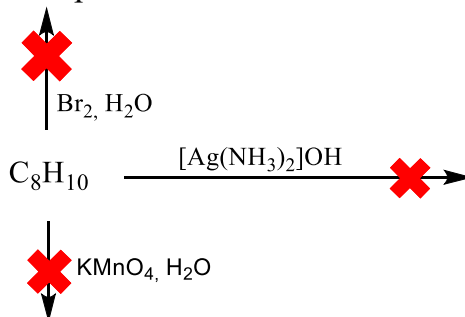
$$\nu_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1}{2} \nu_{\text{H}} = \frac{m}{M} = 1 \cdot \frac{699}{18} = 0,094 \text{ моль}$$

$$\nu_{\text{CO}_2} : \nu_{\text{H}_2\text{O}} = 0,15 : 0,094 = 8 : 5$$

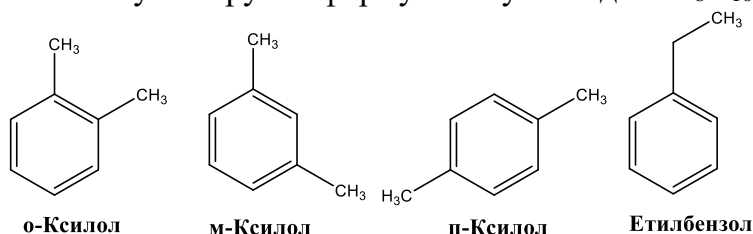
$$\nu_{\text{C}} : \nu_{\text{H}} = 8 : 10$$

Брутто-формула вуглеводню C_8H_{10} .

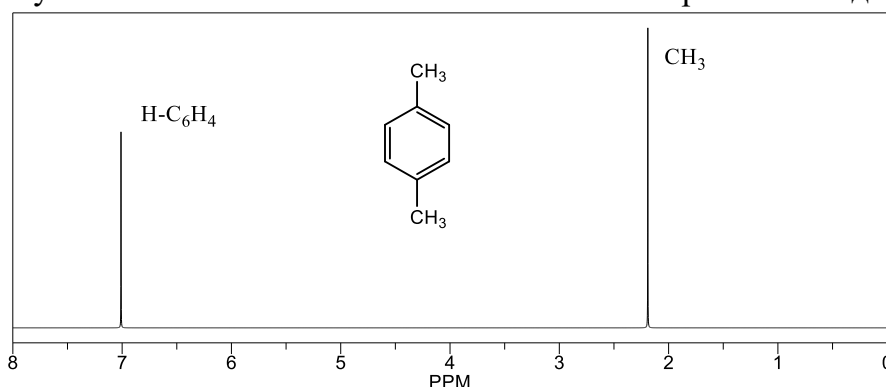
3) Зважаючи на брутто-формулу вуглеводню, можна припустити, що він мав би містити кратні зв'язки. Оскільки описана реакційна здатність цього не підтверджує, можна припустити, що кратні зв'язки утворюють ароматичну систему, яка не дає позитивної реакції із згаданими реагентами.



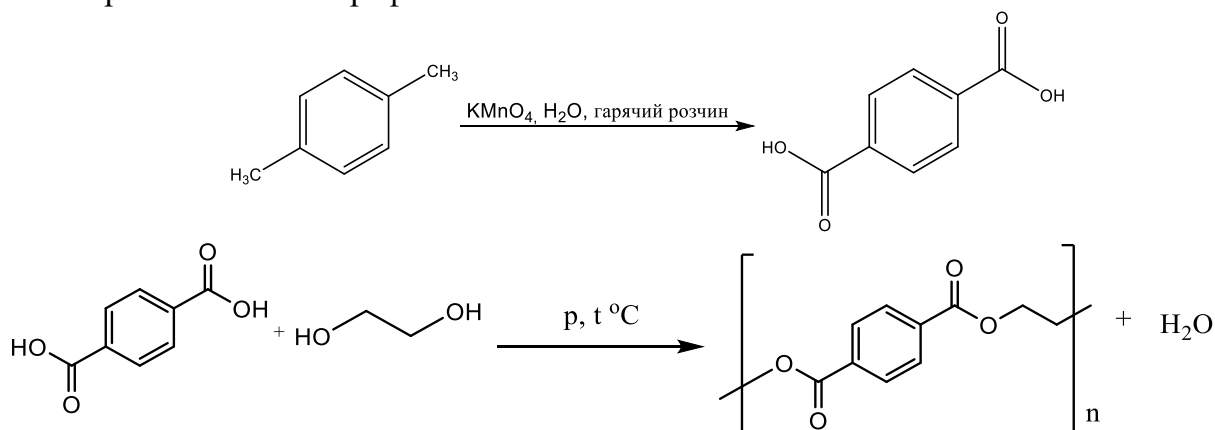
Ізомери ароматичних сполук із брутто-формулою вуглеводню C_8H_{10} :



Враховуючи, що в спектрі ЯМР є два сигнали, то правильною структурою, яка відповідає опису є *p*-ксилол. Його схематичний ЯМР-спектр має вигляд:



4) Продуктом окислення *p*-ксилолу надлишком киплячого водного розчину перманганату калію є терефталева кислота, із якої виготовляють широко використовуваний полімер – поліетилентерефталат.



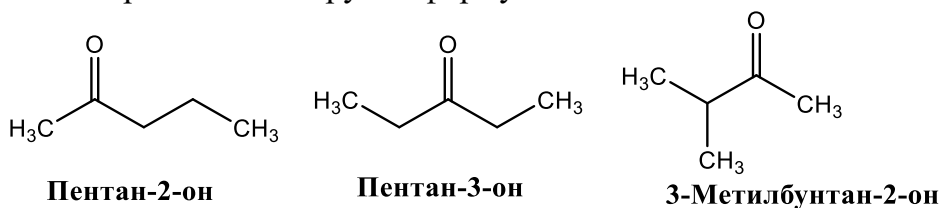
Задача 5 (8 балів)

При окисленні кетону **A** ($C_5H_{10}O$) за реакцією **X** пероксосульфатною кислотою (H_2SO_5) утворюється лише один естер **B** ($C_5H_{10}O_2$). Гідроліз естеру **B** дає суміш спирту **C** і кислоти **D**. При піролізі кальцієвої солі кислоти **D** утворюється кетон **A**.

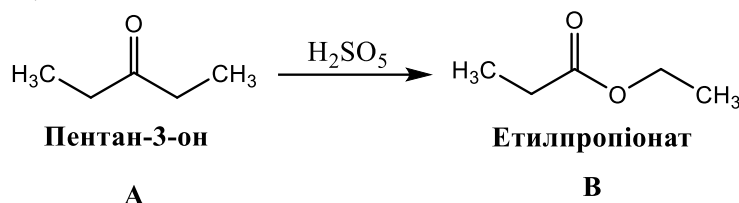
- Визначте структуру сполук **A–D**, назвіть їх та наведіть схеми згаданих в умові перетворень.
- Що приховується за позначенням **X** (назвіть іменну реакцію)?

