

8 клас

Задача 1 (9 балів)

1 л (за н.у.) кисню опромінили ультрафіолетовим світлом. В результаті цього утворилась газова суміш, об'єм якої (за н.у.) дорівнює 0,99 л.

- Який газ та в якій кількості утворився?
- Обчисліть склад газової суміші (в об. % з точністю до сотих).

Розв'язок

- 1) При опроміненні відбувається реакція: $3\text{O}_2 + h\nu \rightarrow 2\text{O}_3$.
- 2) Реакція утворення озону, як видно з рівняння реакції, відбувається зі зменшенням об'єму: з трьох об'ємів кисню утворюється два об'єми озону. Тобто об'єм прореагованого кисню є в три рази, а утвореного озону – в два більшим за зменшення об'єму системи: $\Delta V = 1 - 0,99 = 0,01$ (л). (3 бали)
- 3) Отже прореагувало 0,03 л кисню і утворилось 0,02 л озону ($1 - 0,03 + 0,02 = 0,99$ л).
В утвореній суміші буде $1 - 0,03 = 0,97$ (л) кисню та 0,02 (л) озону.
- 4) Склад газової суміші:

$$\frac{0,97}{0,99} 100 = 97,98 \text{ об. \% кисню}; \quad \frac{0,02}{0,99} 100 = 2,02 \text{ об. \% озону}.$$

Задача 2 (9 балів)

За температур нижчих за 77,4 К (–195,75 °С) газоподібний азот переходить в рідину з густиною 0,808 г·см^{–3}.

- Який об'єм рідкого азоту можна отримати з 24,44 л газоподібного азоту, який перебуває під тиском 1 атм та за температури 25°С?

Розв'язок

- 1) В одиницях системи СІ: об'єм азоту дорівнює 0,02444 м³; температура становить 25 + 273 = 298 К; тиск 101325 Па.
- 2) Використовуючи рівняння Клапейрона, розраховуємо кількість моль азоту:
$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{101325 \cdot 0,0244}{8,31 \cdot 298} = 1,00 \text{ моль}.$$
- 3) Маса 1 моля азоту 28 г.
- 4) Тоді об'єм рідкого азоту, який можна отримати, $\frac{28}{0,808} = 34,65$ см³.

Задача 3 (15 балів)

Яку масу металічного натрію слід додати до 1 кг 2 % розчину NaOH, щоб отримати 5 % розчин?

Розв'язок

- 1) 1 кг (1000 г) 2 % розчину NaOH містить:
 $\frac{2}{100} \cdot 1000 = 20$ г NaOH та $\frac{(100-2)}{100} \cdot 1000 = 980$ г води.
- 2) При додаванні *a* (г) металічного натрію відбуватиметься реакція:

<i>a</i> , г	<i>b</i> , г	<i>c</i> , г	<i>d</i> , г
2 Na	+ 2 H ₂ O	→ 2 NaOH	+ H ₂ ↑
2·23, г	2·18, г	2·40, г	2 г
- 3) Маса розчину зменшиться на масу виділеного водню і становитиме:

8 клас

$$1000 - d = 1000 - \frac{2a}{2 \cdot 23} = 1000 - \frac{a}{23} \text{ (г)}$$

4) При цьому утвориться $c = \frac{2 \cdot 40 \cdot a}{2 \cdot 23} = \frac{40 \cdot a}{23}$ (г) NaOH, а загальна маса NaOH в розчині стане $\left(\frac{40 \cdot a}{23} + 20\right)$ (г).

5) Масова частка гідроксиду натрію в новому розчині:

$$w = \frac{m(\text{NaOH})}{m(\text{розчину})} \cdot 100 \% = \frac{\frac{40 \cdot a}{23} + 20}{1000 - \frac{a}{23}} \cdot 100 \% = 5 \%$$

6) Розв'язуємо отримане рівняння

$$\frac{\frac{40 \cdot a}{23} + 20}{1000 - \frac{a}{23}} \cdot 100 = 5 \quad \left(\frac{40 \cdot a}{23} + 20\right) \cdot 100 = 5 \left(1000 - \frac{a}{23}\right)$$

$$\frac{4000a}{23} + 2000 = 5000 - \frac{5a}{23} \quad \frac{4005a}{23} = 3000 \quad a = \frac{23}{4005} \cdot 3000 = 17,23$$

знаходимо $a = 17,23$ (г) – маса металічного натрію, яку слід додати.

Задача 4 (15 балів)

При розчиненні 107 г кристалогідрату сульфату міді $\text{CuSO}_4 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ в 893 г води отримано розчин з масовою часткою сульфату міді 8 %.

- Встановіть скільки молекул води входить до складу однієї структурної одиниці кристалогідрату (значення x).
- Які ще кристалогідрати сульфату міді вам відомі та як їх можна отримати?

Розв'язок

1) Маса отриманого розчину дорівнює $107 + 893 = 1000$ (г).

2) Масова частка розчину сульфату міді визначається рівнянням:

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

3) Звідси знаходимо масу сульфату міді CuSO_4 в цьому розчині і, відповідно, в кристалогідраті:

$$\frac{1000}{100} \cdot 8 = 80 \text{ (г)}.$$

4) Отже, маса води в кристалогідраті $107 - 80 = 27$ (г).

5) Молярна маса CuSO_4 дорівнює 160 г/моль, а води 18 г/моль.

В 107 г кристалогідрату сульфату міді міститиметься:

$$\frac{m(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4)} = \frac{80}{160} = 0,5 \text{ моль } \text{CuSO}_4 \quad \text{та} \quad \frac{m(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{27}{18} = 1,5 \text{ моль } \text{H}_2\text{O}.$$

6) Молярне відношення між CuSO_4 та H_2O дорівнює $0,5 : 1,5 = 1 : 3$. Таким чином, формула кристалогідрату $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (до складу однієї структурної одиниці кристалогідрату входить 3 молекули води).

7) Відомі ще одно- і п'ятиводні кристалогідрати сульфату міді – $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ та $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

8) Моногідрат $\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ можна отримати зневодненням кристалогідратів з більшим вмістом води при обережному нагріванні, при витримуванні в екзикаторі над поглиначами води або у вакуумі при звичайній температурі.

Пентагідрат $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ можна отримати перекристалізацією безводного CuSO_4 або одно- чи триводного кристалогідратів з водного розчину.

8 клас

Задача 5 (8 балів)

Експериментально встановлено, що деяка речовина з молярною масою $395 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$ містить $4 \pm 0,5 \text{ мас. \%}$ нітрогену.

- Розрахуйте вміст нітрогену в цій речовині з точністю $0,01 \text{ мас. \%}$.

Розв'язок

1) Прийmemo до розгляду 1 моль речовини. Тоді її маса дорівнюватиме 395 г.

Маса нітрогену в ній приблизно становитиме $\frac{4 \%}{100 \%} \cdot 395 = 15,8 \text{ (г)}$.

2) До складу речовини може входити лише цілочисельна кількість атомів нітрогену. Тобто в 1 молі речовини може бути 14 (якщо молекула містить один атом нітрогену), 28 (якщо молекула містить два атоми нітрогену) або 42 г нітрогену (якщо молекула містить три атоми нітрогену) і т.д.

3) Розрахована маса нітрогену (15,8 г) найближча до 14 г. Отже, молекула містить один атом нітрогену.

4) Тоді вміст нітрогену в молекулі становить: $\frac{14}{395} \cdot 100 = 3,54 \% \text{ (за масою)}$.

Задача 6 (15 балів)

Для відновлення $3,2 \text{ г}$ оксиду металу необхідно $1,344 \text{ л}$ водню. При розчиненні отриманого металу в надлишку соляної кислоти виділяється $0,896 \text{ л}$ водню.

- Визначте який це метал, якщо об'єми газів виміряно за нормальних умов.
- Напишіть рівняння згаданих в умові реакцій.

Розв'язок

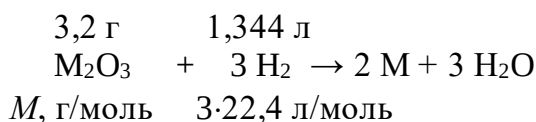
1) Загальні рівняння реакцій:



2) Згідно з умовою, $y \neq n/2$, тобто ступені окиснення металу в оксиді та хлориді неоднакові.

Співвідношення об'ємів водню дорівнює $\frac{1,344}{0,896} = \frac{3}{2}$. Звідси випливає, що метал в оксиді має валентність 3, а при взаємодії з кислотою утворює хлорид, в якому його валентність дорівнює 2. Співвідношення валентностей $6 : 4$ є малоюмовірним.

3) Тоді можна записати рівняння відновлення оксиду металу воднем і скласти пропорцію:



Тоді молярна маса оксиду $\text{M}(\text{M}_2\text{O}_3) = \frac{3,2 \cdot 3 \cdot 22,4}{1,344} = 160 \text{ г/моль}$

4) $\text{M}(\text{M}_2\text{O}_3) = 2 \text{Ar}(\text{M}) + 3 \text{Ar}(\text{O})$.

Звідси атомна маса металу $\text{Ar}(\text{M}) = \frac{m - 3 \text{Ar}(\text{O})}{2} = \frac{160 - 3 \cdot 16}{2} = 56 \text{ г/моль}$.

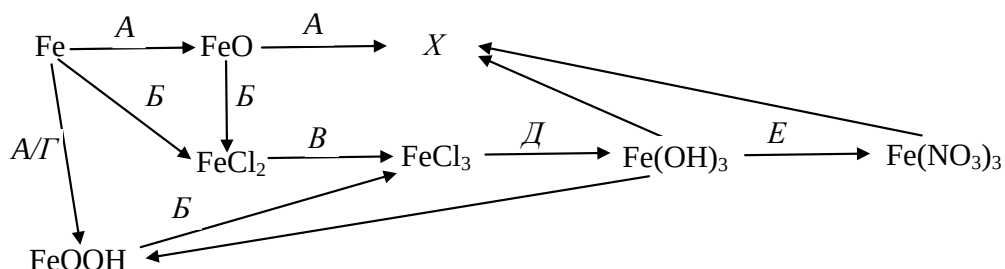
Отже метал – залізо.

5) Рівняння відповідних реакцій:



Задача 7 (9 балів)

Напишіть та урівняйте рівняння хімічних реакції, які відповідають таким перетворенням:



Вкажіть назви речовин, які зашифровані літерами у даній схемі перетворень.

Розв'язок

Зашифровані речовини:

$A - O_2$; $B - HCl$; $B - Cl_2$; $G - H_2O$; $D - NaOH$ (або інший луг);
 $E - HNO_3$; $X - Fe_2O_3$;

Рівняння реакцій перетворень, представлених на схемі:

- 1) $Fe + O_2 = 2 FeO$;
- 2) $4 FeO + O_2 = 2 Fe_2O_3$;
- 3) $Fe + 2 HCl = FeCl_2 + H_2$;
- 4) $FeO + 2 HCl = FeCl_2 + H_2O$;
- 5) $2 FeCl_2 + Cl_2 = 2 FeCl_3$;
- 6) $4 Fe + 3 O_2 + 2 H_2O = 4 FeOOH$;
- 7) $FeOOH + 3 HCl = FeCl_3 + 2 H_2O$;
- 8) $FeCl_3 + 3 NaOH = Fe(OH)_3 + 3 NaCl$;
- 9) $Fe(OH)_3 + 3 HNO_3 = Fe(NO_3)_3 + 3 H_2O$;
- 10) $Fe(OH)_3 \xrightarrow{T} FeOOH + H_2O$;
- 11) $2 Fe(OH)_3 \xrightarrow{T} Fe_2O_3 + 3 H_2O$;
- 12) $4 Fe(NO_3)_3 \xrightarrow{T} 2 Fe_2O_3 + 12 NO_2 + 3 O_2$.