Розв'язок

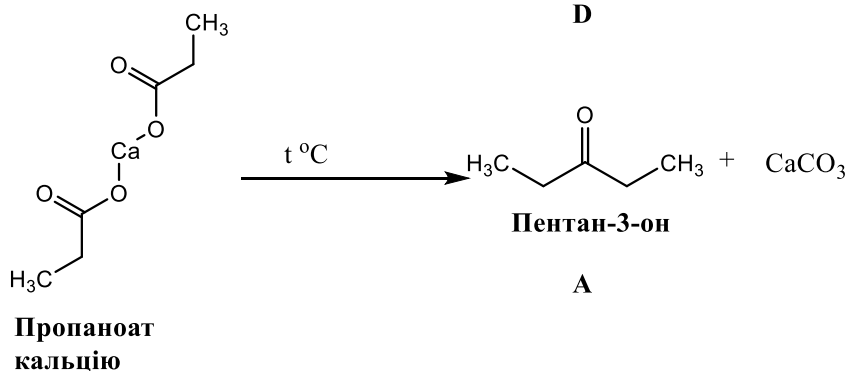
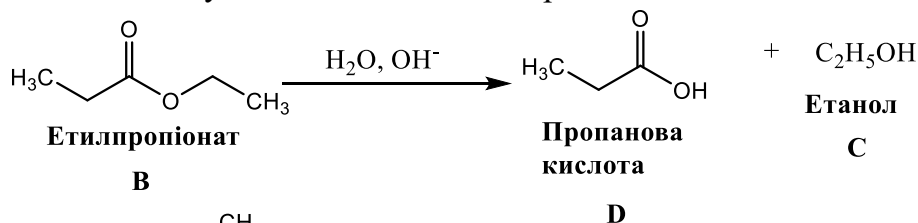
1) Структурні ізомери кетонів з брутто-формулою $C_5H_{10}O$:



2) Оскільки при окисненні пентан-2-он і 3-метилбутан-2-ону утворюється суміш естерів, то підходящим кетоном є пентан-3-он:



3) Він також задовольняє умови інших згаданих реакцій:

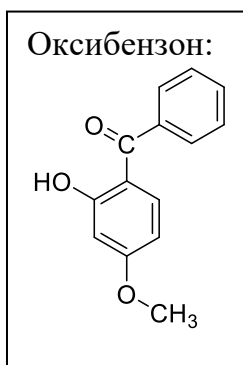


4) Реакція **X** є іменною, її називають окисненням за Баєром-Віллігером – це реакція, у якій під дією пероксикислот чи пероксидів як окисників, з кетонів утворюється естери або лактони з циклічних кетонів.

Задача 6 (12 балів)

Оксибензон вперше синтезували в Німеччині хіміки Кьоніг і Костанецкі у 1906 році. Він широко використовується в сонцезахисних кремах, а також в пластмасах,

10 клас

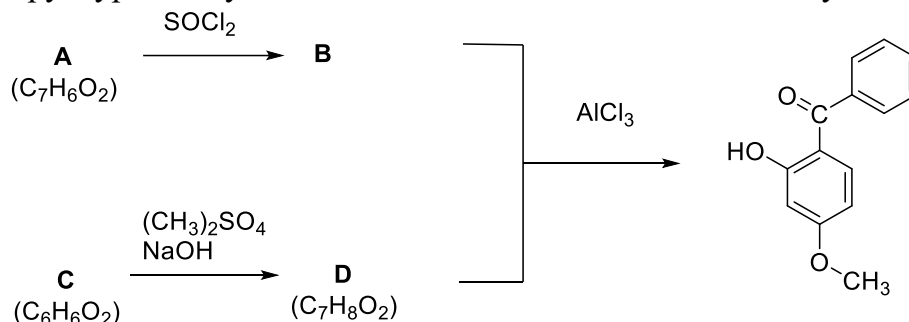


іграшках, меблях та інших продуктах для обмеження розпаду під дією ультрафіолетового випромінювання. У природі ця сполука зустрічається в різних квітучих рослинах. Попри це, загрози використання оксибензону як інгредієнта сонцезахистного крему наразі розглядається науковою спільнотою через суперечки щодо впливу молекули на навколишнє середовище. Так сонцезахисні засоби, що містять оксибензон, 1 січня 2020 року були заборонені до продажу на Гаваях, Палау і в Таїланді.

• Які функціональні групи містяться в оксибензоні? Виберіть та вкажіть в вашій роботі правильну(-і) відповідь(-і):

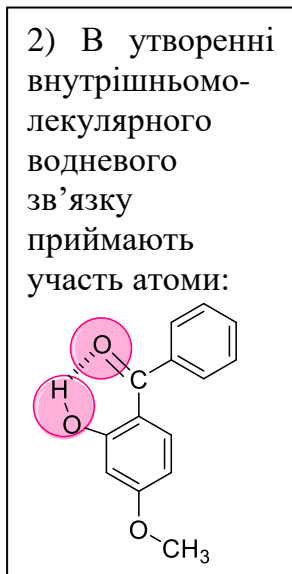
- 1) естерна 3) кетонна 5) етерна
 2) альдегідна 4) карбоксильна 6) фенольна

- На структурній формулі оксибензону обведіть два атоми, що беруть участь в утворенні внутрішньомолекулярного водневого зв'язку.
- Вкажіть структури сполук **A**, **B**, **C** та **D** в наведеній схемі синтезу оксибензону:

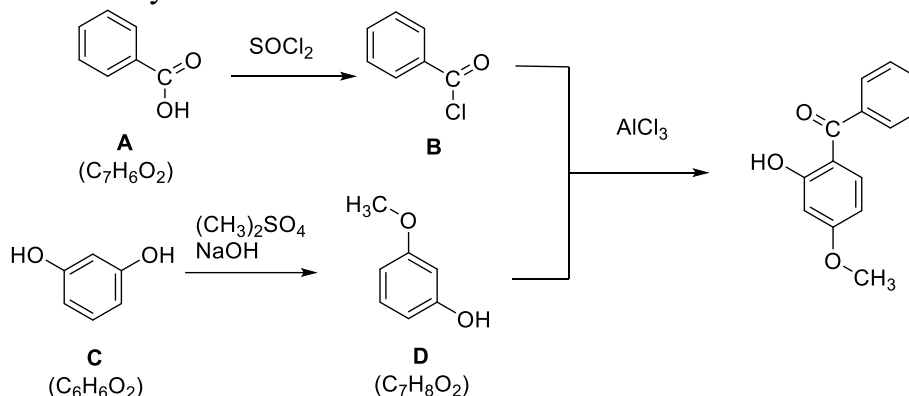


Розв'язок

- 1) В оксибензоні містяться такі функціональні групи: **3)** кетонна; **5)** етерна; **6)** фенольна.



- 3) Структури сполук **A**, **B**, **C** та **D** в наведеній схемі синтезу оксибензону:



Задача 7 (10 балів)

Повітряна куля або, правильніше, аеростат – це найпростіший літальний апарат типу «легший-за-повітря», в якому для польоту використовується підймальна сила легкого повітроплавального газу – зазвичай, водню чи гелію (монгольф'єри), або ж

10 клас

нагрітого повітря (шарльєри). Сучасна типова повітряна куля важить близько 350 кг, включаючи сам балон, кошик та допоміжні системи.

Нехай така куля має підняти двох пасажирів загальною вагою 150 кг на висоту 2000 км. Розрахуйте яка масу гідриду магнію MgH_2 , що містить 5 мас. % добавки-катализатора, необхідно витратити для отримання водню, щоб наповнити таку повітряну кулю. Вихід водню не перевищує 30%. На зазначеній висоті атмосферний тиск становить 80 кПа за температури $0^\circ C$, а прискорення вільного падіння над Львовом – $9,803 \text{ м/с}^2$.

Розрахуйте чи можливо створити монгольф'єр такого ж розміру та вантажопідйомності.

Розв'язок

1) Підйомна сила повітряної кулі визначається різницею густин газу в балоні (H_2) та оточуючого повітря відповідно до формули:

$$F_{\text{підйом}} = (d(\text{пов.}) - d(H_2)) \cdot g \cdot V_{\text{кулі}}$$

і зрівноважується силою тяжіння, що діє на кулю $F_{\text{тяж}} = m_{\text{кулі}} \cdot g$:

$$(d(\text{пов.}) - d(H_2))V_{\text{кулі}} = m_{\text{кулі}}$$

2) В свою чергу: $d = M / V_M$, тож $m_{\text{кулі}} \cdot V_M = (M(\text{пов.}) - M(H_2)) \cdot V_{\text{кулі}}$.

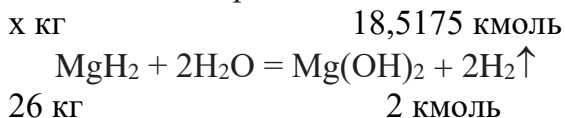
3) На висоті 2000 м: $V_M = RT / p = 8,314 \cdot 273 / 80000 = 2,837 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$.

4) Оскільки загальна маса кулі $250 + 150 = 500 \text{ кг}$, то

$$V_{\text{кулі}} = 500 \cdot 2,837 \cdot 10^{-2} / ((29 - 2) \cdot 10^{-3}) = 525,37 \text{ м}^3 = V(H_2),$$

що становить $n(H_2) = pV / RT = 80000 \cdot 525,37 / 8,314 \cdot 273 = 18517,5 \text{ моль}$.

5) Гідроліз MgH_2 відбувається згідно з рівнянням:



Звідси: $m(MgH_2, \text{теор.}) = 26 \cdot 18,5175 / 2 \cong 240,73 \text{ кг}$

6) З урахуванням вмісту катализатора та виходу:

$$m(MgH_2, \text{практ.}) = 240,73 / (0,95 \cdot 0,3) \cong 844,66 \text{ кг}$$

7) Умовою створення монгольф'єра з ідентичними характеристиками є досягнення гарячим повітрям у кулі густини водню:

$$d = M / V_M = M \cdot p / RT;$$

$$M(H_2) \cdot p / RT(H_2) = M(\text{гар. пов.}) \cdot p / RT(\text{гар. пов.});$$

$$M(H_2) / T(H_2) = M(\text{гар. пов.}) / T(\text{гар. пов.});$$

$$T(\text{гар. пов.}) = M(\text{гар. пов.}) \cdot T(H_2) / M(H_2) = 29 \cdot 273 / 2 = 3958,5 \text{ К}$$

Навіть киснево-ацетиленове полум'я має меншу температуру горіння ($\sim 3500 \text{ К}$). Також виникає проблема з жаростійкістю матеріалу балона. Тож створити аеростат типу «монгольф'єр» з заданими характеристиками нереально. Тому об'єм сучасних аеростатів, де використовують гаряче повітря, є суттєво більшим.

11 клас

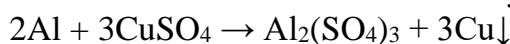
Задача 1 (8 балів)

Алюмінієву пластинку занурили у 1 л водного розчину купрум сульфату ($\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$, $\omega(\text{CuSO}_4) = 1,6\%$), за якийсь час обережно витягнули, промили дистильованою водою, висушили та зважили. Маса змінилась на 3 г. В посудині жодного осаду не було. Пластинку повернули до розчину, під'єднали до від'ємного полюса джерела струму і проводили електроліз впродовж 5 годин за сили струму 0,4 А.

- Напишіть та урівняйте рівняння згаданих в умові реакцій.
- Визначте масу алюмінію та купрум сульфату, що прореагували, а також об'єм газу (н.у.) що виділився на аноді впродовж електролізу.

Розв'язок

1) Спочатку відбувається витіснення менш активного металу:



У умові наголошено що після вилучення пластинки в посудині осаду не було, тому уся мідь залишатиметься на пластинці.

2) У випадку розчинення 2 моль алюмінію (54 г) утворюється 3 моль міді (192 г). Зміна маси становитиме $192 - 54 = 138 \text{ г}$. Складаємо пропорцію:

При розчиненні 54 г алюмінію зміна маси становить 138 г

x г алюмінію 3 г

Отже, прореагувало 1,17 г алюмінію (0,043 моль).

3) Відповідно, прореагувало 10,37 г (0,065 моль) купрум(II) сульфату. В розчині залишатиметься $(1000 \cdot 1,2 \cdot 0,016) - 10,37 = 8,83 \text{ г}$ купрум(II) сульфату.

4) Під час електролізу відбуватимуться наступні процеси:

Катод(-): $\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}^0\downarrow$; після перетворення усього купрум(II) сульфату в розчині може початись реакція $2\text{H}^+ + 2e = \text{H}_2\uparrow$.

Анод(+): $2\text{H}_2\text{O} - 4e = \text{O}_2\uparrow + 4\text{H}^+$

5) Оскільки пластинку під'єднали до негативного полюса джерела струму, то на ній відбуватиметься виділення міді.