9 клас

Задача 1 (12 балів)

Під час спалювання 2,46 г невідомої речовини одержали 1,59 г натрій карбонату, 1008 см³ (за н.у.) карбон(IV) оксиду та 0,81 г води.

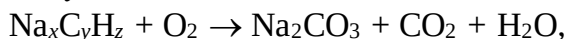
- 1) Запишіть схему горіння невідомої речовини.
- 2) Визначте брутто-формулу невідомої речовини.
- 3) Спробуйте ідентифікувати речовину, що згоріла. Назвіть її та зобразіть графічну формулу.
- 4) Запишіть рівняння реакції горіння ідентифікованої речовини.
- 5) Обчисліть, скільки літрів кисню (н.у.) витратилося для її спалювання речовини.

Розв'язок

- 1) Схема горіння невідомої речовини:



На першому етапі може бути схема



бо ще невідомо, що у складі сполуки, яка горить, є кисень.

- 2) Далі, опираючись на маси та об'єм продуктів горіння, обчислюємо кількості речовини:

$$n(\text{Na}) = 2(1,59/106) = 0,03 \text{ моль, (0,69 г)}.$$

Відповідно у Na₂CO₃ кількість речовини карбону становить 0,015 моль.

Тоді загальна кількість карбону

$$n(\text{C}) = (1,008/22,4) + 0,015 = 0,045 + 0,015 = 0,06 \text{ моль, (0,72 г)}.$$

$$n(\text{H}) = 2(0,81/18) = 0,09 \text{ моль, (0,09 г)}.$$

За сумою мас Na, C і H $m = 0,69 + 0,72 + 0,09 = 1,50$ г робимо висновок, що у складі сполуки, яка горіла, ще є кисень:

$$m(\text{O}) = 2,46 - 1,50 = 0,96 \text{ г (0,06 моль)}.$$

- 3) $n(\text{Na}) : n(\text{C}) : n(\text{H}) : n(\text{O}) = 0,03 : 0,06 : 0,09 : 0,06$

Отже: $x = 1; y = 2; z = 3; k = 2$.

Формула речовини: NaC₂H₃O₂.

- 4) Очевидно, що це натрій ацетат:



- 5) $2\text{CH}_3\text{COONa} + 4\text{O}_2 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + 3\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}.$

Згідно рівняння реакції на горіння витратилося 0,06 моль O₂, тобто 1,344 л.

Задача 2 (13 балів)

До 200 см³ 0,391% водного розчину галогеніду лужного металу ($\rho = 1,0$ г/см³) додали 100 см³ 0,1 М розчину AgNO₃. При цьому випало 1,235 г осаду, а концентрація іонів Ag⁺ в одержаному розчині склала 0,0114 моль/л.

Визначте формулу галогеніду та розрахуйте його молярну концентрацію у вихідному розчині.

Розв'язок

- 1) Кількість доданого AgNO₃:

$$n(\text{AgNO}_3) = 0,1 \cdot 0,1 = 0,01 \text{ моль}$$

- 2) Оскільки кінцевий розчин містив іони Ag⁺, то робимо висновок, що додано надлишок осаджувача (розчину AgNO₃)б, а галогенід-іони повністю перейшли в осад.

Враховуючи об'єм кінцевого розчину ($100 + 200 = 300$ мл) розраховуємо надлишкову кількість іонів Ag^+ :

$$n(\text{Ag}^+)_{\text{надл}} = 0,0114 \cdot 0,3 = 0,00342 \text{ моль.}$$

3) Різниця між початковою та кінцевою кількістю осаджувача дорівнює кількості молів прореагованого AgNO_3 і, відповідно, кількості початкового галогеніду:

$$n(\text{MX}) = 0,01 - 0,00342 = 0,00658 \text{ моль, де } M - \text{лужний метал, а } X - \text{галоген.}$$

4) За масою осаду аргентум галогеніду та його кількістю молів можна розрахувати його молярну масу:

$$M(\text{AgX}) = 1,235 / 0,00658 = 187,7 \text{ г/моль.}$$

5) Знаючи молярну масу аргентум галогеніду можна знайти, атомну масу галогену X:

$$A(X) = M(\text{AgX}) - A(\text{Ag}) = 187,7 - 107,8 \approx 80 \text{ г/моль,}$$

тобто невідомий галоген – Br.

6) Оскільки в умові задачі вказано, що галогенід лужного металу, то його формула MBr. Знаходимо масу MBr у вихідному розчині:

$$m(\text{MBr}) = m_{\text{р-ну}} \cdot V_{\text{р-ну}} / 100\% = 0,391 \cdot 200 / 100 = 0,782 \text{ г}$$

7) Тепер можна знайти молярну масу MBr і атомну масу лужного металу:

$$M(\text{MBr}) = 0,782 / 0,00658 = 118,8 \text{ г/моль;}$$

$$A(M) = 118,8 - 80 = 38,8 \approx 39 \text{ г/моль. Отже лужний метал – калій}$$

8) Реакція осадження: $\text{KBr} + \text{AgNO}_3 = \text{AgBr} \downarrow + \text{KNO}_3$.

9) Молярна концентрація KBr у вихідному розчині:

$$C(\text{KBr}) = 0,00658 / 0,2 = 0,0329 \text{ моль/л.}$$

Задача 3 (20 балів)

У трьох пробірках містяться безбарвні розчини солей **A**, **B** та **B**. При додаванні до кожної з них розчину речовини **Г** простежується утворення безбарвних газів **Д**, **Е** та **Є**, які внаслідок розчинення у воді утворюють розчини, що змінюють колір універсального індикатора на червоний або рожевий.

Унаслідок додавання до кожного з початкових розчинів солей **A**, **B** та **B** безбарвного розчину речовини **Ж** в усіх пробірках випадають осад **З**, **І** та **Й** білого кольору. Осади розчиняються при додаванні розчину речовини **Г** з виділенням газів **Д**, **Е** та **Є**, відповідно.

При змішуванні водних розчинів, утворених газами **Е** та **Є**, випадає жовто-зелений осад простої речовини **К**.

Відомо, що при внесенні у полум'я пальника розчини солей **A**, **B** та **B** забарвлюють його у жовтий колір, а розчин речовини **Ж** – у цеглисто-червоний.

Також відомо, що до складу речовин **Г** та **Ж** входять однакові аніони, а сама речовина **Г** у чистому вигляді є газом з різким неприємним запахом, що важчий за повітря і дуже добре розчиняється у воді. Незначні кількості її розчину містяться у шлунковому соці людей і тварин, сприяючи травленню.

Завдання:

- 1) Визначте та назвіть усі зашифровані речовини.
- 2) Запишіть усі згадані в умові рівняння реакцій. Поясніть, які процеси відбуваються внаслідок поглинання газів **Д**, **Е** та **Є** водою.
- 3) Які з описаних реакцій є окисно-відновними? Позначте окисник та відновник.
- 4) Яке практичне застосування газів **Д**, **Е** та **Є**? Вкажіть їхні тривіальні назви та наведіть приклади застосування.
- 5) Де практично використовують забарвлення полум'я солями металів? Наведіть приклади.

Розв'язок

1) Оскільки солі речовин **А, Б, В** забарвлюють полум'я у жовтий колір, то це, очевидно, солі натрію, а речовина **Ж** – це сіль кальцію, яка забарвлює полум'я у цеглисто-червоний колір.

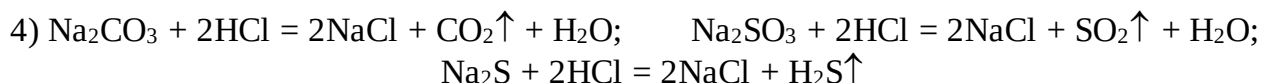
Речовина **Г**, за ознаками, близька до гідроген хлориду (HCl). У чистому вигляді це газ, який добре розчинний у воді, з неприємним запахом, важчий за повітря.

Звідси можна зробити висновок, що речовина **Ж** – кальцій хлорид (CaCl₂).

2) При взаємодії розчинів натрієвих солей речовин **А, Б, В** розчином хлоридної кислоти (HCl) виділяються газоваті речовини, які при розчиненні у воді змінюють забарвлення універсального індикаторного паперу, показуючи кисле середовище. Це є ознака розчинення кислотних оксидів (ангідридів) – CO₂, SO₂, NO₂, або ж газоватих речовин H₂S, з утворенням слабких кислот.

3) Оскільки розчини натрієвих солей речовин **А, Б, В** утворюють важкорозчинні сполуки (осади) із розчином речовини **Ж** – кальцій хлорид (CaCl₂), то можна прийти до висновку, що речовини **А, Б, В** – це натрієві солі карбонатної, сульфатної та сульфідної кислот (Na₂CO₃, Na₂SO₃, Na₂S).

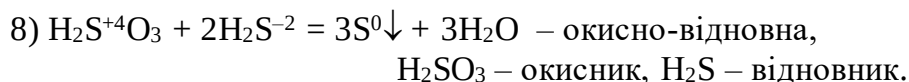
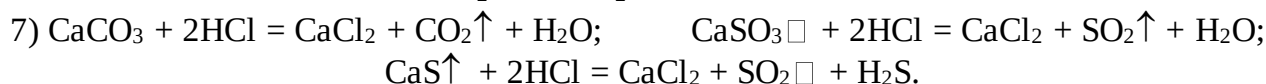
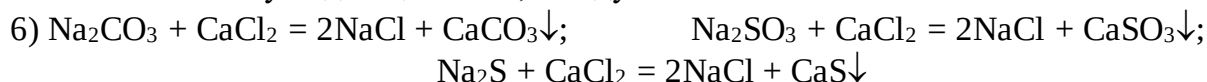
А – Na ₂ CO ₃	Б – Na ₂ SO ₃	В – Na ₂ S	Г – HCl	Д – CO ₂	Е – SO ₂
Є – H ₂ S	Ж – CaCl ₂	З – CaCO ₃	І – CaSO ₃	Й – CaS	К – S



5) CO₂ + H₂O ↔ H₂CO₃ (нестійка карбонатна кислота, існує у розведених водних розчинах під тиском, дуже слабка кислота);

SO₂ + H₂O ↔ H₂SO₃ (нестійка сульфатна кислота, існує у розведених водних розчинах, кислота середньої сили);

Розчин H₂S у воді – це стійка, але дуже слабка кислота.



9) Практичне застосування наведених газів:

CO₂ – вуглекислий газ, застосовують у харчовій промисловості для отримання газованої води, у вогнегасниках, як холодоагент (“сухий лід”), сировина для виробництва соди та карбаміду; у природі бере участь у процесі фотосинтезу.

SO₂ – сірчистий газ, застосовують для відбілювання вовни, шовку та соломи, консервування фруктів, як дезінфекційний засіб, антиоксидант, холодоагент. Крім того, SO₂ є проміжним продуктом у виробництві сульфатної кислоти та сульфідів.

H₂S – сірководень, використовують для одержання сірки, неорганічних та органічних сульфурвмісних сполук.

10) Низка йонів металів при внесенні у полум'я забарвлюють його у різні кольори:

Li – малиново-червоний	Ca – цеглисто-червоний	K – пурпурно-фіолетовий
Na – жовтий	Ba, Cu – зелений	Sr – карміново-червоний

Це використовують для отримання піротехнічних сумішей (кольорові вогні), в якісному хімічному аналізі (пірохімічні реакції).