При електролізі впродовж 18000 с прореагує ще

$$\frac{M \cdot I \cdot t}{n \cdot F} = \frac{159,6 \cdot 0,4 \cdot 18000}{2 \cdot 96485} = 5,95 \text{ г купрум(II) сульфату.}$$

Тож всього реагує $10,37 \text{ г} + 5,95 \text{ г} = 16,32 \text{ г}$ купрум(II) сульфату.

6) На аноді під час електролізу буде виділятися кисень об'єм якого обчислюємо з співвідношення:

$$V = \frac{V_M \cdot I \cdot t}{n \cdot F} = \frac{22,4 \cdot 0,4 \cdot 18000}{4 \cdot 96485} = 0,41 \text{ л}$$

Задача 2 (10 балів)

Наважку бінарної сполуки металу з киснем А масою 30,0 г обробили надлишком вуглекислого газу. Утворилися тверда речовина Б та газ В. Сполуку Б розчинили у воді, додали надлишок розчину барій нітрату, утворилось 35,9 г осаду. Газ В пропустили крізь скляну трубку з розпеченою міддю, маса трубки з наповненням збільшилась на 4,37 г.

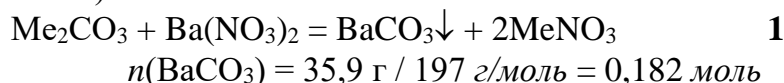
- Ідентифікуйте сполуки А – В, напишіть та урівняйте рівняння описаних в умові хімічних перетворень.

11 клас

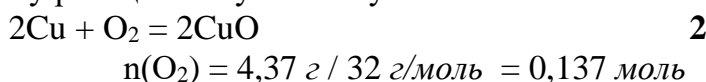
- Яка внутрішня будова сполуки **A**, в яких ступенях окиснення перебувають метал та кисень в ній?
- Опишіть можливі способи використання сполуки **A**.

Розв'язок

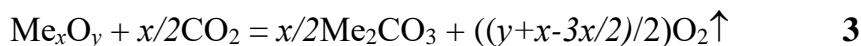
- 1) Осад при взаємодії з розчином барій нітрату в описаних умовах це барій карбонат, тому речовина **B** – карбонат лужного металу (оскільки тільки ці метали утворюють розчинні карбонати):



- 2) Збільшення маси трубки з розпеченою міддю відбувається за рахунок кисню (**B**), який вивільнився у реакції сполуки **A** з вуглекислим газом:



- 3) Поява газуватого кисню при взаємодії бінарної оксигеновмісної сполуки з CO_2 виключає приналежність **A** до оксидів. Виходячи з вище наведеного можемо записати:



Тут $x = 0,182$, оскільки ми попередньо знайшли кількість молів барій карбонату.

- 4) Знаходимо кількість атомів кисню в сполуці **A**:

$$(y + 0,182 - 3 \cdot 0,182/2)/2 = 0,137; \quad (y - 0,091) = 0,274; \quad y = 0,365$$

Звідси, найпростіша формула оксигеновмісної сполуки – MeO_2 .

- 5) Оскільки зі знайденої формули випливає що, $n(\text{MeO}_2) = n(\text{Me}) = 0,182 \text{ моль}$, то мольна маса MeO_2 дорівнюватиме $M(\text{MeO}_2) = 30 \text{ г} / 0,182 \text{ моль} = 165 \text{ г/моль}$, а мольна маса Me становитиме $M(\text{Me}) = 165 - 32 = 133 \text{ г/моль}$.

Цей метал – цезій; шукана формула сполуки **A** – CsO_2 .

- 6) CsO_2 – цезій надпероксид, іонна сполука будови $(\text{Cs}^+)(\text{O}_2^-)$.

Цезій надпероксид використовується в сумішах для регенерації кисню на підводних човнах та космічних кораблях а також як сильний окисник.

Задача 3 (17 балів)

Зразок простої речовини **A** темно-коричневого кольору підпалили в замкненій посудині за надлишку кисню. По закінченні реакції реакційну суміш охолодили до кімнатної температури. В реакторі утворилась бінарна газоподібна речовина **B**. При внесенні в посудину порошку платини на дні також з'являється прозора рідина **B**.

При взаємодії сполуки **B** з амоніаком утворюються кристали речовини **G**. Додавання до **B** еквівалентної кількості води призводить до утворення сполуки **D** – безбарвної рідини за звичайних умов.

Електроліз **G** в водному розчині **D** призводить до утворення сполуки **E**. При взаємодії речовин **D** та **B** утворюється сполука **Ж** (безбарвні кристали, стійкі в сухому повітрі). Речовина **Ж**, своєю чергою, при взаємодії з аміаком перетворюється у сполуку **З**. Останню можна також отримати при нагріванні сполуки **E** до температури близько 120°C .

- Розпізнайте речовини **A** – **З**, напишіть та урівняйте рівняння описаних в умові хімічних перетворень.
- Охарактеризуйте просторову будову молекул **B** та **B** у газуватому стані.

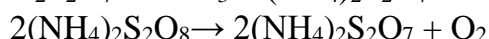
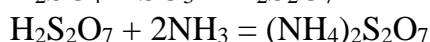
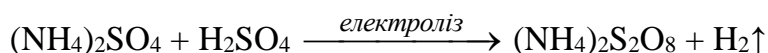
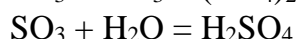
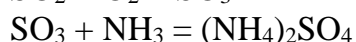
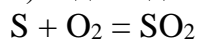
11 клас

Розв'язок

1) Утворення при взаємодії простої речовини з киснем газоподібного оксиду, який перетворюється в інший газоподібний оксид, підказує, що *A* – проста речовина неметалічного елемента. Більше того, безбарвні газоподібний та рідкий (за кімнатної температури) оксиди, що легко перетворюються один в один, є тільки в одного неметалічного елемента – Сульфуру.

2) Отже в задачі описано перетворення пов'язані зі сполуками Сульфуру, а саме: *A* – полімерна модифікація S, *B* – SO₂, *B* – SO₃, *Г* – (NH₄)₂SO₄, *Д* – H₂SO₄, *Е* – (NH₄)₂S₂O₈, *Ж* – H₂S₂O₇, *З* – (NH₄)₂S₂O₇.

3) Відповідні рівняння реакцій:



4) В SO₂, кутова молекула (sp² гібридизація); SO₃ – пласка трикутна молекула (sp³ гібридизація).

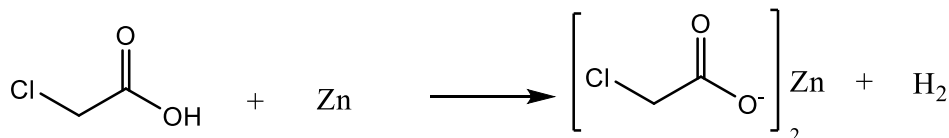
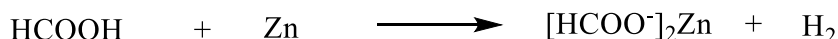
Задача 4 (8 балів)

Газ, що утворився дією цинку на розчин 4,7 г суміші метанової і хлоретанової кислот у 16,3 мл води, змішали з 112 мл етилену (н. у.). Після взаємодії над платиновим каталізатором об'єм суміші зменшився до 1 672 мл (н. у.).

- Визначте вміст кожної кислоти у вихідному розчині (у мас. %).
- Запишіть схеми усіх згаданих в умові перетворень.

Розв'язок

1) Мурашина і хлороцтова кислоти є достатньо сильними, щоб прореагувати з цинком з виділенням водню, тому для обох кислот можна записати рівняння:



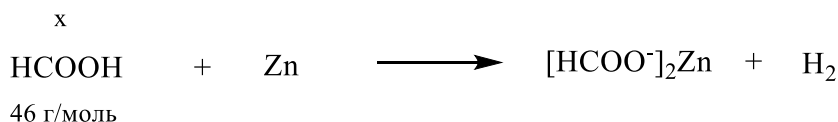
2) Водень, що утворився внаслідок реакції прореагував з 112 мл етилену, у результаті реакції утворилась суміш етану та непрореагованого водню. Кінцевий об'єм суміші становив 1672 мл.



$$V_{C_2H_4} = V_{H_2} = V_{C_2H_6}, \text{ отже } V_{C_2H_4} = V_{H_2} = V_{C_2H_6} = 112 \text{ мл}.$$

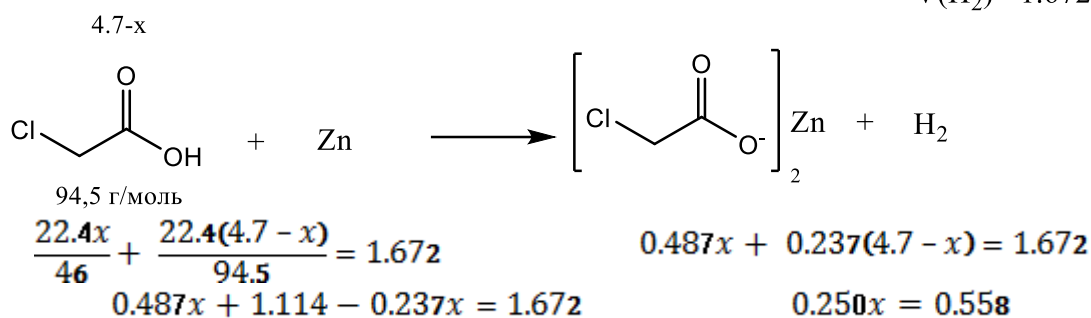
Оскільки $V_{C_2H_4} = V_{H_2}$, то кінцевий об'єм суміші відповідає початковому об'єму водню, який змішали з етиленом, і який утворився при взаємодії з кислотами.

3) Знаючи об'єм водню, можна за рівнянням обчислити маси кислот.



11 клас

$$V(\text{H}_2) = 1.672 \text{ л}$$



$x = 2.232 \text{ г}$ -- маса HCOOH .

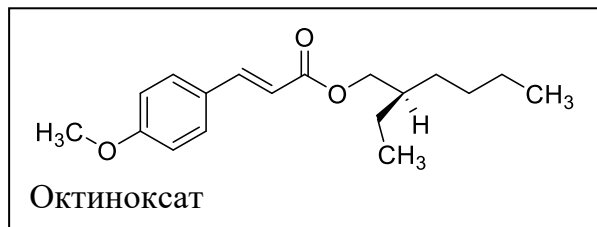
Тоді маса ClCH_2COOH рівна: $4,7 - 2,232 = 2,468 \text{ г}$.

4) Концентрацію кислоти у розчині обчислюють за формулою:

$$w_{\text{HCOOH}} = \frac{2.232}{21} \times 100\% = 10.63\% \quad w_{\text{ClCH}_2\text{COOH}} = \frac{2.468}{21} \times 100\% = 11.75\%$$

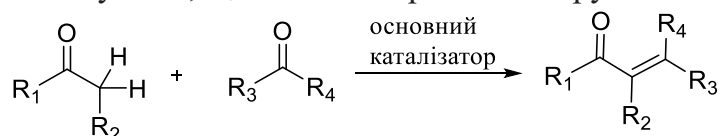
Задача 5 (12 балів)

Октиноксат в основному використовується в сонцезахисних кремах та інших косметичних засобах для поглинання ультрафіолетових променів сонця, захищаючи шкіру від пошкоджень. Він також використовується для зменшення утворення шрамів після операцій. Однак дослідження, проведене в 2000 році, викликало занепокоєння щодо безпеки цієї сполуки, продемонструвавши токсичність для клітин миші в концентраціях, нижчих за типові рівні в сонцезахисних кремах. Попри це, вважається, що октиноксат не проникає через шкіру в достатній концентрації, щоб спричинити будь-яку значну токсичність для кератиноцитів людини, що знаходяться під ними. Водночас через загрозу для коралових рифів сонцезахисні засоби, що містять октиноксат, 1 січня 2020 року були заборонені до продажу на Гаваях та Палау.



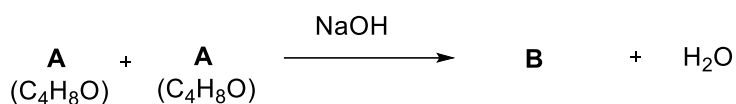
Октиноксат існує у вигляді декількох стереоізомерів. Енантіомери – це стереоізомери, які є дзеркальними зображеннями один одного, що не накладаються. На рисунку показано лише один стереоізомер:

- Намалуйте другий стереоізомер октиноксату, який є енантіомером зображеного.
- Було показано, що октиноксат чутливий до світла зі зниженням ефективності поглинання УФ-променів під впливом світла. Це спричинено утворенням Z-ізомеру цієї сполуки. Намалуйте цей ізомер октиноксату, який не є енантіомером зображеного.
- У синтезі октиноксату використовується каталізована основами реакція конденсації між двома молекулами, що містять карбонільні групи:



Продуктом цієї реакції є молекула, яка містить зв'язки $\text{C}=\text{C}$ і $\text{C}=\text{O}$ поруч один з одним. Ця близькість є необхідною, щоб октиноксат добре поглинав ультрафіолет. Синтез октиноксату починається з перетворення сполуки **A** в **B**. Потім сполуку **B** перетворюють на октиноксат у три стадії:

11 клас



A:

ІЧ: 1730 см⁻¹

¹H ЯМР: 0,9 м.ч., 3H, триплет

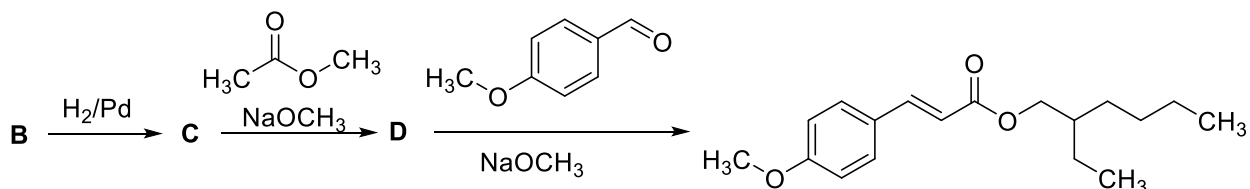
1,6 м.ч., 2H, мультиплет

2,5 м.ч., 2H, мультиплет

9,7 м.ч., 1H, триплет

B:

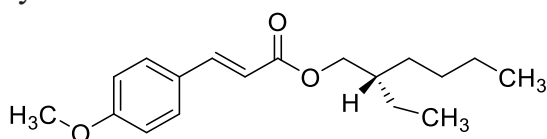
ІЧ: 1628 см⁻¹; 1687 см⁻¹



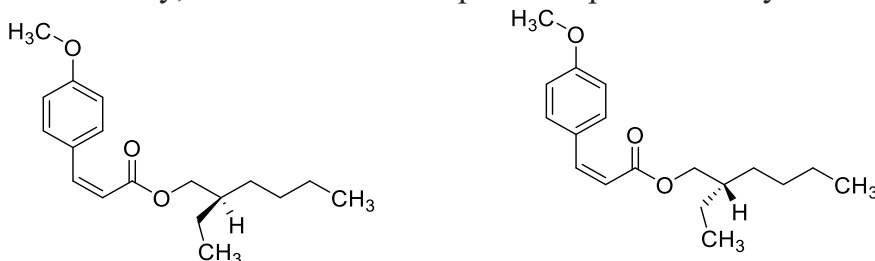
Намалюйте структури сполук **A**, **B**, **C** та **D**. Стереоізомери вказувати не потрібно. Як допомогу у підтвердженні структур **A** і **B**, використовуйте наведені сигнали спектрів ЯМР та ІЧ.

Розв'язок

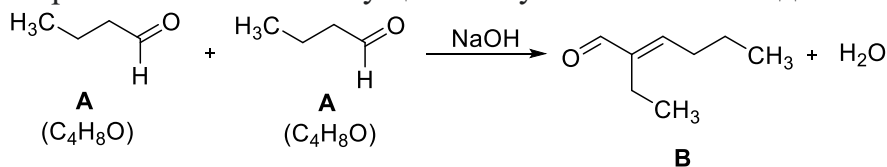
1) Енантіомер октиноксату:



2) Z-ізомери октиноксату, які не є енантіомерами зображеного в умові задачі:



3) Відповідно до наведеного прикладу і аналізу структури октиноксату, схема запропонованого синтезу цієї сполуки матиме вигляд:



A:

ІЧ: 1730 см⁻¹

¹H ЯМР: 0,9 м.ч., 3H, триплет

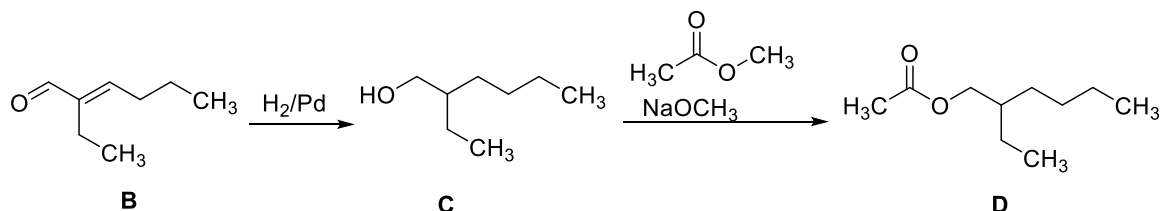
1,6 м.ч., 2H, мультиплет

2,5 м.ч., 2H, мультиплет

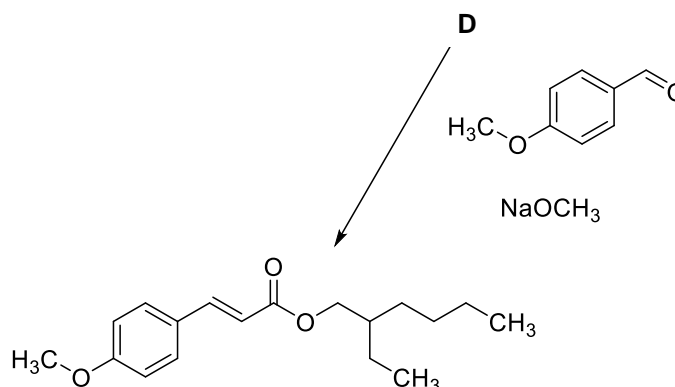
9,7 м.ч., 1H, триплет

B:

ІЧ: 1628 см⁻¹; 1687 см⁻¹



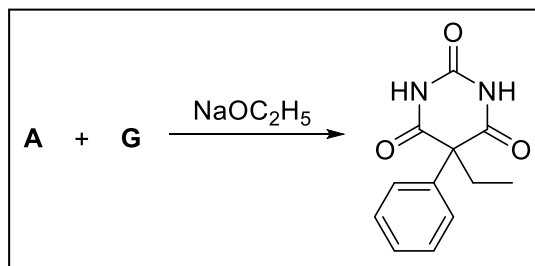
11 клас



5) Віднесення даних спектроскопії:

ГЧ: 1730 cm^{-1} – C=O	ГЧ: 1628 cm^{-1} – C=C 1687 cm^{-1} – C=O в спряженому кетоні
^1H ЯМР: 0,9 м.ч, 3H, триплет – CH_3 1,6 м.ч, 2H, мультиплет – CH_2 2,5 м.ч, 2H, мультиплет – $\text{CH}_2\text{C}(\text{O})$ 9,7 м.ч, 1H, триплет – CHO	

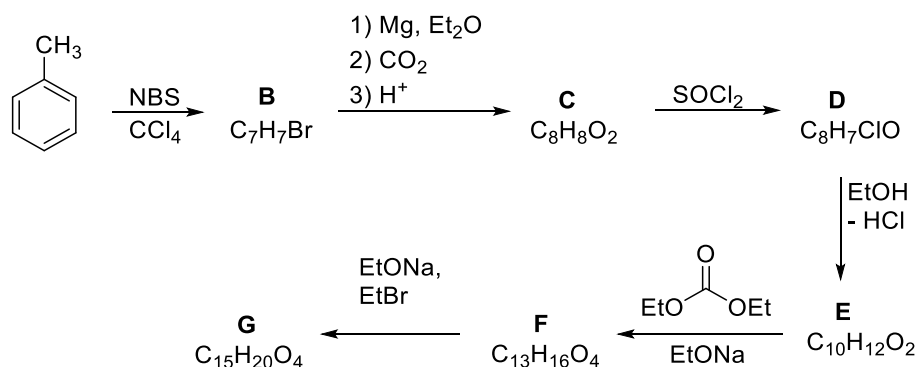
Задача 6 (15 балів)