9 клас

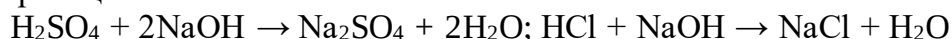
Задача 4 (11 балів)

У 100,0 см³ розчину міститься суміш хлоридної та сульфатної кислот. Після її повної нейтралізації розчином NaOH з наступним випаровуванням до сухих речовин утворилось 13,2 г безводних солей.

Знайдіть молярну концентрацію кислот у вихідному розчині, якщо для повної нейтралізації 10,0 см³ вихідного розчину затрачено 40,0 см³ 0,5000 М розчину KOH.

Розв'язок

1) Рівняння реакцій:



2) На нейтралізацію 10,0 мл суміші кислот витрачено 0,04 л × 0,5 моль/л = 0,02 моль KOH.

3) Оскільки кількість молів KOH та NaOH, які йдуть на нейтралізацію кислот однакова, то на нейтралізацію 100,0 мл вихідного розчину було затрачено

$$0,02 \text{ моль} \times 100,0 \text{ мл} / 10,0 \text{ мл} = 0,2 \text{ моль NaOH}.$$

4) Нехай утворилось x г NaCl, тоді Na₂SO₄ утворилось (13,2 – x) г.

Кількість молів NaOH, які затрачено на утворення NaCl рівне x/58,5,

$$\text{а на утворення Na}_2\text{SO}_4 - \frac{2 \times (13,2 - x)}{142} = \frac{13,2 - x}{1 \times 2 \times 142}.$$

(З 2 молів NaOH утворюється 1 моль Na₂SO₄; M(NaCl) = 58,5 г/моль; M(Na₂SO₄) = 142 г/моль).

$$\text{Таким чином, маємо: } \frac{x}{58,5} + \frac{13,2 - x}{71} = 0,2$$

Розв'язок рівняння дає:

$$m(\text{NaCl}) = 4,68 \text{ г NaCl}; \quad m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 13,2 - 4,68 = 8,52 \text{ г}.$$

5) Розрахуємо кількість молів NaCl і Na₂SO₄:

$$\eta(\text{NaCl}) = \frac{4,68}{58,5} = 0,08 \text{ моль}; \quad \eta(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{8,52}{142} = 0,06 \text{ моль}.$$

6) Кількість молів NaCl така ж як HCl, а кількість молів Na₂SO₄ така ж як H₂SO₄ у вихідному розчині. Отже молярні концентрації становлять:

$$C(\text{HCl}) = 0,08 \text{ моль} / 0,1 \text{ л} = 0,8 \text{ моль/л}; \quad C(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0,06 \text{ моль} / 0,1 \text{ л} = 0,6 \text{ моль/л}.$$

Задача 5 (8 балів)

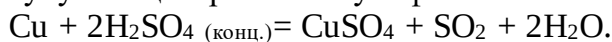
Подрібнений сплав міді та золота масою 20,0 г розчинили у концентрованій сульфатній кислоті. Надлишок кислоти випарували на піщаній бані, а сухий залишок розчинили у дистильованій воді. В утворений розчин занурили залізну пластинку масою 15,0 г, результатом чого стало збільшення маси пластинки на 10%.

1) Напишіть й урівняйте рівняння реакцій, які описані вище.

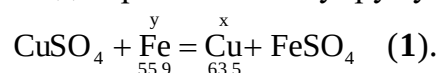
2) Визначте масові частки міді та золота у сплаві.

Розв'язок

1) При розчинення сплаву у концентрованій сульфатній кислоті протікає наступна хімічна реакція:



2) Залізна пластинки «витісняє» мідь з розчин солі купруму сульфату:



9 клас

3) Оскільки маса пластинки збільшилася на 10%, то різниця в масі складає 1,5 г (15,0×0,1). Різниця в масі пластинки до реакції і після реакції виникає за рахунок розчинення залізної пластинки і осадження на ній міді. Отже

$$1,5 = x - y \Rightarrow y = x - 1,5 \text{ (див. рівняння (1))}$$

Приймаючи, що $A_{\text{Fe}} = 55,9$ г/моль; $A_{\text{Cu}} = 63,5$ г/моль, з рівняння реакції випливає:

$$63,5 y = 55,9 x \Rightarrow 63,5 (x - 1,5) = 55,9 x \Rightarrow x = 12,55 \text{ г}$$

4) Отже, $m(\text{Cu, що виділилася}) = 12,55$ г.

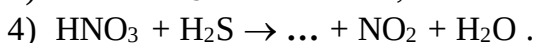
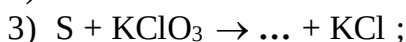
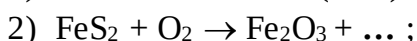
Стільки ж міді було і у вихідному славі з золотом. Звідси:

$$m(\text{Au}) = 20,0 - 12,55 = 7,45 \text{ г/}$$

4) $\omega(\text{Cu}) = 12,55 \times 100 / 20,0 = 62,75 \%$; $\omega(\text{Au}) = 7,45 \times 100 / 20,0 = 37,25 \%$.

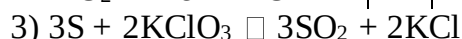
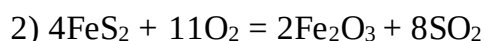
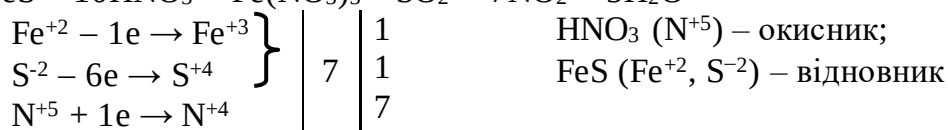
Задача 6 (16 балів)

Допишіть продукти окисно-відновних реакцій (заповніть місця позначені « ... ») та урівняйте їх методом електронного або іонно-електронного балансу:



Зазначте окисник і відновник у кожній реакції.

Розв'язок



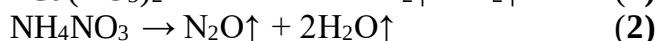
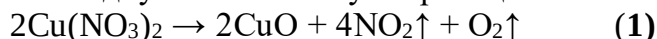
Задача 1 (7 балів)

Суміш купрум(II) нітрату та амоній нітрату вагою 2,5 г прожарили у відкритій посудині. Після охолодження вага твердого залишку становила 0,84 г.

- Напишіть рівняння відповідних реакції та обчисліть склад вихідної суміші (у масових частках)
- Як компоненти вихідної суміші та твердого залишку використовують у промисловості?

Розв'язок

1) Під час прожарювання відбуваються наступні реакції:



Виходячи з наведених рівнянь, при прожарюванні у відкритій посудині твердий залишок містить виключно купрум(II) оксид.

2) Тоді: $n(\text{CuO}) = 0,84 \text{ г} / 79,5 \text{ г/моль} = 0,011 \text{ моль}$.

3) За рівнянням (1) знаходимо: $n(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = n(\text{CuO}) = 0,011 \text{ моль}$,

$$m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 0,011 \text{ моль} \cdot 187,5 \text{ г/моль} = 2,06 \text{ г}.$$

4) Знаходимо склад вихідної суміші: $\omega(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 2,06 \text{ г} / 2,5 \text{ г} = 0,82$;

$$\omega(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 1 - 0,82 = 0,18$$

5) Приклади використання:

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ – проміжний продукт для добування сполук купруму, компонент фунгіцидних сумішей, складник електроліту для гальванічного осадження мідних покриттів.

NH_4NO_3 – компонент вибухівки, добриво.

CuO – проміжний продукти виробництва міді та сполук купруму, складник радіодеталей та акумуляторних батарей

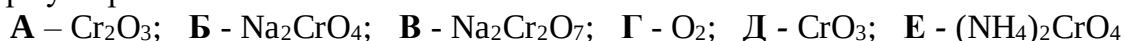
Задача 2 (12 балів)

Через розпечену суміші твердого оксиду металу **А** (зелений) та кальцинованої соди протягом тривалого часу пропускали повітря. Реакційну суміш охолодили. Твердий жовтий залишок речовини **Б** розчинили у розведеній сульфатній кислоті. Утворений розчин упарили до утворення червоних кристалів речовини **В**. При сильному нагріванні отриманих кристалів утворюються тверда суміш речовин **А** та **Б** і виділяється проста газувата речовина **Г**. Порошок сполуки **В** розтерли в ступці з невеликою кількістю води. В результаті подальшого додавання краплями 96% сульфатної кислоти утворились темно-червоні кристали речовини **Д**. Їх нагрівання призводить до утворення **А** та **Г**. Під час розчинення сполуки **Д** у концентрованому розчині амоніаку утворюється жовтий розчин речовини **Е**. Нагрівання останньої приводить до утворення трьох газів (один з яких – водяна пара) та речовини **А**.

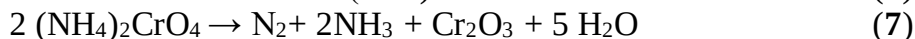
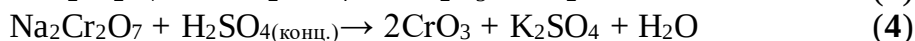
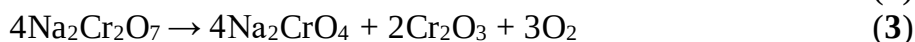
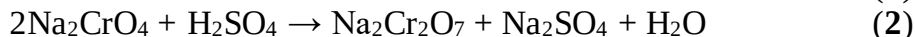
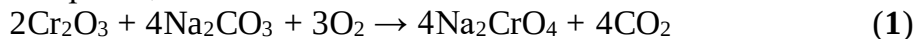
- Які речовини зашифровані під позначеннями **А**, **Б**, **В**, **Г**, **Д**, **Е**? Напишіть їхні формули та рівняння відповідних реакцій.
- Запропонуйте альтернативні до описаного в умові способи переведення речовини **А** у розчинні сполуки того ж елемента. Напишіть рівняння відповідних хімічних реакцій.

Розв'язок

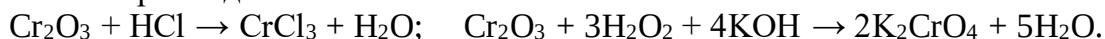
1) Формули речовин:



2) Рівняння реакцій:



3) Для перетворення Cr_2O_3 в розчинні форми можна скористатися концентрованими кислотами. Також можливе перетворення на розчинні сполуки під дією сильних окисників. Наприклад:



Задача 3 (16 балів)

Впродовж електролізу розтопу бінарної білої речовини **А** (округлене масове співвідношення вмісту елементів 9 : 1) на електродах утворюються дві прості речовини, а саме водень та речовина **Б**. Зберігання сполуки **Б** в присутності повітря призводить до утворення безбарвних речовин **Е** та **Д** і червоної сполуки **Г**. Результатом нагрівання **Д** за температури $>800^\circ\text{C}$ є утворення **Е** та газу – оксиду неметалу. Додавання до **А** надлишку води призводить до виділення водню та утворення розчину речовини **В**. Останній у відкритій посудині перетворюється на розчин речовини **Д**. Нагрівання чистої речовини **В** етанолі з гідроген пероксидом з подальшим висушуванням призводить до утворення речовини **Ж**. При зберіганні **Ж** на повітрі утворюється сполука **Д**. Розчинення **Е** в розчині нітратної кислоти призводить до утворення сполуки **З**.

- Розшифруйте речовини **А–З** та напишіть рівняння хімічних перетворень описаних в задачі. Прийміть до уваги, що **Д** є каталізатором горіння цукру.
- Яка хімічна реакція відбувається при нагріванні **З**? Запишіть відповідне рівняння.

Розв'язок

1) Встановлення складу **А**:

Оскільки під час електролізу утворюється лише водень та елемент у вигляді простої речовини то **А** це або гідрид металу або сполука гідрогену з неметалом.

Нехай формула сполуки E_xH_y тоді

$$\frac{\frac{x \cdot A_r(\text{E})}{x \cdot A_r(\text{E}) + y \cdot 1}}{\frac{y \cdot 1}{x \cdot A_r(\text{E}) + y \cdot 1}} \approx \frac{x \cdot A_r(\text{E})}{y \cdot 1} \approx \frac{9}{1} \quad (\text{I}),$$

або

$$\frac{x \cdot A_r(\text{E})}{y \cdot 1} \approx \frac{1}{9} \quad (\text{II})$$

Для варіанту **I** – $x \cdot A_r(\text{E}) \approx 9 \cdot y$, для варіанту **II** – $9 \cdot x \cdot A_r(\text{E}) \approx y$.

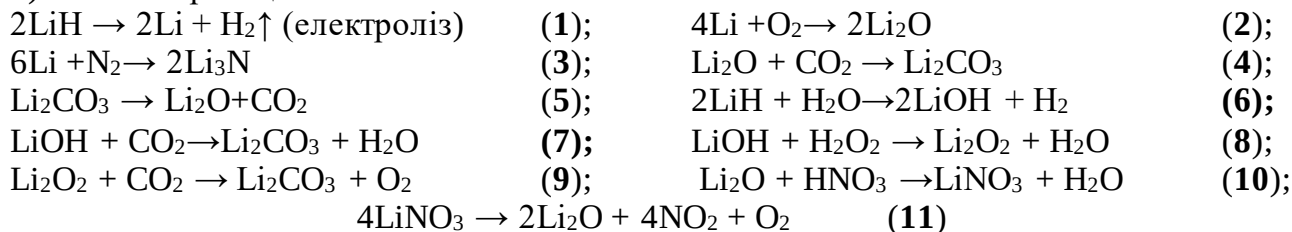
Варіант **II** відкидаємо, бо він за розумних значень x та y (додатні числа) передбачає меншу атомну масу елемента аніж гідрогену або величезні кількості гідрогену в складі сполуки (наприклад на один атом **F** мало б припадати 19 атомів гідрогену).

Отже для сполуки А (E_xH_y) справедливий вираз $x \cdot A_r(E) \approx 9 \cdot y$. Під таке співвідношення підпадають тільки LiH, BeH (не існує).

3) Формули речовин:

А – LiH; Б – Li; В – LiOH; Г – Li₃N; Д – Li₂CO₃; Е – Li₂O; Ж – Li₂O₂; З – LiNO₃

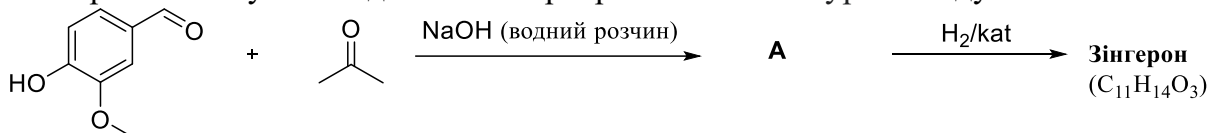
4) Рівняння реакцій:



Задача 4 (10 балів)

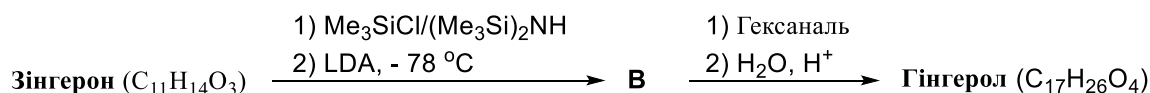
Кореневища імбиру (*Zingiber officinale*) добре відомі своїми лікувальними та смаковими властивостями. Сьогодні вони широко застосовуються в кулінарії, а в традиційній медицині в Індії різні препарати імбиру використовують для лікування захворювань шлунково-кишкового тракту, застуди та інших недуг. Кілька сполук відповідають за гостроту імбиру. Багато з них є простими заміщеними ароматичними сполуками з різними бічними ланцюгами. Три з них, зінгерон C₁₁H₁₄O₃, (+)[6]гінгерол C₁₇H₂₆O₄ і шогаол C₁₇H₂₄O є особливо важливими. Цікаво, що свіжий імбир не містить зінгерону, але він утворюється при варінні або сушінні кореня імбиру, як результат зворотної альдольної реакції гінгеролу.

- Зінгерон дає позитивні позитивну реакцію з FeCl₃ і 2,4-динітрофенілгідразином, але не реагує з реактивом Толленса. На наявність яких функційних груп це вказує?
- Зінгерон синтезують за допомогою розробленого Номура методу:



Заповніть дану схему перетворень.

- Зінгерон можна легко перетворити на гінгерол за допомогою наступної послідовності реакцій:



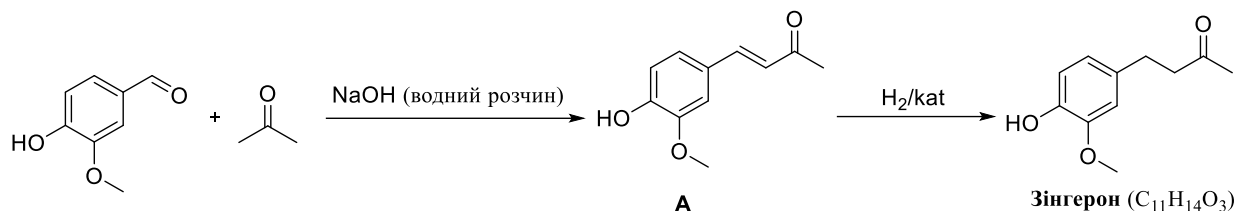
Заповніть схему перетворень, намалюйте структуру В та гінгеролу. **Примітка:** Me₃SiCl/(Me₃Si)₂NH використовується для перетворення -ОН в -OSiMe₃; група -SiMe₃ може бути видалена кислотним гідролізом. LDA – це діізопропіламід літію, сильна, дуже утруднена, нуклеофільна основа.

- Гінгерол (C₁₇H₂₆O₄) при нагріванні з м'якою кислотою (наприклад, KHSO₄) утворює шогаол (C₁₇H₂₄O₃). Намалюйте будову шогаолу.

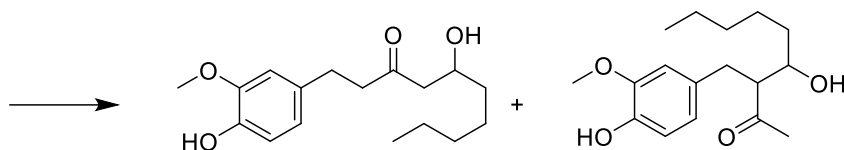
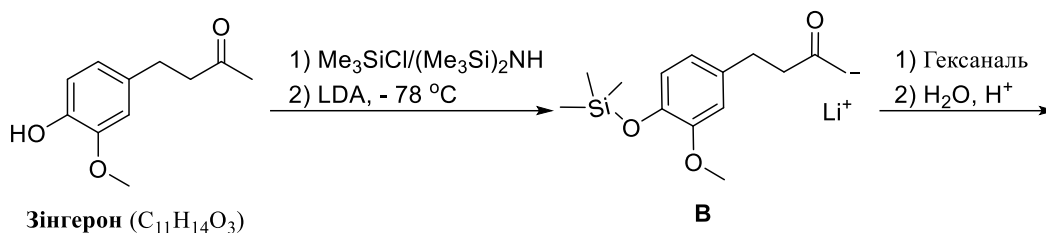
Розв'язок

1) Позитивна реакція зінгерону з FeCl₃ вказує на наявність фенольної -ОН групи. Позитивна реакція з 2,4-динітрофенілгідразином, але не з реактивом Толленса, вказує на наявність кетогрупи.

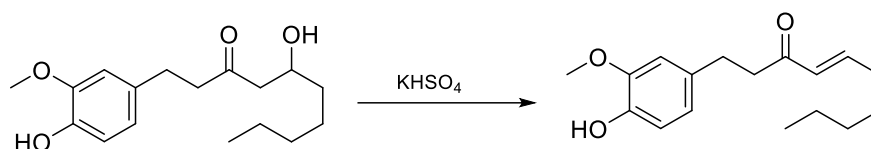
2)



3)

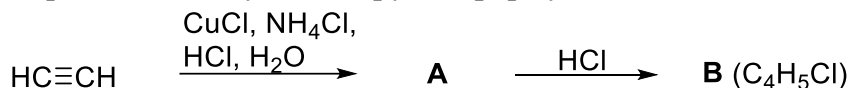


4)

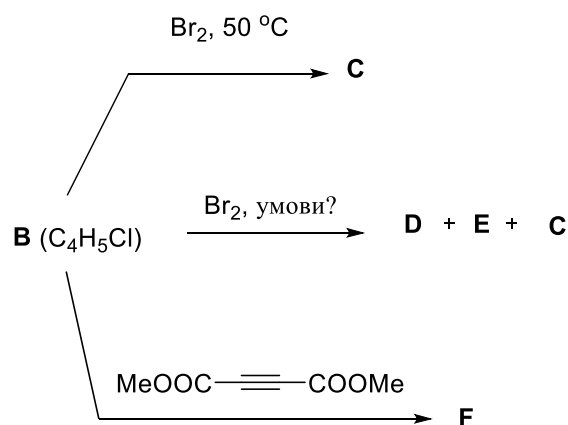


Задача 5 (15 балів)

При послідовній дії на ацетилен розчину $CuCl + NH_4Cl$ в хлоридній кислоті та хлороводню утворюється сполука **B** з брутто-формулою C_4H_5Cl :



Сполука **B**, не взаємодіє з аміачним розчином срібла, але знебарвлює водний розчин $KMnO_4$. При бромованні сполуки **B** (C_4H_5Cl) при $50^\circ C$, утворюється продукт **C**, що не містить хіральних атомів карбону, але якому властива *цис/ транс-* (*Z/E-*) ізомерія. Взаємодія сполуки **B** з диметиліовим естером ацетилендикарбонової кислоти призводить до утворення сполуки **F**, якій не властива ні *R/S*, ні *цис-/транс-* ізомерія (див. схеми $\uparrow$ та $\Rightarrow$)

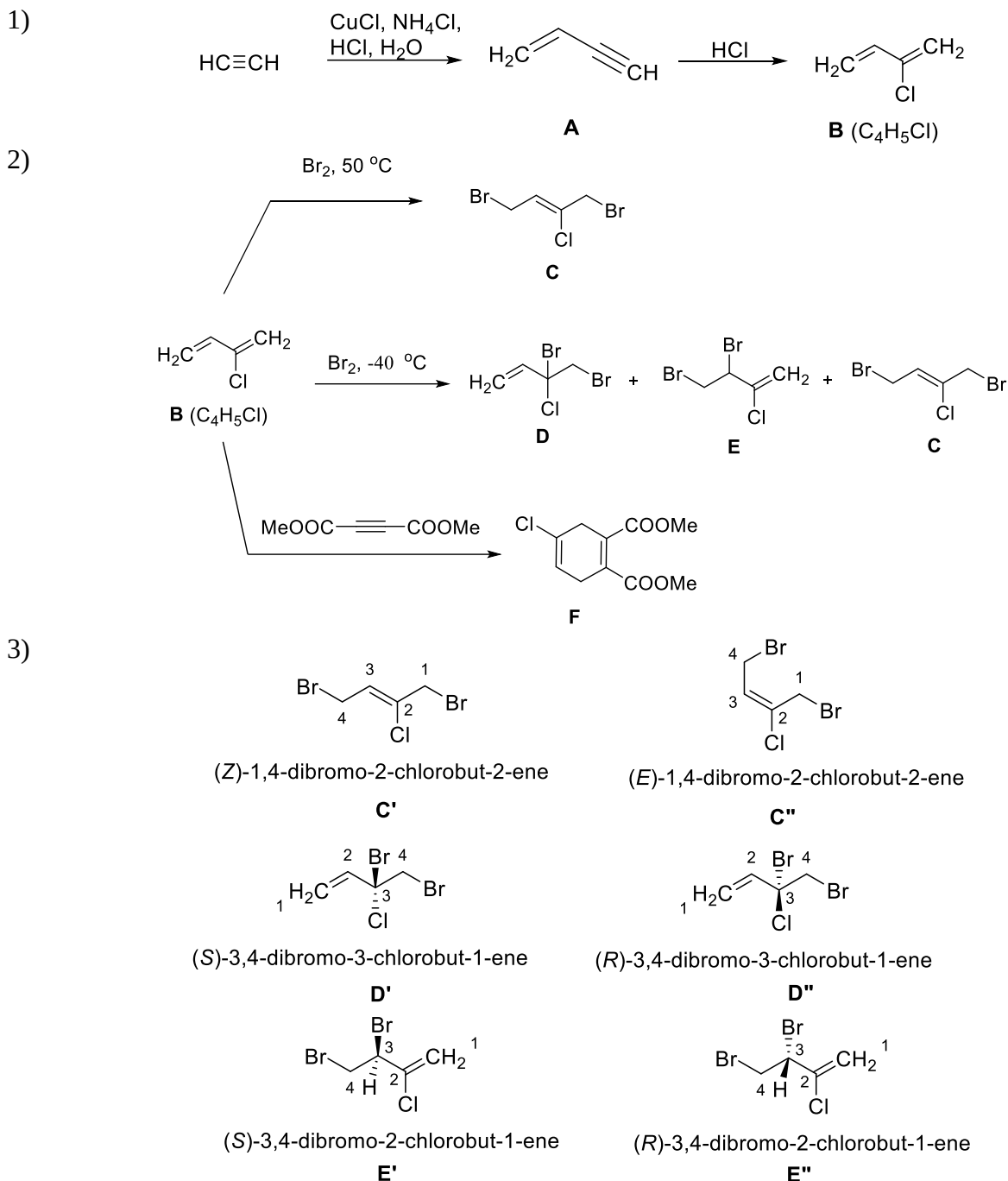


- Заповніть схеми перетворень, вкажіть структурні формули сполук **A–F**.
- За яких умов утворюватимуться продукти **D** та **E**, що містять один хіральний атом карбону?
- Для сполуки **C** зобразіть її *цис/транс-* (*Z/E-*) ізомери, а для сполук **D** та **E** їх *R/S* ізомери.

LXII Обласна олімпіада юних хіміків (м. Львів, 17–18 лютого 2024 р.)

10 клас

Розв'язок



Задача 6 (10 балів)

Проводили монобромовання 2-метилбутану у газовій фазі при 200°C та ультрафіолетовому освітленні.

- Зобразить структурні формули всіх можливих продуктів монобромовання 2-метилбутану.
- Розрахуйте їх вміст у суміші продуктів моно бромовання, якщо швидкості заміщення атомів гідрогену на атоми бром при первинному, вторинному, третинному атомах карбону відносяться одна до одної як 1 : 30 : 600 (*Примітка: враховуйте кількість атомів гідрогену, заміщення яких призведе до утворення даного продукту монобромовання*)

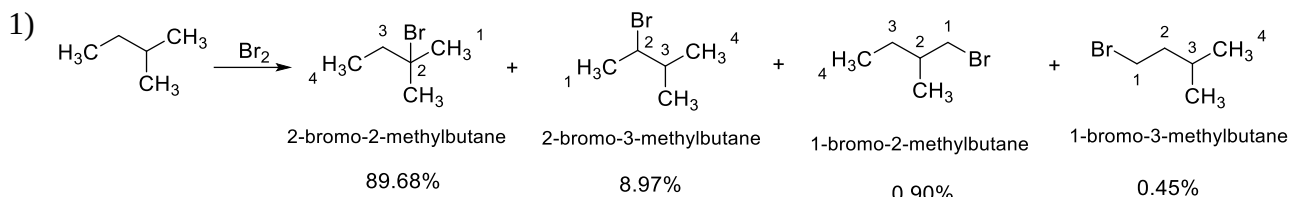
LXII Обласна олімпіада юних хіміків (м. Львів, 17–18 лютого 2024 р.)

10 клас

- Вкажіть основний продукт монобромовання 2-метилбутану та зобразить його найбільш і найменш стійкі конформації.

- Напишіть механізм реакції бромовання 2-метилбутану на прикладі утворення основного продукту реакції монобромовання.

Розв'язок



При монобромованні 2-метилбутану можливе утворення 2-бromo-2-метилбутану, 2-бromo-3-метилбутану, 1-бromo-2-метилбутану, 1-бromo-3-метилбутану. 2-Метилбутан містить 9 первинних атомів водню, 2 вторинних і 1 третинний. Помноживши відносну реакційну здатність бромовання для кожного виду атомів водню на їх кількість одержуємо швидкість бромовання:

для первинних атомів водню $1 \cdot 9 = 9$; для вторинних атомів водню $30 \cdot 2 = 60$;

для третинних атомів водню $600 \cdot 1 = 600$.

- 2) Для розрахунку відсоткового складу суміші складаємо пропорції:

a)
$$\frac{669}{9} (\text{Це сума } 9+60+600) : 100\% = x\%$$

Тож для 1-бromo-2-метилбутану та 1-бromo-3-метилбутану виходить 1,35% (0,90% 1-бromo-2-метилбутану та 0,45% 1-бromo-3-метилбутану);

б)
$$\frac{669}{60} : 100\% = x\%$$

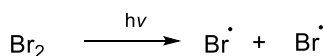
Для 2-бromo-3-метилбутану виходить 8,97%;

в)
$$\frac{669}{600} : 100\% = x\%$$

Для 2-бromo-2-метилбутану виходить 89,68%.



- 4) Ініціація ланцюга:



Ріст ланцюга:



Обрив ланцюга:



LXII Обласна олімпіада юних хіміків (м. Львів, 17–18 лютого 2024 р.)

10 клас

Задача 7 (10 балів)

Завдяки високій хімічній активності акрилонітрил (вінілціанід) $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}$ (стандартні температури замерзання та кипіння -82 та $78,5^\circ\text{C}$, відповідно) став одним

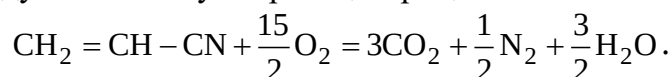
з важливих реагентів у хімічній промисловості. Зокрема його застосовують у виробництві синтетичних волокон (нітрону та ін.), синтетичного каучуку й ударостійкого полістиролу, у синтезі барвників, лікарських препаратів тощо. Хоча акрилонітрил відомий з 1893 р., та широко застосовувати у промисловості його почали лише після 1939 р. завдяки розробці науковцями німецької фірми Байер АГ досконалішого методу синтезу, а саме з ацетилену та ціановодню в присутності каталізатора Ньюленда (концентрованого водного розчину Cu_2Cl_2 і NH_4Cl).

Розрахуйте ентальпію цієї реакції в газовій фазі за температури 25°C та стандартних умов, якщо відомо, що за цих же умов: 1) теплоти згорання акрилонітрилу (одним з продуктів є молекулярний азот), графіту та водню складають 1760,71; 393,51 та 285,85 $\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$, відповідно; 2) ентальпії утворення ціановодню (синильної кислоти) та ацетилену дорівнюють 129,70 та 226,73 $\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$; 3) теплота випаровування акрилонітрилу становить 32,84 $\text{кДж}\cdot\text{моль}^{-1}$.

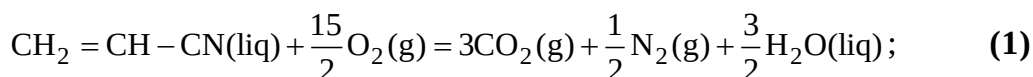
Запишіть рівняння всіх реакцій/процесів, теплові ефекти яких наведено в умові задачі.

Розв'язок

1) В умові задачі згадуються наступні реакції/процеси та теплові ефекти:

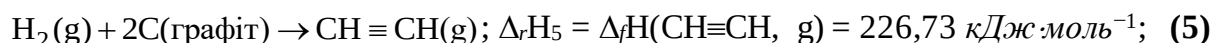
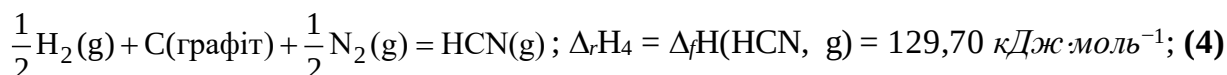
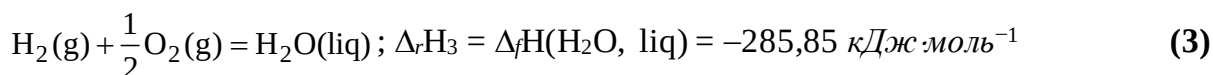
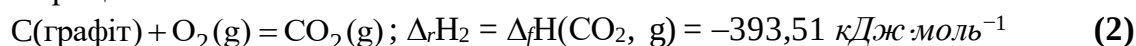


При цьому слід врахувати агрегатні стани речовин. На основі умови задачі (з урахуванням температур фазових переходів, а також, що реакцію проводили за температури 25°C та у стандартних умовах) рівняння реакції слід переписати у вигляді:

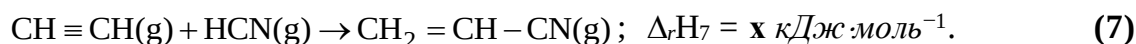


$$\Delta_r H_1 = -1760,71 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1}.$$

Інші процеси:



$$\Delta_r H_6 = \Delta_v H(\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CN}) = 32,84 \text{ кДж}\cdot\text{моль}^{-1} \quad (6)$$



2) Згідно з першим наслідком закону Гесса для реакції (1):

$$\begin{aligned} \Delta_r H_1 = & 3\Delta_f H(\text{CO}_2, \text{g}) + \frac{1}{2}\Delta_f H(\text{N}_2, \text{g}) + \frac{3}{2}\Delta_f H(\text{H}_2\text{O}, \text{liq}) - \\ & - (\Delta_f H(\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CN}, \text{liq}) + \frac{15}{2}\Delta_f H(\text{O}_2, \text{g})); \end{aligned}$$

LXII Обласна олімпіада юних хіміків (м. Львів, 17–18 лютого 2024 р.)

10 клас

Враховуючи, що ентальпії утворення простих речовин дорівнюють нулеві, отримуємо:

$$\begin{aligned}\Delta_f H(\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}, \text{ liq}) &= 3\Delta_f H(\text{CO}_2, \text{ g}) + \frac{3}{2}\Delta_f H(\text{H}_2\text{O}, \text{ liq}) - \Delta_r H_1 = \\ &= 3(-393,51) + \frac{3}{2}(-285,85) - (-1760,71) = -1180,53 - 428,775 + 1760,71 = \\ &= 151,405 \text{ (кДж}\cdot\text{моль}^{-1}\text{)}.\end{aligned}$$

3) Для процесу випаровування акрилонітрилу **(6)**:

$$\begin{aligned}\Delta_v H(\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}) &= \Delta_f H(\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}, \text{ g}) - \Delta_f H(\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}, \text{ liq}); \\ \Delta_f H(\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}, \text{ g}) &= \Delta_v H(\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}) + \Delta_f H(\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}, \text{ liq}) = \\ &= 32,84 + 151,405 = 184,245 \text{ (кДж}\cdot\text{моль}^{-1}\text{)}\end{aligned}$$

4) Згідно з першим наслідком закону Гесса для реакції **(7)**:

$$\begin{aligned}x = \Delta_r H_7 &= \Delta_f H(\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CN}, \text{ g}) - (\Delta_f H(\text{CH}\equiv\text{CH}, \text{ g}) + \Delta_f H(\text{HCN}, \text{ g})) = \\ &= 184,245 - (226,73 + 129,70) = -172,185 \text{ (кДж}\cdot\text{моль}^{-1}\text{)}.\end{aligned}$$

11 клас

Задача 1 (7 балів)

Суміш цинку та цинк оксиду (мольне співвідношення 3 : 1, відповідно) прореагувала з стехіометричною кількістю сульфатної кислоти. Внаслідок реакції утворився розчин солі з масовим вмістом відповідної солі 6,4 %.

- Розрахуйте масову частку кислоти у розчині.
- Запропонуйте найбільш економічно-привабливий та швидкий спосіб вилучення сполук цинку з кінцевого розчину у вигляді сполук за допомогою хімічних реагентів.

Розв'язок

1) Відповідні речовини взаємодіють з сульфатною кислотою згідно з рівняння:



2) Нехай використали 1 моль суміші цинку та цинк оксиду.

З умови задачі випливає, що у реакціях (1) та (2) приймуть участь 0,75 моль цинку (49,05 г) та 0,25 моль (20,35 г) цинк оксиду, а також 1 моль (98 г) гідроген сульфату.

Відповідно утвориться: 1 моль цинк сульфату (161,5 г), 0,25 моль (4,5 г) води, та 0,75 моль (1,5 г) водню.

3) Нехай використали x г розчину кислоти. Тоді масову частку солі у кінцевому розчині обчислюємо за співвідношенням

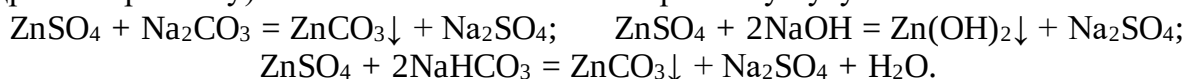
$$\omega(\text{ZnSO}_4) = \frac{m(\text{ZnSO}_4)}{m(\text{p} - \text{нуH}_2\text{SO}_4) + m(\text{Zn}) + m(\text{ZnO}) - m(\text{H}_2)} = \frac{161,5}{x + 49,05 + 20,35 - 1,5} \quad (3)$$

4) Виходячи з умови задачі, масова частка солі в кінцевому розчині становить 6,4% (0,064). Підставляємо відповідне значення в (3), розв'язуємо рівняння. Отримуємо $x = 2456,2$ г.

5) Тоді масова частка кислоти у вихідному розчині становить:

$$\omega(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{m(\text{p} - \text{нуH}_2\text{SO}_4)} = \frac{98}{2456,2} \approx 0,04, \text{ або } 4 \%$$

6) Вилучити цинк з кінцевого розчину найпростіше за допомогою натрій карбонату (гідрогенкарбонату) чи еквівалентної кількості розчину лугу:



Задача 2 (12 балів)

Впродовж тривалого кип'ятіння бінарної сполуки **А** (сірого кольору) в надлишку концентрованої нітратної кислоти утворюється світло-жовтий осад **Б** та прозорий розчин (при додаванні до якого розчинних солей барію випадає білий осад). Бінарна речовина **Б** розчиняється в концентрованій хлоридній кислоті з утворенням прозорого розчину речовини **В**, а в результаті відновлення воднем за температури 500–600 °С перетворюється в чорний порошок речовини **Г**. При дії хлору на порошок **Г** за кімнатної температури утворюється суміш речовин **Д** та **Е**. Кип'ятіння **Д** у нітратній кислоті призводить до утворення речовини **Б**. Рідина **Е** при дії газоподібного гідрогенфлуориду перетворюється в безбарвну рідину **Ж**, яку використовують як апротонний розчинник. Сполука **Е** входить в склад суміші, яка навіть холодною легко розчиняє парафінові свічки і сприяє ізомеризації та розщепленню алканів.

- Ідентифікуйте речовини **А** – **Ж**, напишіть і урівняйте рівняння відповідних реакцій.

11 клас

- Яку назву має згадана у умові суміш, складником якої є сполука **Е**? Який основний органічний продукт розчинення парафінових свічок у такій суміші?

Розв'язок

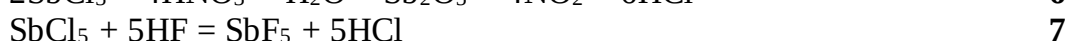
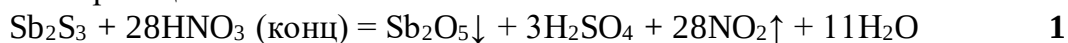
1) Бінарна речовина **А** – сульфід, оскільки розчиняється в нітратній кислоті з утворенням іншої бінарної речовини **Б** та розчину з якого випадає осад барій сульфату. Також можливий варіант, що **А** – карбід, оскільки розчиняється в нітратній кислоті з утворенням іншої бінарної речовини **Б** та розчину з якого випадає осад барій карбонату. Проте ймовірність такого перетворення мізерна, карбонат з розчину вилучатиметься за рахунок виділення CO_2 .

2) Розчинення сульфиду в нітратній кислоті призводить до утворення іншої бінарної речовини. Єдиний можливий варіант в такому випадку що **Б** – оксид, причому перелік елементів, для яких при розчиненні сульфідів в концентрованій нітратній кислоті утворюється оксид, відносно невеликий – Sb, Ge, Sn... Кольори речовин та перетворення сполук підказують, що у задачі ідеться про стибій(III) сульфід.

3) Формули речовин:

А – Sb_2S_3 ; **Б** – Sb_2O_5 ; **В** – HSbCl_6 ; **Г** – Sb (при відновленні воднем оксиду утворюється дрібнодисперсний порошок чорного кольору) **Д** – SbCl_3 ; **Е** – SbCl_5 , **Ж** – SbF_5 .

4) Рівняння реакцій:



5) Суміш SbCl_5 та HF чи HSO_3F володіє надзвичайно вираженим кислотним властивостями та отримала назву "магічна кислота". При розчиненні алканів у магічній кислоті відбувається розщеплення та ізомеризація алканових ланцюгів кінцевим продуктом якої є третбутил-катіон.

Задача 3 (16 балів)

В платиновому тиглі змішали просту речовину **А**, суху сіль **Б** та калій гідроксид. Суміш обережно нагріли. Твердий залишок розчинили у воді. Утворений червоно-фіолетовий розчин профільтрували через скляну вату. До розчину додали еквівалентну кількість розчину BaCl_2 та охолодили. Утворений осад червоно-фіолетової солі **В** (містить одну молекулу кристалізаційної води) відфільтрували на скляному фільтрі, промили дистильованою водою, обережно висушили. При взаємодії солі **В** з концентрованою хлоридною кислотою утворюються BaCl_2 , бінарна сіль **Г** (стійка у вільному стані, містить 34,4 мас. % металу), та світло-зелений газ **Д** з різким запахом. При помірному нагріванні солі **В** утворюється твердий продукт – суміш оксидів **Е** та **Ж**, вода, а також газ **З** (відповідна сполука в рідкому стані входить до складу оксиліквітів). При взаємодії солі **В** з розведеною сульфатною кислотою один з продуктів реакції – газ **З**. Нагрівання солі **Б** приводить до утворення газу **З**, а твердий залишок іншої солі складає $\approx 84\%$ від початкової маси.

- Напишіть формули речовин **А**, **Б**, **В**, **Г**, **Д**, **Е**, **Ж**, **З** та рівняння відповідних реакцій.
- Поясніть причину використання скляної вати замість паперового фільтру.

11 клас

- Поясніть значення терміну “оксиліквіт”. Де вони використовуються?
- Поясніть будову (зобразіть енергетичну діаграму) молекули сполуки **З** з точки зору теорії молекулярних орбіталей.

Розв’язок

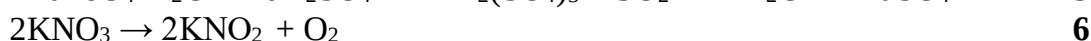
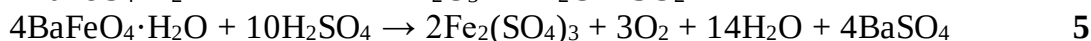
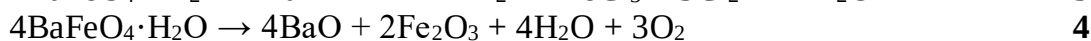
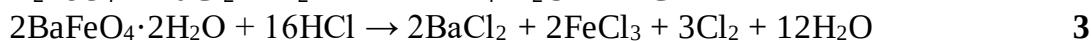
1) Оскільки при взаємодії солі **В** з концентрованою хлоридною кислотою утворюються BaCl_2 , бінарна сіль **Г** та світло-зелений газ **Д** з різким запахом (це фтор або хлор) то сполуки **В** та **Г** містять один і той самий елемент (далі позначимо **X**), а до складу сполуки **Г** входить ще і хлор.

2) Виходячи з закону еквівалентів $34,4/(E(X))=65,6/35,5$ тому $E(X)=18,61$, **X** це Fe. Тому в задачі йдеться про перетворення сполук феруму.

3) Формули речовин:

A – Fe, **Б** – KNO_3 , **В** – $\text{BaFeO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$, **Г** – FeCl_3 , **Д** – Cl_2 , **Е** – BaO, **Ж** – Fe_2O_3 , **З** – O_2 .

4) Рівняння відповідних реакцій:



5) Скляну вату використовуємо оскільки ферат-іони є сильним окисникам що легко взаємодіє з органічними речовинами (целюлоза фільтру).

6) Оксиліквіти – суміші рідкого кисню з горючими пористими матеріалами (вугілля, торф, солома тощо) які використовують як вибухівку.

Задача 4 (15 балів)

Вуглеводень **A** здатний, за відсутності світла чи нагріву, провзаємодіяти з 2 еквівалентами Br_2 (1 моль **A** взаємодіє з 2 молями броду), а при спалюванні вуглеводню **A** масою 33 г утворюється 27 г води та 56 л (н.у.) вуглекислого газу. Густина парів сполуки **A** за аргонем становить 1,65. Її озоноліз та наступне окисне розщеплення отриманого озоніду дією водного розчину пероксиду водню, призводить до утворення оксалатної та маленової кислот.

Окрім того відомо, що взаємодія вуглеводню **A** з металічним натрієм призводить до утворення сполуки **В**, яка є ароматичною і здатна взаємодіяти з FeCl_2 з утворенням кристалічної сполуки **С** оранжевого кольору. Також сполука **A** вступає в реакцію з етилакрилатом утворюючи сполуки **Д** та **Е**.

- Визначте структурні формули сполук **A–Е** та запишіть схеми їх перетворень, згаданий в умові.
- Використовуючи правила Хюккеля, поясніть чому сполука **В** є ароматичною.
- Для сполуки **A** запишіть всі можливі ізомери.

Розв’язок

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

$$M(\text{C}_n\text{H}_{2n}) = M(\text{Ar}) \cdot D = 40 \cdot 1.65 = 66 \text{ г/моль};$$

2) Обчислюємо кількість спаленого вуглеводню: $\nu_{\text{C}_n\text{H}_{2n}} = \frac{m}{M} = \frac{33}{66} = 0.5 \text{ моль}$

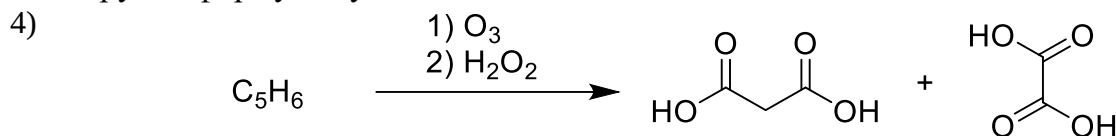
11 клас

3) Обчислюємо кількість С і Н у продуктах горіння ($C_nH_{2n} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$):

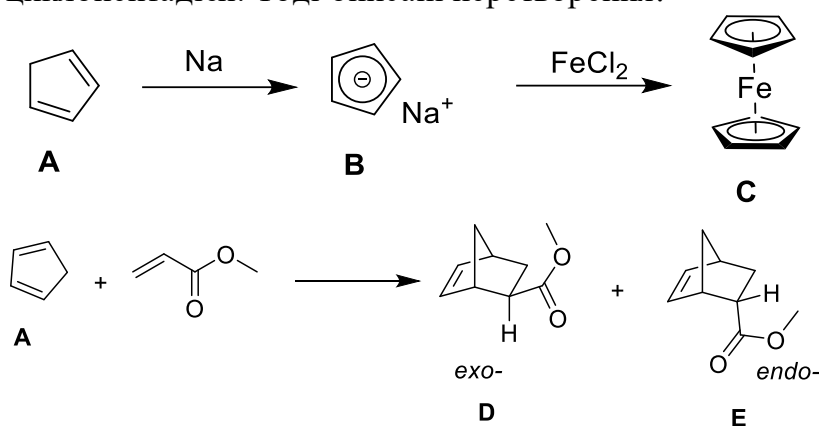
$$\nu_{CO_2} = \nu_C = \frac{V}{V_M} = \frac{56}{22.4} = 2.5 \text{ моль} \quad \nu_{H_2O} = \frac{1}{2} \nu_H = \frac{m}{M} = \frac{27}{18} = 1.5 \text{ моль}$$

$$\nu_{CO_2} : \nu_{H_2O} = 2.5 : 3 = 5 : 6$$

Тож брутто-формула вуглеводню C_5H_6



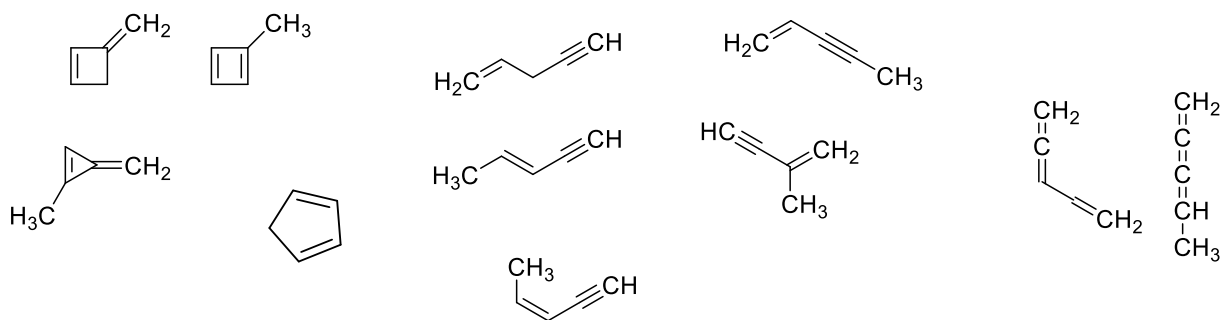
5) Аналізуючи механізм та продукти реакції озонолізу (карбоксильні групи утворюються на місці подвійних зв'язків), можна дійти висновку, що невідомий вуглеводень це цикlopentадієн. Тоді описані перетворення:



6) Цикlopentадієніл-аніон задовольняє критерії Правил Хюкеля:

- молекула циклічна (5 атомів);
- молекула плоска (всі атоми в молекулі лежать в одній площині);
- молекула повністю кон'югована (p-орбіталі на кожному атомі в циклі);
- молекула має $4n+2$ π -електронів ($n=1$).

7) Ізомери А:



Задача 5 (10 балів)

Для визначення складу газуватого (за н.у.) нециклічного вуглеводню **A** певну його кількість розділили на дві рівні частини. Одну вичерпно прогідрували, що привело до утворення сполуки **B**. Другу частину пробромували дією розчину брому в CCl_4 за температури $-10^\circ C$ в темряві й отримали речовину **C**. Співвідношення мас сполук **C** і **B** (мас продуктів після реакції) склало $3,724 : 1$. Відомо також, що при окисненні вуглеводню **A** кислим розчином перманганату калію з реакційної суміші було виділено пропанову кислоту.

11 клас

- Визначте речовини **A**, **B** та **C**. Відповідь обґрунтуйте, запишіть описані схеми перетворень.
- Зобразіть будову всіх можливих ізомерів зашифрованих сполук.
- Наведіть реакцію приєднання HCl до **A**. Зобразіть будову продукту реакції. Відповідь обґрунтуйте.

Розв'язок

1) Внаслідок реакції бромовання та гідрування утворюються однакові кількості насичених сполук, їх можна записати загальними формулами $C_nH_{2n+2-x}Br_x$ та C_nH_{2n+2} . Співвідношення їх молекулярних мас має вигляд

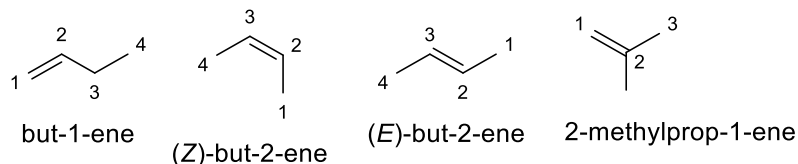
$$\frac{12n + 2n + 2 - x + 80x}{12n + 2n + 2} = 3.724,$$

звідки $n = 2.07x - 0.14$.

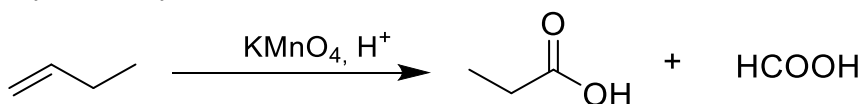
2) Якщо $x=2$ (приєднання молекули Br_2), то $n=4$. Формули продуктів бромовання та гідрування $C_4H_8Br_2$ та C_4H_{10} , формула вихідного вуглеводню – C_4H_8 .

Слід зазначити, що вищі алкени ($x \geq 3$, $n \geq 6$) не є газуватими, тож не відповідають умовам задачі.

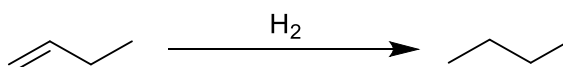
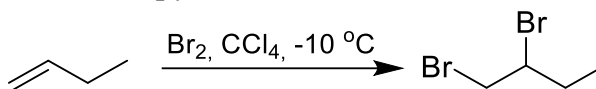
3) Нециклічні ізомери C_4H_8 :



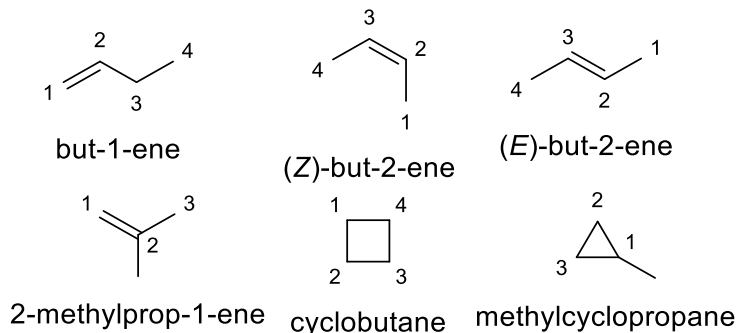
4) Зважаючи на те, що при взаємодії з $KMnO_4$ утворюється пропанова кислота, то невідомою сполукою є бут-1-ен:



Схеми реакцій бромовання та гідрування:

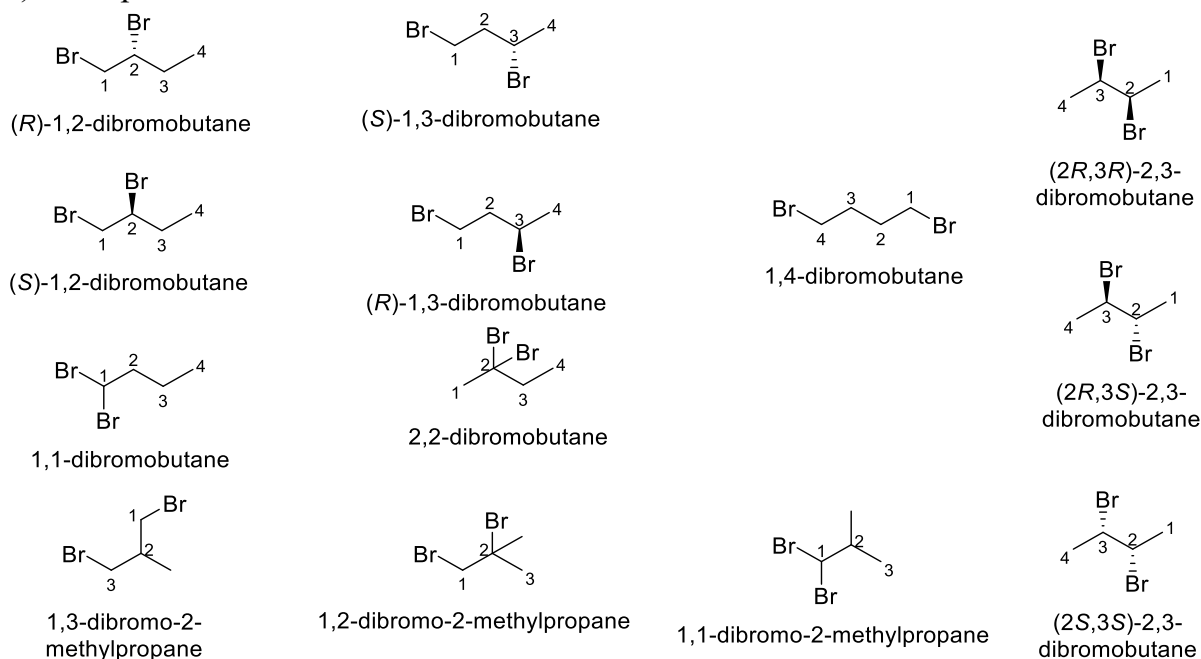


5) Усі можливі ізомери C_4H_8 :

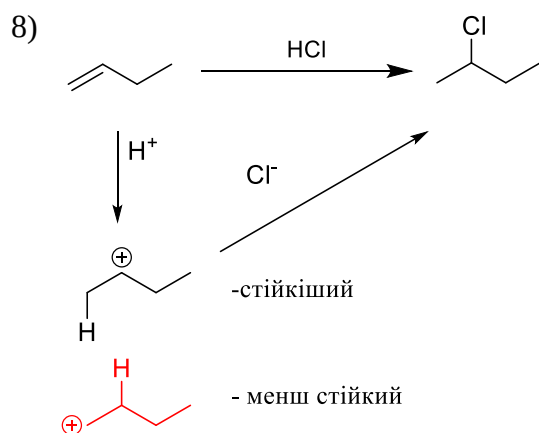
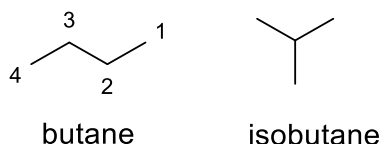


11 клас

6) Ізомери $C_4H_8Br_2$:



7) Ізомери C_4H_{10} :



Регіоселективність цієї реакції визначається правилом Марковнікова; тобто, з двох можливих регіоізомерів переважно утворюється той, де атом галогену зв'язаний з тим атомом вуглецю, що має більше зв'язків C–C, бо саме в цій позиції відбувається краща стабілізація карбокатионного інтермедіату.

Задача 6 (10 балів)

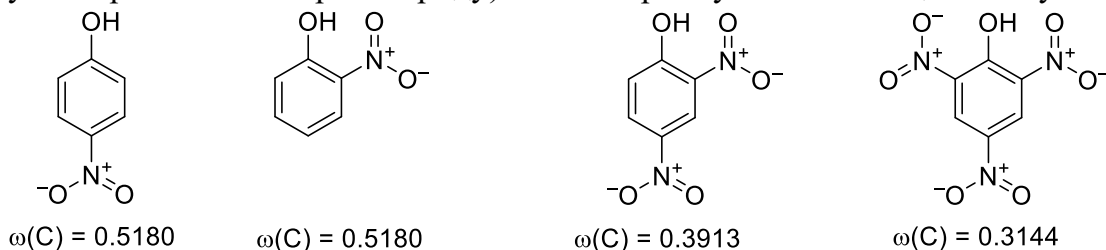
Сполуку **A** можна добути нітруванням фенолу за відповідних умов. Сполука **A** – жовтувата кристалічна речовина, що містить менше 40% карбону за масою. Сполука **A** частково розчинна у воді. У розчині вона поводить себе як кислота, і є сильніша за фенол. Для титрування розчину 229 мг зразка **A** потрібно 19,52 мл 0,05124 М КОН.

- Визначте молекулярну формулу сполуки **A** і намалюйте її структуру.
- Назвіть сполуку **A** згідно з рекомендаціями IUPAC? Яка її загальноприйнята тривіальна назва?
- Чому **A** проявляє кислотні властивості і є сильнішою кислотою ніж фенол?
- Яка сполука утворюється при взаємодії **A** з розчином сульфиду натрію при нагріванні.

11 клас

Розв'язок

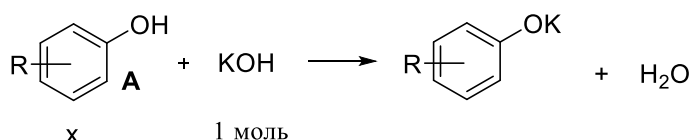
1) Оскільки сполуку **A** отримують нітруванням фенолу, то це може бути *орто*-нітрофенол, *пара*-нітрофенол, 2,4-динітрофенол чи 2,4,6-тринітрофенол (оскільки OH-група є орієнтантом першого роду). Вміст карбону за масою в цих сполуках:



Таким чином *орто*-нітрофенол і *пара*-нітрофенол не задовольняють умову про вміст карбону за масою менше 40%.

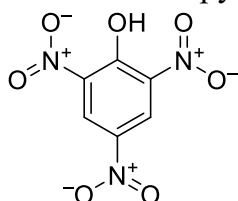
2) Титрування розчину зразка дозволяє нам визначити молярну масу **A**, оскільки усі продукти нітрування фенолу є одноосновними кислотами. Сполука **A** прореагувала при титруванні з $n(\text{KOH}) = 0,01952 - 0,05124 = 0,001$ моль. Отже, склавши рівняння реакції ми можемо вирахувати молярну масу речовини **A**:

$$0,229 \text{ г} \quad 0,001 \text{ моль}$$



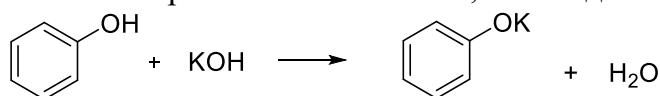
$$x = 0,229 \text{ г} \times 1 \text{ моль} / 0,001 \text{ моль} = 229 \text{ г}; M_r(\text{A}) = 229$$

3) Отже, сполука **A** має формулу $\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7$ та структуру:

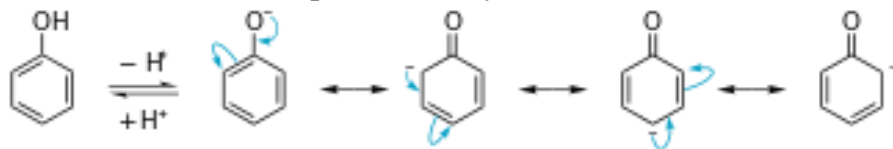


Назва за IUPAC – 2,4,6-тринітрофенол, тривіальна назва – пікринова кислота.

4) Фенол, який ще називають карболовою кислотою, взаємодіє з лугами як кислоти:



В такі реакції не вступають аліфатичні спирти, наприклад, етанол. Така властивість фенолу зумовлена стабілізацією фенолят-іону:

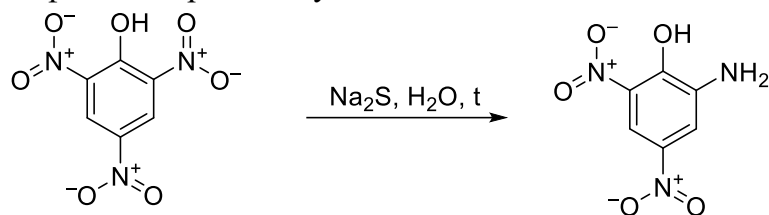


У випадку пікринової кислоти наявність трьох нітрогруп, які є сильними акцепторами електронів, призводить до поляризації зв'язку OH, а отже збільшує рухливість протона і збільшує кислотність. Окрім того ці три нітрогрупи беруть участь в де локалізації електронів у пікрат-аніоні.

5) Сульфід натрію є одним з відновників які застосовуються для відновлення нітрогрупи в ароматичних сполуках. Однак, особливістю є те, що сульфід натрію застосовується для парціального відновлення нітрогрупи в ароматичних полінітропохідних.

11 клас

При цьому відновлюється та нітрогрупа, яка знаходиться в *орто*- чи в *пара*- положенні до активуючої групи (в даному випадку OH-група). Пікринова кислота відновлюється сульфідом натрію наступним чином:

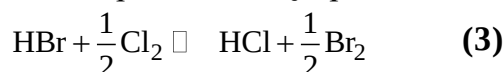


Задача 7 (10 балів)

За температури 900 К константи рівноваги реакцій взаємодії водню з хлором та бромом у газовій фазі становлять відповідно:



- Запишіть вираз для константи рівноваги $K_{p,3}$ реакції



та розрахуйте її значення за цих же умов.

- В якому напрямі протікатиме реакція (2), якщо в реактор до суміші 1 моля водню і 1 молю бромоводню додати 1000 моль бромоводню? Підтвердьте свій висновок розрахунками.
- Яку кількість бромоводню необхідно додати до згаданої еквімолярної суміші водню і бромоводню, щоб змінити напрямок процесу?
- Розрахуйте рівноважний (після усталення рівноваги) у реакторі, склад реакційної суміші, яка початково містила 1 моль водню, 1 моль бромоводню та 1000 моль HBr.

Розв'язок

$$1) \quad K_{p,3} = \left[\frac{p(\text{HCl}) \sqrt{p(\text{Br}_2)}}{p(\text{HBr}) \sqrt{p(\text{Cl}_2)}} \right]_{\text{рівноважні}}$$

2) Рівняння реакції (3) можна отримати відповідно до виразу

$$(3) = \frac{1}{2}(1) - \frac{1}{2}(2)$$

Тож згідно з законом Гесса можемо записати:

$$\Delta G_3^0 = \frac{1}{2}\Delta G_1^0 - \frac{1}{2}\Delta G_2^0 = \frac{1}{2}(\Delta G_1^0 - \Delta G_2^0).$$

3) Оскільки $\Delta G^0 = -RT \ln K_p$, то можемо записати:

$$-RT \ln K_{p,3} = -\frac{1}{2}RT(\ln K_{p,1} - \ln K_{p,2});$$

$$\ln K_{p,3} = \frac{1}{2}(\ln K_{p,1} - \ln K_{p,2}) = \frac{1}{2} \ln \frac{K_{p,1}}{K_{p,2}} = \ln \left(\frac{K_{p,1}}{K_{p,2}} \right)^{1/2}$$

$$K_{p,3} = \sqrt{\frac{K_{p,1}}{K_{p,2}}} = \sqrt{\frac{4,08 \times 10^{11}}{7,94 \times 10^6}} = 2,27 \times 10^2$$

11 клас

4) Вираз для константи рівноваги реакції (2) має вигляд:

$$K_{p,2} = \left[\frac{p^2(\text{HBr})}{p(\text{H}_2)p(\text{Br}_2)} \right]_{\text{рівноважні}} \quad (4)$$

5) Тож напрямок протікання реакції (2) можна знайти за значенням енергії Гіббса реакції:

$$\Delta G_2^0 = RT \ln \frac{p^2(\text{HBr})}{p(\text{H}_2)p(\text{Br}_2)} - RT \ln K_{p,2}.$$

Проте, оскільки під час реакції (2) не відбувається зміна кількостей моль газуватих речовин, то біжучі (в даний момент часу) парціальні тиски газів можна замінити на кількості відповідних речовин. Тож отримаємо:

$$\begin{aligned} \Delta G_2^0 &= RT \ln \frac{n^2(\text{HBr})}{n(\text{H}_2)n(\text{Br}_2)} - RT \ln K_{p,2} = RT \ln \frac{n^2(\text{HBr})}{n(\text{H}_2)n(\text{Br}_2)K_{p,2}} = \\ &= 8,314 \cdot 900 \cdot \ln \frac{1000^2}{1 \cdot 1 \cdot 7,94 \cdot 10^6} = -15,503 \text{ Дж.} \end{aligned}$$

Оскільки $\Delta G_2^0 < 0$, то реакція протікає **в прямому напрямі** (зліва направо – в бік утворення бромоводню) відповідно до запису рівняння (2).

6) Умовою зміни напрямку процесу (в сторону утворення вихідних речовин – водню і броду) буде:

$$\begin{aligned} \Delta G_2^0 &= RT \ln \frac{n^2(\text{HBr})}{n(\text{H}_2)n(\text{Br}_2)K_{p,2}} > 0; & 8,314 \cdot 900 \cdot \ln \frac{x^2}{1 \cdot 1 \cdot 7,94 \cdot 10^6} > 0; \\ \ln \frac{x^2}{1 \cdot 1 \cdot 7,94 \cdot 10^6} > 0; & \frac{x^2}{1 \cdot 1 \cdot 7,94 \cdot 10^6} > 1; & x^2 > 7,94 \cdot 10^6; & x > 2817,8. \end{aligned}$$

тобто коли до суміші 1 моля водню і 1 моля броду додати більше ніж **2817,8** моль бромоводню.

7) Оскільки реакція протікає в прямому напрямі (див. п. 5 розв'язку), то водень і бром реагують між собою і на час досягнення рівноважного стану їх кількості зменшаться на y моль, а значить утвориться додатково $2y$ моль HBr. Отже, відповідно до виразу (4):

$$\frac{(1000 + 2y)^2}{(1 - y)(1 - y)} = 7,94 \cdot 10^6; \quad \frac{1000 + 2y}{1 - y} = \sqrt{7,94 \cdot 10^6} = 2,8178 \cdot 10^3;$$

$$1000 + 2y = 2,8178 \cdot 10^3 (1 - y); \quad 2819,8y = 1817,8; \quad y = 0,645;$$

Отже, у рівноважній суміші міститиметься $1000 + 2 \cdot 0,645 = \mathbf{1001,29}$ моль бромоводню та по $1 - 0,645 = \mathbf{0,355}$ моль водню та броду.