Барбітурати – це похідні барбітурової кислоти, які діють як депресанти центральної нервової системи. Барбітурати використовуються для лікування судомних розладів. Одним із прикладів барбітуратів, який використовується як протисудомний засіб протягом багатьох років, є фенобарбітал. Фенобарбітал можна синтезувати з двох сполук, **A** і **G**, згідно з наведеною схемою. Щодо **A** додатково відомо:

- 1) При спалюванні навички сполуки **A** масою 0,250 г утворюється 0,178 г CO_2 і 0,146 г H_2O .
- 2) Ще одна навичка сполуки **A** масою 0,250 г при кип'ятінні з надлишком луку вивільняє весь азот, що в ній міститься у вигляді аміаку, NH_3 . Аміаку, що утворюється в цій реакції, достатньо для нейтралізації 40,8 cm^3 розчину соляної кислоти концентрацією 0,200 моль/дм^3 .
- 3) Мас-спектрометрія показує, що сполука **A** має відносну молекулярну масу 60.
- 4) Сполука **A** може бути виявлена як метаболіт у сечі людини.

В свою чергу, сполуку **G** можна синтезувати наступним чином:



11 клас

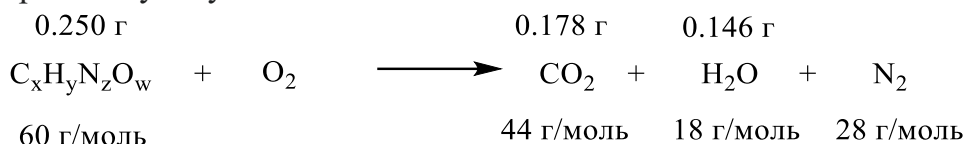
[Примітка: тут NBS - це N-бромосукцинімід - джерело радикалів бром; Et = етил (C₂H₅)].

- Використовуючи інформацію, наведену вище, на основі кількісних розрахунків визначте молекулярну формулу сполуки **A**. Чітко покажіть важливі етапи вашої роботи.
- Намалюйте структурні формули сполук **A**, **D**, **C**, **D**, **E**, **F**, та **G**.

Розв'язок

1) Використовуючи інформацію щодо **A**, можна розрахувати брутто-формулу цієї сполуки. Зокрема відомо, що сполука **A** містить Нітроген. Також можна припустити, що **A** містить Оксиген. Також відома молярна маса сполуки **A**.

Тож можна записати рівняння згорання сполуки **A** і розрахувати-формулу за даними з першого пункту.



$$m_{\text{N}_2} = \frac{m_{\text{C}_x\text{H}_y\text{N}_z\text{O}_w} \times M_{\text{N}_2}}{M_{\text{C}_x\text{H}_y\text{N}_z\text{O}_w}} = \frac{0.250 \times 28}{60} = 0.117 \text{ г}$$

$$\vartheta_{\text{CO}_2} = \vartheta_{\text{C}} = \frac{m}{M_{\text{CO}_2}} = 0. \frac{178}{44} = 0.004 \text{ моль} \quad \vartheta_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{1}{2} \vartheta_{\text{H}} = \frac{m}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = 0. \frac{146}{18} = 0.008 \text{ моль}$$

$$\vartheta_{\text{N}_2} = \frac{1}{2} \vartheta_{\text{N}} = \frac{m}{M_{\text{N}_2}} = 0. \frac{117}{28} = 0.004 \text{ моль}$$

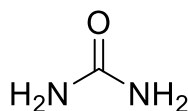
$$\vartheta_{\text{CO}_2} : \vartheta_{\text{H}_2\text{O}} : \vartheta_{\text{N}_2} = \vartheta_{\text{C}} : \frac{1}{2} \vartheta_{\text{H}} : \frac{1}{2} \vartheta_{\text{N}} = 0.004 : 0.008 : 0.004 = 1 : 2 : 1$$

$$\vartheta_{\text{C}} : \vartheta_{\text{H}} : \vartheta_{\text{N}} = 1 : 4 : 2$$

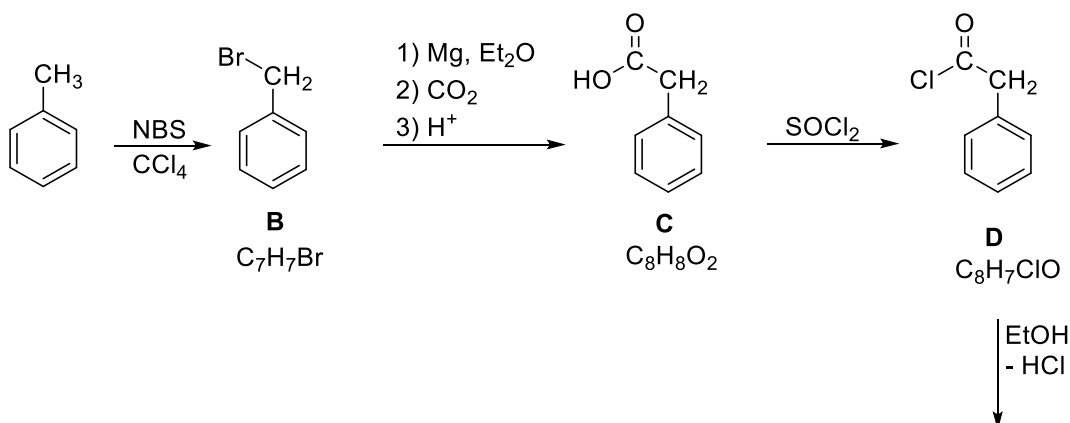
Брутто-формула сполуки **A** – CH₄N₂O_w. Перевіряємо чи формула містить Оксиген:

$$M_{\text{C}_x\text{H}_y\text{N}_z\text{O}_w} - Ar_{\text{C}} - 4Ar_{\text{H}} - 2Ar_{\text{N}} = 60 - 12 - 4 - 28 = 16 \text{ г}$$

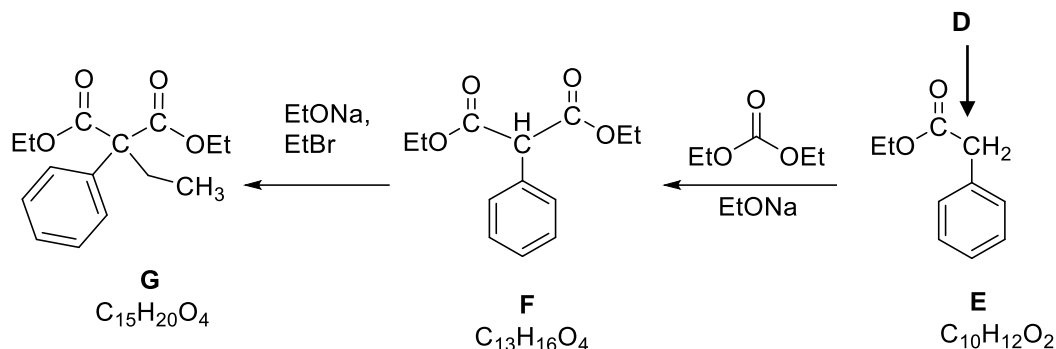
Сполука **A** містить один атом Оксигену, тобто кінцева брутто-формула сполуки – CH₄N₂O. Згідно з наданою інформацією в умові задачі та результатами розрахунків, сполукою **A** є сечовина:



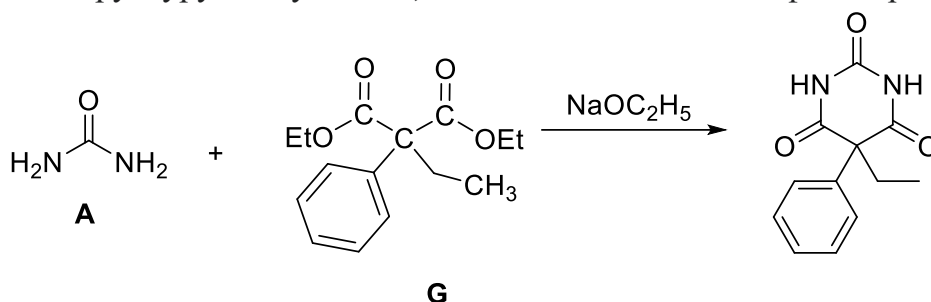
2)



11 клас



3) Визначивши структуру сполук **A** і **G**, можна записати синтез фенобарбіталу:



Задача 7 (10 балів)

Реакція окиснення іона HSO_3^- молекулярним киснем у водних розчинах має важливе значення для процесів утворення кислотних дощів та десульфурації димових газів різноманітних промислових підприємств. З'ясовано, що дана реакція перебігає відповідно до такого кінетичного рівняння:

$$\omega = k \cdot C^2(\text{HSO}_3^-) \cdot C^{-2}(\text{H}^+) \cdot C(\text{O}_2)^0.$$

- Запишіть та урівняйте рівняння відповідної хімічної реакції.
- Який загальний порядок цієї реакції та часткові порядки за реагентами? Що означає нуль біля концентрації кисню в кінетичному рівнянні.
- Розрахуйте початкову швидкість реакції, якщо при $\text{pH} = 5,6$ концентрація кисню в розчині становить $2,4 \cdot 10^{-4} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$ (обидва ці параметри залишаються сталими в ході реакції), початкова концентрація гідросульфит-іонів становить $5 \cdot 10^{-5} \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1}$, а константа швидкості $3,6 \cdot 10^{-6} \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1}$.
- Якою буде початкова швидкість реакції за кожним з реагентів (продуктів)?
- Розрахуйте за який час концентрація HSO_3^- зменшиться вдвоє.
- Експериментальні дані свідчать, що дана реакція має ланцюговий характер. При цьому збільшення йонної сили розчину призводить до суттєвого прискорення реакції. Запропонуйте найімовірніше інтермедіати (проміжні сполуки) даної ланцюгової реакції та причини впливу йонної сили розчину.

Розв'язок

- 1) Реакція має вигляд: $2\text{HSO}_3^- + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$.
- 2) Згідно з **кінетичним** рівнянням швидкості реакції, її загальний порядок n (сума степенів біля концентрацій речовин у кінетичному рівнянні) дорівнює нулеві (реакція нульового порядку), що підтверджує розмірність константи швидкості реакції. Відповідно, часткові порядки за реагентами становлять $n(\text{HSO}_3^-) = 2$ та $n(\text{O}_2) = 0$. Нульовий порядок реакції за киснем свідчить про те, що її швидкість за даних умов не залежить від концентрації кисню в розчині.

11 клас

3) Прийmemo, що за умов проходження реакції $C(H^+) = a(H^+)$. Тоді:

$$\omega_0 = k \cdot C_0^2(\text{HSO}_3^-) \cdot C_0^{-2}(\text{H}^+) \cdot C_0(\text{O}_2)^0 = 3,6 \cdot 10^{-6} \cdot (5 \cdot 10^{-5})^2 / (10^{-5,6})^2 \cong \\ \cong 1,426 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1}$$

4) Загальна швидкість реакції ω пов'язана зі швидкостями за окремими реагентами/продуктами ω_a співвідношенням:

$$\omega = \omega_a / a; \quad \omega_a = \omega \cdot a$$

Тут a – стехіометричний коефіцієнт біля відповідної речовини.

Тож початкові швидкості за окремими речовинами становлять:

$$\text{витрат іонів } \text{HSO}_3^-: \omega(\text{HSO}_3^-) = 1,426 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 2,852 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1};$$

$$\text{витрат кисню } \text{O}_2: 1,426 \cdot 10^{-3} \cdot 1 = 1,426 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1};$$

$$\text{накопичення іонів } \text{SO}_4^{2-} \text{ та } \text{H}^+: 1,426 \cdot 10^{-3} \cdot 2 = 2,852 \cdot 10^{-3} \text{ моль} \cdot (\text{л} \cdot \text{с})^{-1};$$

5) Згідно з умовою, рН та концентрація кисню в розчині залишаються постійними, тож швидкість реакції зменшуватиметься лінійно лише внаслідок зменшення $C(\text{HSO}_3^-)$. Тож

$$-\omega = -\Delta C / \tau;$$

$$\tau = \Delta C / \omega(\text{HSO}_3^-) = (5 \cdot 10^{-5} - 2,5 \cdot 10^{-5}) / 2,852 \cdot 10^{-3} \cong 8,765 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

6) Пришвидшення реакції зі збільшенням іонної сили розчину вказує на те, що у реакції утворення кінцевого продукту (іонів SO_4^{2-}) приймають участь однойменно заряджені йони (оскільки одним з реагентів є гідросульфит-аніон, то інші інтермедіати теж мають бути аніонами). Водночас ланцюговий характер реакції свідчить про утворення як інтермедіатів вільно радикальних частинок. Тобто загалом інтермедіатами мають бути так звані аніон-радикали $\text{SO}_3^{\bullet-}$, $\text{SO}_5^{\bullet-}$ та $\text{SO}_4^{\bullet-}$:

