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: $3O_2 + h\nu \rightarrow 2O_3$.

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:

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

Задача 2 (9 *балів*)

За температур нижчих за 77,4 K (−195,75 °C) 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°C?

Розв'язок

1) В одиницях системи СІ: об'єм азоту дорівнює 0,02444 м^3; 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, $\frac{28}{0{,}808} = 34{,}65$ см^3.

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:

a, г	*b*, г	*c*, г	*d*, г
$2\ Na$	$+\ 2\ H_2O$	$\rightarrow\ 2\ NaOH$	$+\ H_2\uparrow$
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:

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

6) Розв'язуємо отримане рівняння

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

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

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

Задача 4 (15 *балів*)

При розчиненні 107 *г* кристалогідрату сульфату міді $CuSO_4 \cdot x\ H_2O$ 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:

$$w = \frac{m(CuSO_4)}{m(\text{розчину})} \cdot 100\ \%.$$

3) Звідси знаходимо масу сульфату міді $CuSO_4$ в цьому розчині і, відповідно, в кристалогідраті: $\frac{1000}{100} \cdot 8 = 80$ (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:

$$\frac{m(CuSO_4)}{M(CuSO_4)} = \frac{80}{160} = 0{,}5 \text{ моль } CuSO_4 \quad \text{та} \quad \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} = \frac{27}{18} = 1{,}5 \text{ моль } H_2O.$$

6) Мольне відношення між $CuSO_4$ та H_2O дорівнює 0,5 : 1,5 = 1 : 3. Таким чином, формула кристалогідрату $CuSO_4 \cdot 3H_2O$ (до складу однієї структурної одиниці кристалогідрату входить 3 молекули води).

7) Відомі ще одно- і п'ятиводні кристалогідрати сульфату міді − $CuSO_4 \cdot H_2O$ та $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.

8) Моногідрат $CuSO_4 \cdot H_2O$ можна отримати зневодненням кристалогідратів з більшим вмістом води при обережному нагріванні, при витримуванні в ексикаторі над поглиначами води або у вакуумі при звичайній температурі.

Пентагідрат $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 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 *г·моль*$^{-1}$ містить 4±0,5 *мас.* % нітрогену.

- Розрахуйте вміст нітрогену в цій речовині з точністю 0,01 *мас.* %.

Розв'язок

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

Маса нітрогену в ній приблизно становитиме $\frac{4\,\%}{100\,\%} \cdot 395 = 15{,}8$ (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: $\frac{14}{395} \cdot 100 = 3{,}54\,\%$ (за масою).

Задача 6 (15 *балів*)

Для відновлення 3,2 *г* оксиду металу необхідно 1,344 *л* водню. При розчиненні отриманого металу в надлишку соляної кислоти виділяється 0,896 *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:

$M_xO_y + y\ H_2 \rightarrow x\ M + y\ H_2O$; $M + n\ HCl \rightarrow n/2\ H_2 + MCl_n$.

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 малоймовірним.

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

	3,2 г	1,344 л		
	M_2O_3	+ 3 H_2	→ 2 M	+ 3 H_2O
M, г/моль		3·22,4 л/моль		

Тоді молярна маса оксиду $M(M_2O_3) = \frac{3{,}2 \cdot 3 \cdot 22{,}4}{1{,}344} = 160$ г/моль

4) $M(M_2O_3) = 2\,Ar(M) + 3\,Ar(O)$.

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

Отже метал – залізо.

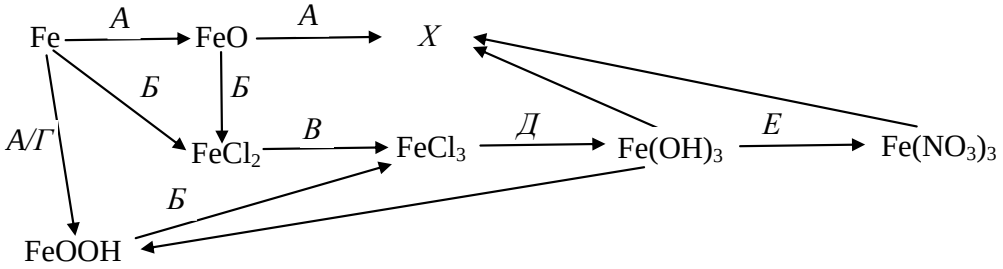
5) Рівняння відповідних реакцій:

$Fe_2O_3 + 3\ H_2 \rightarrow 2\ Fe + 3\ H_2O$; $Fe + 2\ HCl \rightarrow H_2 + FeCl_2$.

8 клас

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:

А **– O_2**; ***Б*** **– HCl**; ***В*** **– Cl_2**; ***Г*** **– H_2O**; ***Д*** **– NaOH** (або **інший луг**);

Е **– HNO_3**; ***Х*** **– 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 *см*^{3} (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:

$$Na_xC_yH_zO_k + O_2 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O.$$

На першому етапі може бути схема

$$Na_xC_yH_z + O_2 \rightarrow Na_2CO_3 + CO_2 + H_2O,$$

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

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

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

Відповідно у Na_2CO_3 кількість речовини карбону становить 0,015 моль.

Тоді загальна кількість карбону

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

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

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 оксиген:

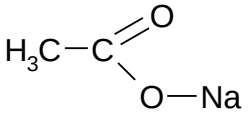
$$m(O) = 2{,}46 - 1{,}50 = 0{,}96 \text{ г } (0.06 \text{ моль}).$$

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

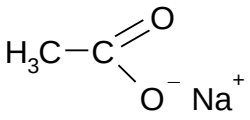
Отже: $x = 1$; $y = 2$; $z = 3$; $k = 2$.

Формула речовини: $NaC_2H_3O_2$.

4) Очевидно, що це натрій ацетат:



або



5) $2CH_3COONa + 4O_2 = Na_2CO_3 + 3CO_2 + 3H_2O$.

Згідно рівняння реакції на горіння витратилося 0,06 моль O_2, тобто 1,344 л.

***Задача* 2** (13 балів)

До 200 *см*^{3} 0,391% водного розчину галогеніду лужного металу (ρ=1,0 *г*/*см*^{3}) додали 100 *см*^{3} 0,1 *М* розчину $AgNO_3$. 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 $AgNO_3$:

$$n(AgNO_3) = 0{,}1 \cdot 0{,}1 = 0{,}01 \text{ моль}$$

2) Оскільки кінцевий розчин містив іони Ag^+, то робимо висновок, що додано надлишок осаджувача (розчину $AgNO_3$)б, а галогенід-іони повністю перейшли в осад.

9 клас

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

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

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

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

4) За масою осаду аргентум галогеніду та його кількістю молів можна розрахувати його молярну масу: $M(AgX) = 1{,}235/0{,}00658 = 187{,}7$ г/моль.

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

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

тобто невідомий галоген – Br.

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

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

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

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

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

8) Реакція осадження: $KBr + AgNO_3 = AgBr\downarrow + KNO_3$.

9) Молярна концентрація KBr у вихідному розчині:

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

***Задача* 3** (20 балів)

У трьох пробірках містяться безбарвні розчини солей **А, Б** та **В**. 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 **А, Б** та **В** безбарвного розчину речовини **Ж** в усіх пробірках випадають осади **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 **А, Б** та **В** 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.

9 клас

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, якийдобре розчинний у воді, з неприємним запахом, важчий за повітря.

Звідси можна зробити висновок, що речовина **Ж** – кальцій хлорид ($CaCl_2$).

2) При взаємодії розчинів натрієвих солей речовин **А, Б, В** розчином хлоридної кислоти (HCl) виділяються газуваті речовини, які при розчиненні у воді змінюють забарвлення універсального індикаторного паперу, показуючи кисле середовище. Це є ознака розчинення кислотних оксидів (ангідридів) – CO_2, SO_2, NO_2, або ж газуватих речовин H_2S, з утворенням слабких кислот.

3) Оскільки розчини натрієвих солей речовин **А, Б, В** утворюють важкорозчинні сполуки (осади) із розчином речовини **Ж** – кальцій хлорид ($CaCl_2$), то можна прийти до висновку, що речовини **А, Б, В –** це натрієві солі карбонатної, сульфітної та сульфідної кислот (Na_2CO_3, Na_2SO_3, Na_2S).

А – Na_2CO_3	**Б** – Na_2SO_3	**В** – Na_2S	**Г** – HCl	**Д** – CO_2	**Е** – SO_2
Є – H_2S	**Ж** – $CaCl_2$	**З** – $CaCO_3$	**І** – $CaSO_3$	**Й** – CaS	**К** – S

4) $Na_2CO_3 + 2HCl = 2NaCl + CO_2\uparrow + H_2O$; $Na_2SO_3 + 2HCl = 2NaCl + SO_2\uparrow + H_2O$;

$Na_2S + 2HCl = 2NaCl + H_2S\uparrow$

5) $CO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$ (нестійка карбонатна кислота, існує у розведених водних розчинах під тиском, дуже слабка кислота);

$SO_2 + H_2O \leftrightarrow H_2SO_3$ (нестійка сульфітна кислота, існує у розведених водних розчинах, кислота середньої сили);

Розчин H_2S у воді – це стійка, але дуже слабка кислота.

6) $Na_2CO_3 + CaCl_2 = 2NaCl + CaCO_3\downarrow$; $Na_2SO_3 + CaCl_2 = 2NaCl + CaSO_3\downarrow$;

$Na_2S + CaCl_2 = 2NaCl + CaS\downarrow$

7) $CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + CO_2\uparrow + H_2O$; $CaSO_3\square + 2HCl = CaCl_2 + SO_2\uparrow + H_2O$;

$CaS\uparrow + 2HCl = CaCl_2 + SO_2\square + H_2S$.

8) $H_2S^{+4}O_3 + 2H_2S^{-2} = 3S^0\downarrow + 3H_2O$ – окисно-відновна,

H_2SO_3 – окисник, H_2S – відновник.

9) Практичне застосування наведених газів:

CO_2 – 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.

SO_2 – сірчистий газ, застосовують для відбілювання вовни, шовку та соломи, консервування фруктів, як дезінфекційний засіб, антиоксидант, холодоагент. Крім того, SO_2 є проміжним продуктом у виробництві сульфатної кислоти та сульфітів.

H_2S – 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 *см*^{3} 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 розчину, якщо для повної нейтралізації 10,0 *см*^{3} вихідного розчину затрачено 40,0 *см*^{3} 0,5000 *М* розчину KOH.

Розв'язок

1) Рівняння реакцій:

$$H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O;\ HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$$

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 моль × 100,0 мл / 10,0мл = 0,2 моль NaOH.

4) Нехай утворилось *х* г NaCl, тоді Na_2SO_4 утворилось (13,2 – *х*) г.

Кількість молів NaOH, які затрачено на утворення NaCl рівне х/58,5, а на утворення Na_2SO_4 – $\frac{2\times(13,2-x)}{142}=\frac{13,2-x}{1\setminus 2\times 142}$.

(З 2 молів NaOH утворюється 1 моль Na_2SO_4; M(NaCl) = 58,5 г/моль; M(Na_2SO_4) = 142 г/моль).

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

Розв'язок рівняння дає:

m(NaCl) = 4,68 г NaCl; m(Na_2SO_4) = 13,2 – 4,68 = 8,52 г.

5) Розрахуємо кількість молів NaCl і Na_2SO_4:

$$\eta(NaCl) = \frac{4,68}{58,5} = 0,08 \text{ моль}; \qquad \eta(Na_2SO_4) = \frac{8,52}{142} = 0,06 \text{ моль}.$$

6) Кількість молів NaCl така ж як HCl, а кількість молів Na_2SO_4 така ж як H_2SO_4 у вихідному розчині. Отже молярні концентрації становлять:

C(HCl) = 0,08 моль/0,1л = 0,8 моль/л; C(H_2SO_4) = 0,06 моль/0,1л = 0,6 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: $Cu + 2H_2SO_{4\ (конц.)} = CuSO_4 + SO_2 + 2H_2O$.

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

$$CuSO_4 + \underset{55,9}{\overset{y}{Fe}} = \underset{63,5}{\overset{x}{Cu}} + FeSO_4 \quad \textbf{(1)}.$$

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

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

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

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

4) Отже, m(Cu, що виділилася)=12,55 г.

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

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

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

Задача 6 (16 балів)

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

1) $FeS + HNO_3 \rightarrow Fe(NO_3)_3 + SO_2 + \ldots + H_2O$;
2) $FeS_2 + O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + \ldots$;
3) $S + KClO_3 \rightarrow \ldots + KCl$;
4) $HNO_3 + H_2S \rightarrow \ldots + NO_2 + H_2O$.

Зазначте окисник і відновник у кожній реакції.

Розв'язок

1) $FeS + 10HNO_3 = Fe(NO_3)_3 + SO_2 + 7NO_2 + 5H_2O$

$Fe^{+2} - 1e \rightarrow Fe^{+3}$	7	1	HNO_3 (N^{+5}) – окисник;
$S^{-2} - 6e \rightarrow S^{+4}$		1	FeS (Fe^{+2}, S^{-2}) – відновник
$N^{+5} + 1e \rightarrow N^{+4}$		7	

2) $4FeS_2 + 11O_2 = 2Fe_2O_3 + 8SO_2$

$Fe^{+2} - 1e \rightarrow Fe^{+3}$	44	4	FeS_2 (S^{-1}, Fe^{+2}) – відновник;
$2S^{-1} - 10e \rightarrow 2S^{+4}$		4	O_2 – окисник
$O_2^0 + 4e \rightarrow 2O^{-2}$		11	

3) $3S + 2KClO_3 \rightarrow 3SO_2 + 2KCl$

$S^0 - 4e \rightarrow S^{+4}$	12	3	S^0 – відновник;
$Cl^{+5} + 6e \rightarrow Cl^{-1}$		2	$KClO_3$ (Cl^{+5}) – окисник

4) $8HNO_3 + H_2S \rightarrow H_2SO_4 + 8NO_2 + 4H_2O$

$S^{-2} - 8e \rightarrow S^{+6}$	8	1	HNO_3 (N^{+5}) – окисник;
$N^{+5} + 1e \rightarrow N^{+4}$		8	FeS (Fe^{+2} S^{-2}) – відновник

10 клас

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:

$$2Cu(NO_3)_2 \rightarrow 2CuO + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow \quad \textbf{(1)}$$

$$NH_4NO_3 \rightarrow N_2O\uparrow + 2H_2O\uparrow \quad \textbf{(2)}$$

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

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

3) За рівнянням **(1)** знаходимо: $N(Cu(NO_3)_2) = N(CuO) = 0{,}011$моль,

$$m(Cu(NO_3)_2) = 0{,}011\ моль \cdot 187{,}5\ г/моль = 2{,}06\ г.$$

4) Знаходимо склад вихідної суміші: $\omega(Cu(NO_3)_2) = 2{,}06\ г/2{,}5\ г = 0{,}82$;

$$\omega(NH_4NO_3) = 1 - 0{,}82 = 0{,}18$$

5) Приклади використання:

$Cu(NO_3)_2$ – 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 краплинами 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:

А – Cr_2O_3; **Б** - Na_2CrO_4; **В** - $Na_2Cr_2O_7$; **Г** - O_2; **Д** - CrO_3; **Е** - $(NH_4)_2CrO_4$

2) Рівняння реакцій:

$2Cr_2O_3 + 4Na_2CO_3 + 3O_2 \rightarrow 4Na_2CrO_4 + 4CO_2$ **(1)**

$2Na_2CrO_4 + H_2SO_4 \rightarrow Na_2Cr_2O_7 + Na_2SO_4 + H_2O$ **(2)**

$4Na_2Cr_2O_7 \rightarrow 4Na_2CrO_4 + 2Cr_2O_3 + 3O_2$ **(3)**

$Na_2Cr_2O_7 + H_2SO_{4(конц.)} \rightarrow 2CrO_3 + K_2SO_4 + H_2O$ **(4)**

$4\ CrO_3 \rightarrow 2Cr_2O_3 + 3O_2$ **(5)**

$CrO_3 + 2NH_3 + H_2O \rightarrow (NH_4)_2CrO_4$ **(6)**

$2\ (NH_4)_2CrO_4 \rightarrow N_2 + 2NH_3 + Cr_2O_3 + 5\ H_2O$ **(7)**

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

$Cr_2O_3 + HCl \rightarrow CrCl_3 + H_2O$; $Cr_2O_3 + 3H_2O_2 + 4KOH \rightarrow 2K_2CrO_4 + 5H_2O$.

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°С 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

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

або

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

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

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** – Li_3N; **Д –** Li_2CO_3; **Е –** Li_2O; **Ж** — Li_2O_2; **З** – $LiNO_3$

4) Рівняння реакцій:

$2LiH \rightarrow 2Li + H_2\uparrow$ (електроліз) (**1**); $4Li + O_2 \rightarrow 2Li_2O$ (**2**);

$6Li + N_2 \rightarrow 2Li_3N$ (**3**); $Li_2O + CO_2 \rightarrow Li_2CO_3$ (**4**);

$Li_2CO_3 \rightarrow Li_2O + CO_2$ (**5**); $2LiH + H_2O \rightarrow 2LiOH + H_2$ **(6);**

$LiOH + CO_2 \rightarrow Li_2CO_3 + H_2O$ **(7);** $LiOH + H_2O_2 \rightarrow Li_2O_2 + H_2O$ (**8**);

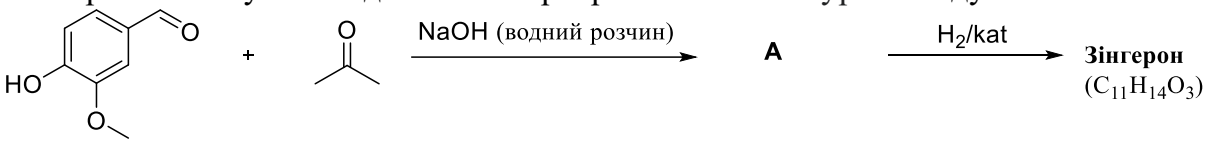
$Li_2O_2 + CO_2 \rightarrow Li_2CO_3 + O_2$ (**9**); $Li_2O + HNO_3 \rightarrow LiNO_3 + H_2O$ (**10**);

$4LiNO_3 \rightarrow 2Li_2O + 4NO_2 + O_2$ (**11**)

Задача 4 (10 *балів*)

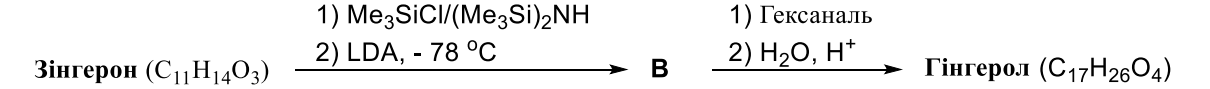
Кореневища імбиру (Zingiber officinale) добре відомі своїми лікувальними та смаковими властивостями. Сьогодні вони широко застосовуються в кулінарії, а в традиційній медицині в Індії різні препарати імбиру використовують для лікування захворювань шлунково-кишкового тракту, застуди та інших недуг. Кілька сполук відповідають за гостроту імбиру. Багато з них є простими заміщеними ароматичними сполуками з різними бічними ланцюгами. Три з них, зінгерон $C_{11}H_{14}O_3$, (+)[6]гінгерол $C_{17}H_{26}O_4$ і шогаол $C_{17}H_{24}O$ 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 $FeCl_3$ 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:



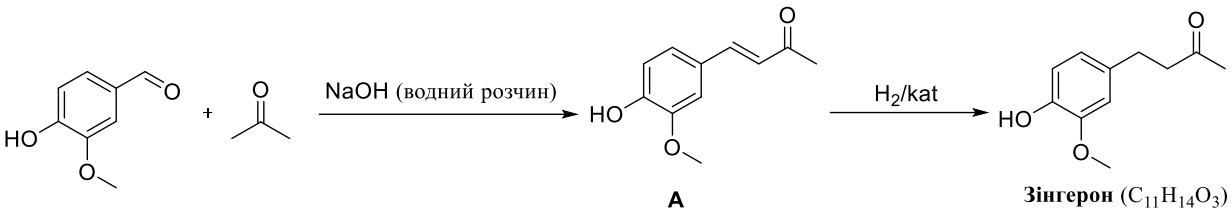
Заповніть схему перетворень, намалюйте структуру **В** та гінгеролу. ***Примітка:*** $Me_3SiCl/(Me_3Si)_2NH$ використовується для перетворення -OH в $-OSiMe_3$; група $-SiMe_3$ може бути видалена кислотним гідролізом. LDA – це діізопропіламід літію, сильна, дуже утруднена, ненуклеофільна основа.

- Гінгерол ($C_{17}H_{26}O_4$) при нагріванні з м'якою кислотою (наприклад, $KHSO_4$) утворює шогаол ($C_{17}H_{24}O_3$). Намалюйте будову шогаолу.

Розв'язок

1) Позитивна реакція зінгерону з $FeCl_3$ вказує на наявність фенольної -OH групи. Позитивна реакція з 2,4-динітрофенілгідразином, але не з реактивом Толленса, вказує на наявність кетогрупи.

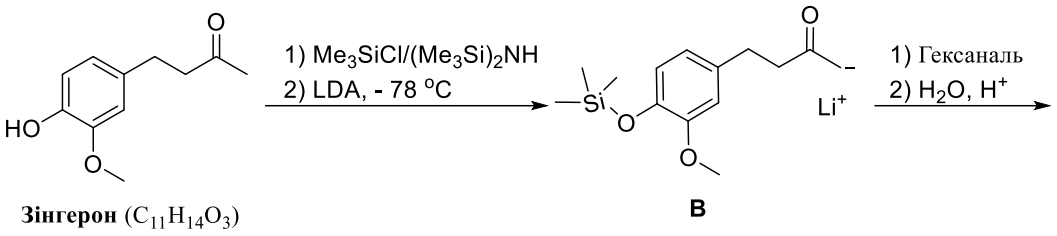
2)



A

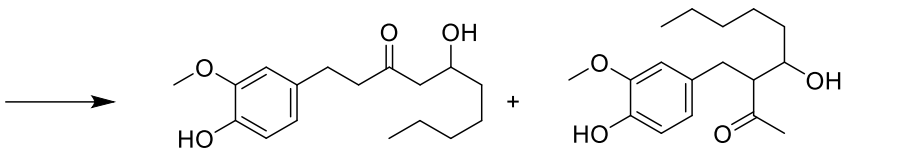
Зінгерон ($C_{11}H_{14}O_3$)

3)



Зінгерон ($C_{11}H_{14}O_3$)

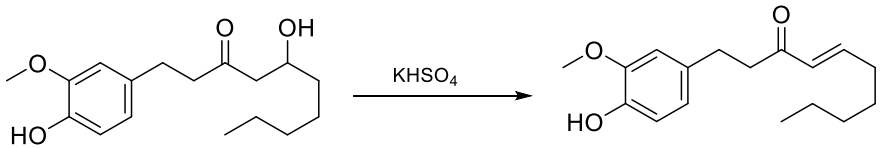
B



Гінгерол ($C_{17}H_{26}O_4$)

Побічний продукт (2-3%) ($C_{17}H_{26}O_4$)

4)

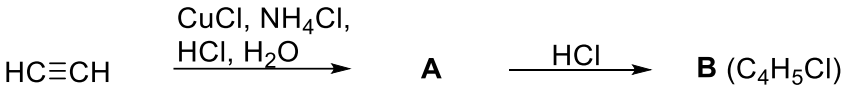


Гінгерол ($C_{17}H_{26}O_4$)

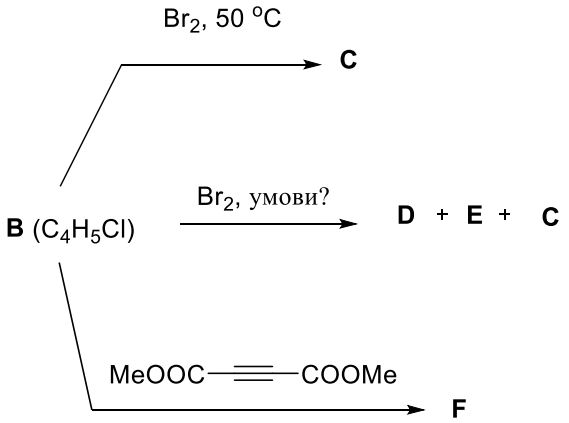
Шогаол ($C_{17}H_{24}O_3$)

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 бромуванні сполуки **B** (C_4H_5Cl) при 50°C, утворюється продукт **C**, що не містить хіральних атомів карбону, але якому властива *цис/ транс*- (*Z*/*E*-) ізомерія. Взаємодія сполуки **B** з диметиловим естером ацетилендикарбонової кислоти призводить до утворення сполуки **F**, якій не властива ні R/S, ні цис-/транс- ізомерія (див. схеми ⇑⇑ та ⇒)



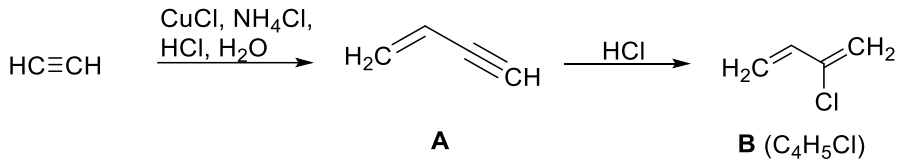
- Заповніть схеми перетворень, вкажіть структурні формули сполук **A**–**F**.
- За яких умов утворюватимуться продукти **D** та **E**, що містять один хіральний атом карбону?
- Для сполуки **C** зобразіть її *цис/транс*- (*Z*/*E*-) ізомери, а для сполук **D** та **E** їх R/S ізомери.

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

10 клас

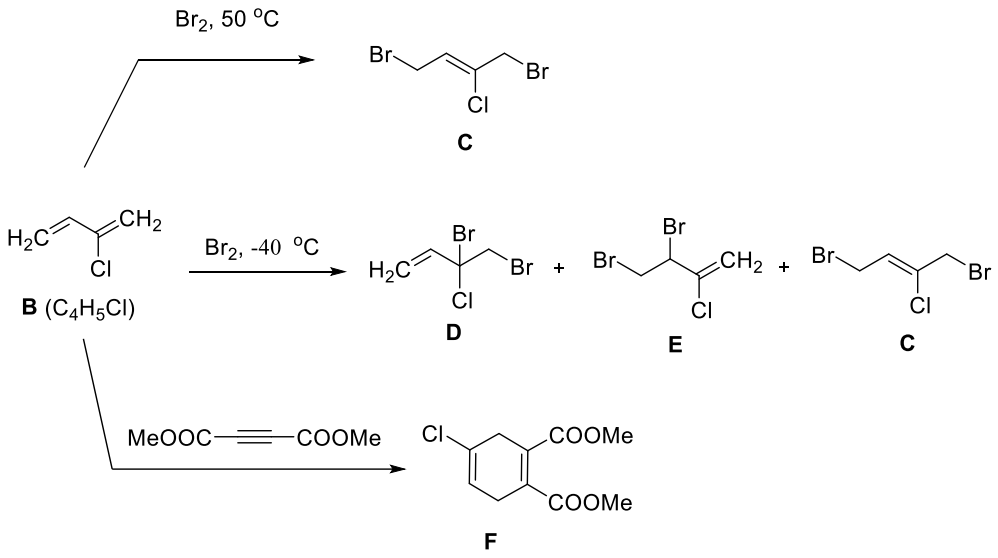
Розв'язок

1)



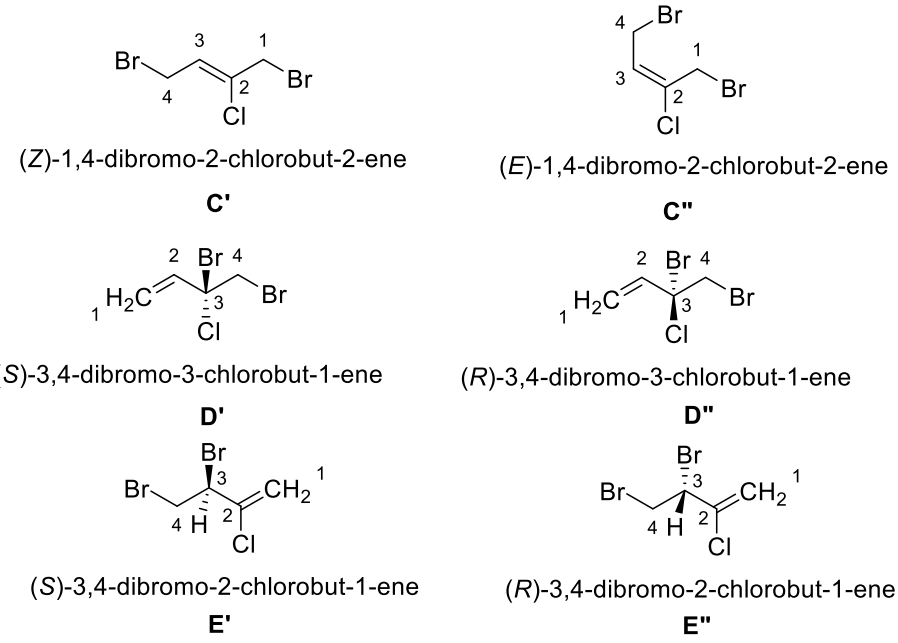
A **B** (C_4H_5Cl)

2)



B (C_4H_5Cl) **C** **D** **E** **C** **F**

3)



(*Z*)-1,4-dibromo-2-chlorobut-2-ene **C'**

(*E*)-1,4-dibromo-2-chlorobut-2-ene **C"**

(*S*)-3,4-dibromo-3-chlorobut-1-ene **D'**

(*R*)-3,4-dibromo-3-chlorobut-1-ene **D"**

(*S*)-3,4-dibromo-2-chlorobut-1-ene **E'**

(*R*)-3,4-dibromo-2-chlorobut-1-ene **E"**

Задача 6 (10 *балів*)

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

- Зобразіть структурні формули всіх можливих продуктів монобромування 2-метилбутану.
- Розрахуйте їх вміст у суміші продуктів моно бромування, якщо швидкості заміщення атомів гідрогену на атоми брому 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 монобромування*)

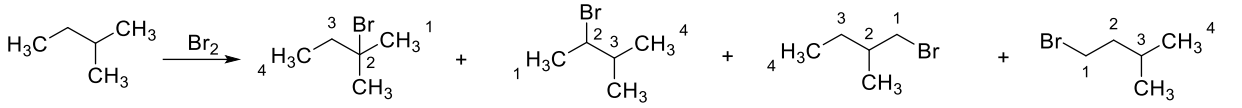
LXII Обласна олімпіада юних хіміків (м. Львів, 17–18 лютого 2024 р.)

10 клас

- Вкажіть основний продукт монобромування 2-метилбутану та зобразіть його найбільш і найменш стійкі конформації.

- Напишіть механізм реакції бромування 2-метилбутану на прикладі утворення основного продукту реакції монобромування.

Розв'язок

1) 

89.68% 8.97% 0.90% 0.45%

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

для первинних атомів водню 1·9 = 9; для вторинних атомів водню 30·2 = 60;

для первинних атомів водню 600·1 = 600.

2) Для розрахунку відсоткового складу суміші складаємо пропорції:

а) 669(Це сума 9+60+600) : 100%

9 : x %

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

б) 669 : 100%

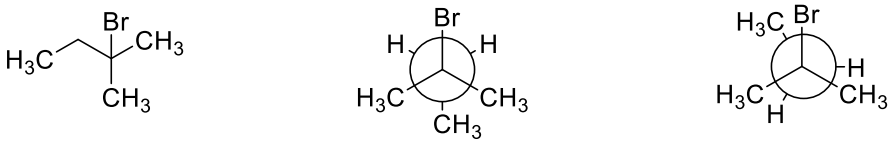
60 : x %

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

в) 669 : 100%

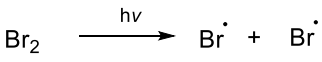
600 : x %

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

3) 

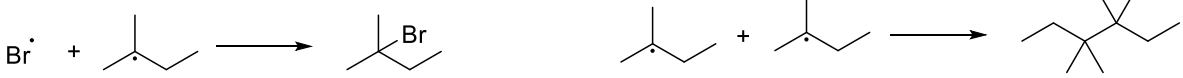
Основний продукт реакції | Найстійкіша конформація | Найменш стійка конформація

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) CH_2=CH–CN (стандартні температури замерзання та кипіння –82 та 78,5°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 Bayer AG 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 *кДж·моль*$^{-1}$, відповідно; 2) ентальпії утворення ціановодню (синильної кислоти) та ацетилену дорівнюють 129,70 та 226,73 *кДж·моль*$^{-1}$; 3) теплота випаровування акрилонітрилу становить 32,84 *кДж·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:

$$CH_2=CH-CN+\frac{15}{2}O_2=3CO_2+\frac{1}{2}N_2+\frac{3}{2}H_2O.$$

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:

$$CH_2=CH-CN(liq)+\frac{15}{2}O_2(g)=3CO_2(g)+\frac{1}{2}N_2(g)+\frac{3}{2}H_2O(liq); \quad \textbf{(1)}$$

$$\Delta_rH_1 = -1760{,}71\ кДж\cdot моль^{-1}.$$

Інші процеси:

$$C(графіт)+O_2(g)=CO_2(g);\ \Delta_rH_2=\Delta_fH(CO_2,\ g)=-393{,}51\ кДж\cdot моль^{-1} \quad \textbf{(2)}$$

$$H_2(g)+\frac{1}{2}O_2(g)=H_2O(liq);\ \Delta_rH_3=\Delta_fH(H_2O,\ liq)=-285{,}85\ кДж\cdot моль^{-1} \quad \textbf{(3)}$$

$$\frac{1}{2}H_2(g)+C(графіт)+\frac{1}{2}N_2(g)=HCN(g);\ \Delta_rH_4=\Delta_fH(HCN,\ g)=129{,}70\ кДж\cdot моль^{-1}; \quad \textbf{(4)}$$

$$H_2(g)+2C(графіт)\rightarrow CH\equiv CH(g);\ \Delta_rH_5=\Delta_fH(CH{\equiv}CH,\ g)=226{,}73\ кДж\cdot моль^{-1}; \quad \textbf{(5)}$$

$$CH_2=CH-CN(liq) \quad CH_2=CH-CN(g);$$

$$\Delta_rH_6=\Delta_vH(CH_2{=}CH{-}CN)=32{,}84\ кДж\cdot моль^{-1} \quad \textbf{(6)}$$

$$CH\equiv CH(g)+HCN(g)\rightarrow CH_2=CH-CN(g);\ \Delta_rH_7=\mathbf{x}\ кДж\cdot моль^{-1}. \quad \textbf{(7)}$$

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

$$\Delta_rH_1=3\Delta_fH(CO_2,\ g)+\frac{1}{2}\Delta_fH(N_2,\ g)+\frac{3}{2}\Delta_fH(H_2O,\ liq)-$$

$$-(\Delta_fH(CH_2{=}CH{-}CN,\ liq)+\frac{15}{2}\Delta_fH(O_2,\ g));$$

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

10 клас

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

$$\Delta_f H(CH_2{=}CH{-}CN,\ liq) = 3\Delta_f H(CO_2,\ g) + \frac{3}{2}\Delta_f H(H_2O,\ liq) - \Delta_r H_1 =$$

$$= 3(-393{,}51) + \frac{3}{2}(-285{,}85) - (-1760{,}71) = -1180{,}53 - 428{,}775 + 1760{,}71 =$$

$$= 151{,}405\ (кДж \cdot моль^{-1}).$$

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

$$\Delta_v H(CH_2{=}CH{-}CN) = \Delta_f H(CH_2{=}CH{-}CN,\ g) - \Delta_f H(CH_2{=}CH{-}CN,\ liq);$$

$$\Delta_f H(CH_2{=}CH{-}CN,\ g) = \Delta_v H(CH_2{=}CH{-}CN) + \Delta_f H(CH_2{=}CH{-}CN,\ liq) =$$

$$= 32{,}84 + 151{,}405 = 184{,}245\ (кДж \cdot моль^{-1})$$

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

$$\mathbf{x} = \Delta_r H_7 = \Delta_f H(CH_2{=}CH{-}CN,\ g) - (\Delta_f H(CH{\equiv}CH,\ g) + \Delta_f H(HCN,\ g)) =$$

$$= 184{,}245 - (226{,}73 + 129{,}70) = \mathbf{-172{,}185}\ (кДж \cdot моль^{-1}).$$

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:

$Zn + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2\uparrow$ **(1)**; $ZnO + H_2SO_4 = ZnSO_4 + H_2O$ **(2)**

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 обчислуємо за співвідношенням

$$\omega(ZnSO_4) = \frac{m(ZnSO_4)}{m(р-ну H_2SO_4) + m(Zn) + m(ZnO) - m(H_2)} = \frac{161,5}{x + 49,05 + 20,35 - 1,5} \quad \textbf{(3)}$$

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 розчини становить:

$$\omega(H_2SO_4) = \frac{m(H_2SO_4)}{m(р-ну H_2SO_4)} = \frac{98}{2456,2} \approx 0,04\text{, або } 4\ \%$$

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

$ZnSO_4 + Na_2CO_3 = ZnCO_3\downarrow + Na_2SO_4$; $ZnSO_4 + 2NaOH = Zn(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$;

$ZnSO_4 + 2NaHCO_3 = ZnCO_3\downarrow + Na_2SO_4 + H_2O$.

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 речовин **Б** та розчину з якого випадає осад барій сульфату. Також можливий варіант, що **А** − карбід, оскільки розчиняється в нітратній кислоті з утворенням іншої бінарної речовин **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 сульфіду 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:

$Sb_2S_3 + 28HNO_3$ (конц) $= Sb_2O_5\downarrow + 3H_2SO_4 + 28NO_2\uparrow + 11H_2O$ **1**

$H_2SO_4 + Ba^{2+} = BaSO_4 + 2H^+$ **2**

$Sb_2O_5 + 12HCl$ (конц) $= 2HSbCl_6 + 5H_2O$ **3**

$Sb_2O_5 + 5H_2 = 2Sb + 5H_2O$ **4**

$2Sb + 4Cl_2 = SbCl_3 + SbCl_5$ **5**

$2SbCl_3 + 4HNO_3 + H_2O = Sb_2O_5 + 4NO_2 + 6HCl$ **6**

$SbCl_5 + 5HF = SbF_5 + 5HCl$ **7**

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 ≈ 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 Х), 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:

А – Fe , **Б** – KNO_3, **В** – $BaFeO_4 \cdot H_2O$, **Г** – $FeCl_3$, **Д** – Cl_2, **Е** – BaO, **Ж** – Fe_2O_3, **З** – O_2.

4) Рівняння відповідних реакцій:

$Fe + 3KNO_3 + 2KOH \rightarrow K_2FeO_4 + 3KNO_2 + H_2O$ **1**

$K_2FeO_4 + BaCl_2 + H_2O \rightarrow BaFeO_4 \cdot H_2O + 2KCl$ **2**

$2BaFeO_4 \cdot 2H_2O + 16HCl \rightarrow 2BaCl_2 + 2FeCl_3 + 3Cl_2 + 12H_2O$ **3**

$4BaFeO_4 \cdot H_2O \rightarrow 4BaO + 2Fe_2O_3 + 4H_2O + 3O_2$ **4**

$4BaFeO_4 \cdot H_2O + 10H_2SO_4 \rightarrow 2Fe_2(SO_4)_3 + 3O_2 + 14H_2O + 4BaSO_4$ **5**

$2KNO_3 \rightarrow 2KNO_2 + O_2$ **6**

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

Окрім того відомо, що взаємодія вуглеводню **А** 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 **А** вступає в реакцію з етилакрилатом утворюючи сполуки **D** та **Е**.

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

Розв’язок

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

$M(C_nH_{2n}) = M(Ar) \cdot D = 40 \cdot 1.65 = 66$ г/моль;

2) Обчислюємо кількість спаленого вуглеводню: $\vartheta_{C_nH_{2n}} = \frac{m}{M} = \frac{33}{66} = 0.5$ моль

11 клас

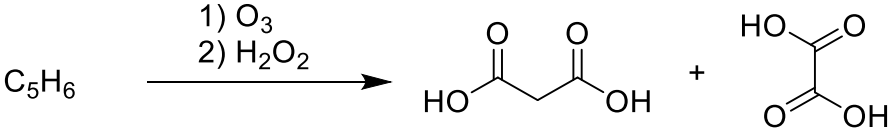
3) Обчислюєм кількість C і H у продуктах горіння ($C_nH_{2n} + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O$):

$$\vartheta_{CO_2} = \vartheta_C = \frac{V}{V_M} = \frac{56}{22.4} = 2.5 \text{ моль} \qquad \vartheta_{H_2O} = \frac{1}{2}\vartheta_H = \frac{m}{M} = \frac{27}{18} = 1.5 \text{ моль}$$

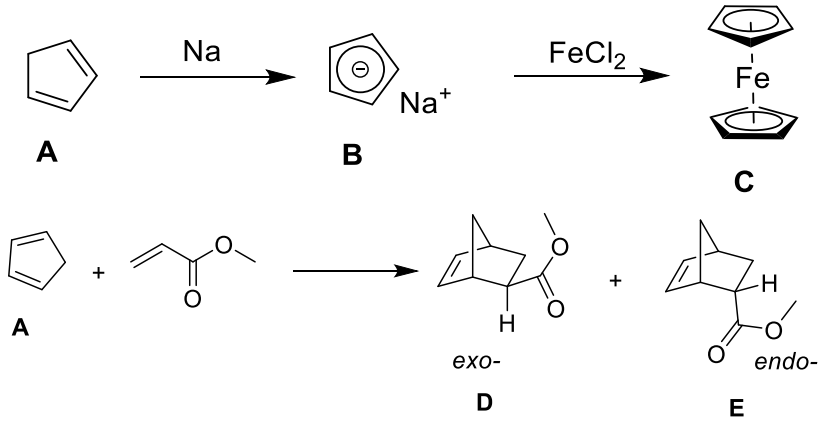
$$\vartheta_{CO_2} : \vartheta_{H_2O} = 2.5 : 3 = 5 : 6$$

Тож брутто-формула вуглеводню C_5H_6

4)



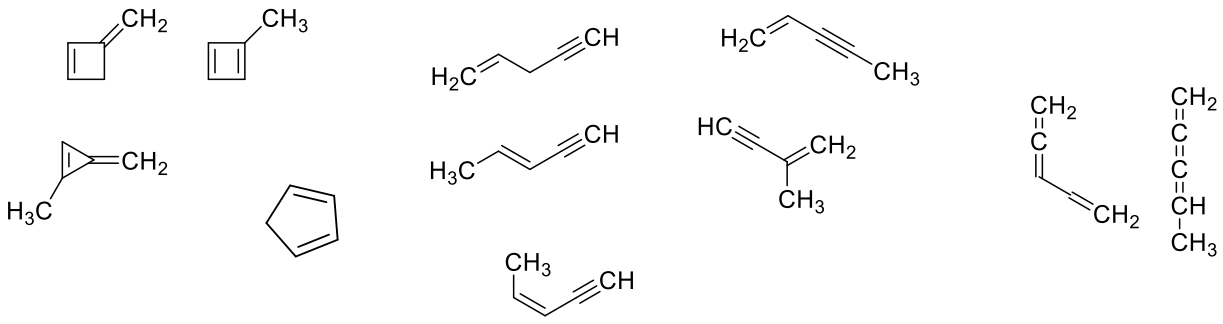
5) Аналізуючи механізм та продукти реакції озонолізу (карбоксильні групи утворюються на місці подвійних зв'язків), можна дійти висновку, що невідомий вуглеводень це циклопентадієн. Тоді описані перетворення:



6) Циклопентадієніл-аніон задовольняє критерії Правила 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 A:



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°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 бромування та гідрування утворюються однакові кількості насичених сполук, їх можна записати загальними формулами $\mathbf{C_nH_{2n+2-x}Br_x}$ та $\mathbf{C_nH_{2n+2}}$. Співвідношення їх молекулярних мас має вигляд

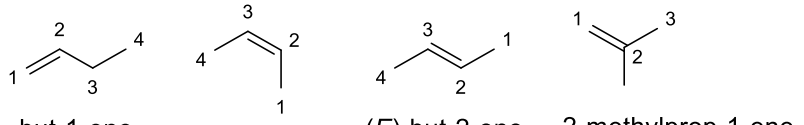
$$\frac{12n + 2n + 2 - x + 80x}{12n + 2n + 2} = 3.724,$$

звідки n = 2.07x – 0.14.

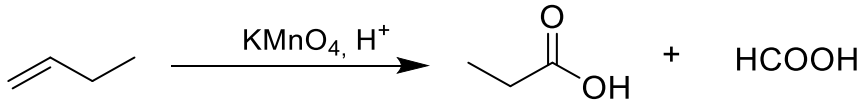
2) Якщо x=2 (приєднання молекули Br_2), то n=4. Формули продуктів бромування та гідрування $\mathbf{C_4H_8Br_2}$ та $\mathbf{C_4H_{10}}$, формула вихідного вуглеводню – $\mathbf{C_4H_8}$.

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

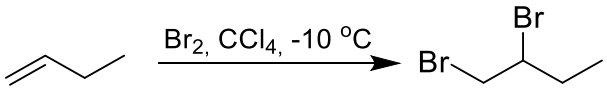
3) Нециклічні ізомери $\mathbf{C_4H_8}$:

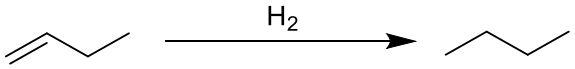


4) Зважаючи на те, що при взаємодії з $KMnO_4$ утворюється пропанова кислота, то невідомою сполукою є бут-1-ен:

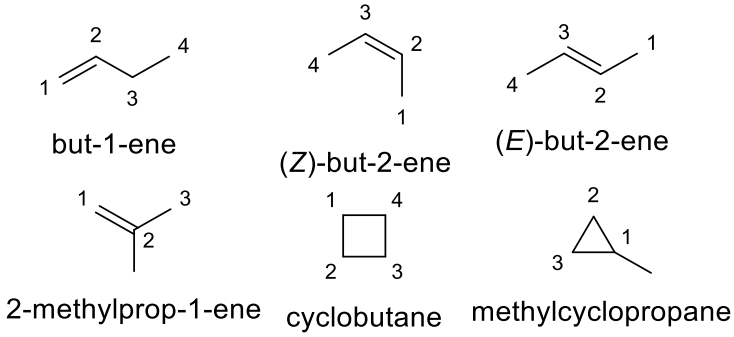


Схеми реакцій бромування та гідрування:



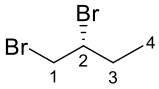


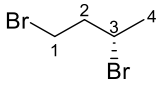
5) Усі можливі ізомери $\mathbf{C_4H_8}$:

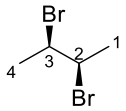


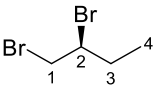
11 клас

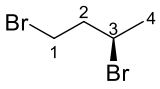
6) Ізомери **$C_4H_8Br_2$**:

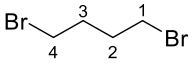

(*R*)-1,2-dibromobutane

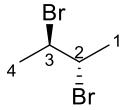

(*S*)-1,3-dibromobutane

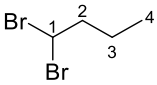

(2*R*,3*R*)-2,3-dibromobutane

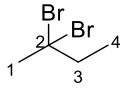

(*S*)-1,2-dibromobutane

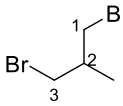

(*R*)-1,3-dibromobutane

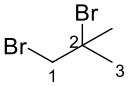

1,4-dibromobutane

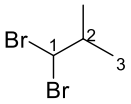

(2*R*,3*S*)-2,3-dibromobutane

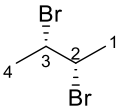

1,1-dibromobutane


2,2-dibromobutane

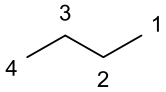

1,3-dibromo-2-methylpropane


1,2-dibromo-2-methylpropane


1,1-dibromo-2-methylpropane

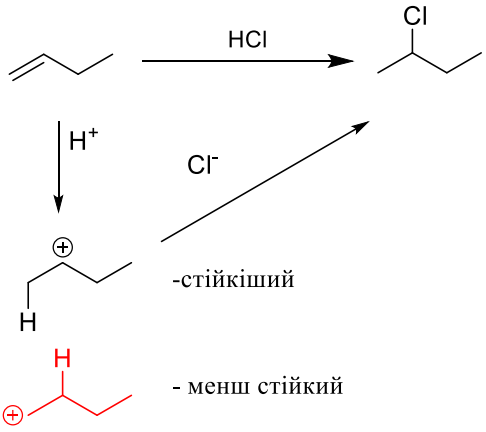

(2*S*,3*S*)-2,3-dibromobutane

7) Ізомери **C_4H_{10}:**


butane

isobutane

8)



Регіоселективність цієї реакції визначається правилом Марковникова; 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 карбокатіонного інтермедіату.

Задача 6 (10 *балів*)

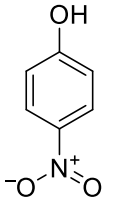
Сполуку **A** можна добути нітруванням фенолу за відповідних умов. Сполука **A** - жовтувата кристалічна речовина, що містить менше 40% карбону за масою. Сполука **A** частково розчинна у воді. У розчині вона поводиться як кислота, і є сильніша за фенол. Для титрування розчину 229 мг зразка **A** потрібно 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 сульфіду натрію при нагріванні.

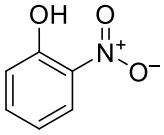
11 клас

Розв'язок

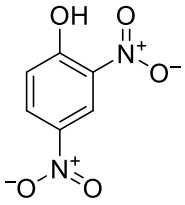
1) Оскільки сполуку **A** отримують нітруванням фенолу, то це може бути *орто*-нітрофенол, *пара*-нітрофенол, 2,4-динітрофенол чи 2,4,6-тринітрофенол (оскільки ОН-група є орієнтантом першого роду). Вміст карбону за масою в цих сполуках:



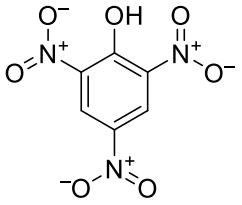
ω(C) = 0.5180



ω(C) = 0.5180



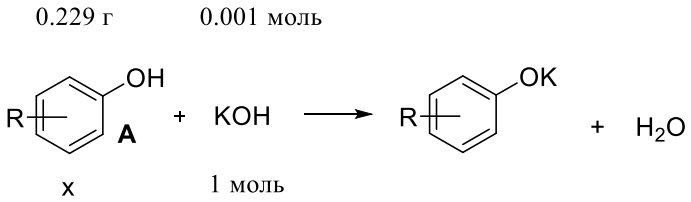
ω(C) = 0.3913



ω(C) = 0.3144

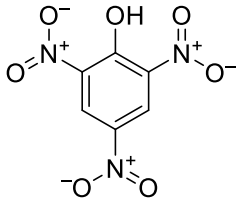
Таким чином *орто*-нітрофенол і *пара*-нітрофенол не задовольняють умову про вміст карбону за масою менше 40%.

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(KOH) = 0,01952·0,05124 = 0,001 моль. Отже, склавши рівняння реакції ми можемо вирахувати молярну масу речовини **A**:



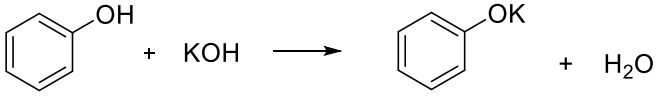
x = 0,229 г × 1 моль / 0,001 моль = 229 г; M_r (**A**) = 229

3) Отже, сполука **A** має формулу $C_6H_3N_3O_7$ та структуру:

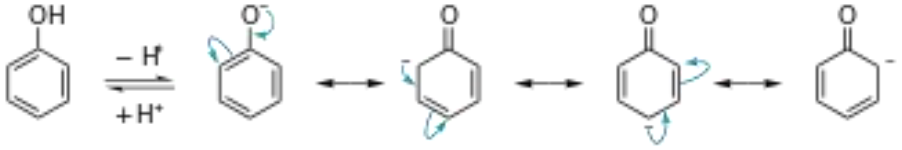


Назва за IUPAC – 2,4,6-тринітрофенол, тривіальна назва – пікринова кислота.

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:

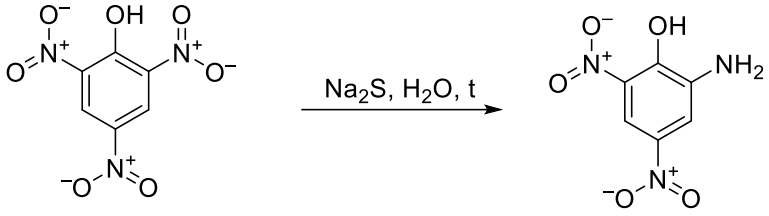


У випадку пікринової кислоти наявність трьох нітрогруп, які є сильними акцепторами електронів, призводить до поляризації зв'язку ОН, а отже збільшує рухливість протона і збільшує кислотність. Окрім того ці три нітрогрупи беруть участь в де локалізації електронів у пікрат-аніоні.

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:

$H_2 + Cl_2 \rightleftarrows 2HCl$; $K_{p,1} = 4{,}08\cdot10^{11}$ **(1)** $H_2 + Br_2 \rightleftarrows 2HBr$; $K_{p,2} = 7{,}94\cdot10^{6}$ **(2)**

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

$$HBr + \frac{1}{2}Cl_2 \rightleftarrows HCl + \frac{1}{2}Br_2 \qquad \textbf{(3)}$$

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 брому додати 1000 моль бромоводню? Підтвердьте свій висновок розрахунками.
- Яку кількість бромоводню необхідно додати до згаданої еквімолярної суміші водню і брому, щоб змінити напрямок процесу?
- Розрахуйте рівноважний (після усталення рівноваги) у реакторі, склад реакційної суміші, яка початково містила 1 моль водню, 1 моль брому та 1000 моль HBr.

Розв'язок

1) $$K_{p,3} = \left[\frac{p(HCl)\sqrt{p(Br_2)}}{p(HBr)\sqrt{p(Cl_2)}}\right]_{\text{рівноважні}}$$

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

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

Тож згідно з законом Гесса можемо записати:

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

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

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

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

$$K_{p,3} = \sqrt{\frac{K_{p,1}}{K_{p,2}}} = \sqrt{\frac{4{,}08\times10^{11}}{7{,}94\times10^{6}}} = 2{,}27\times10^{2}$$

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

$$K_{p,2} = \left[\frac{p^2(HBr)}{p(H_2)p(Br_2)} \right]_{\text{рівноважні}} \qquad \textbf{(4)}$$

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

$$\Delta G_2^o = RT \ln \frac{p^2(HBr)}{p(H_2)p(Br_2)} - RT \ln K_{p,2}.$$

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:

$$\Delta G_2^o = RT \ln \frac{n^2(HBr)}{n(H_2)n(Br_2)} - RT \ln K_{p,2} = RT \ln \frac{n^2(HBr)}{n(H_2)n(Br_2)K_{p,2}} =$$

$$= 8{,}314 \cdot 900 \cdot \ln \frac{1000^2}{1 \cdot 1 \cdot 7{,}94 \cdot 10^6} = -15{,}503 \text{ Дж}.$$

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

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

$$\Delta G_2^o = RT \ln \frac{n^2(HBr)}{n(H_2)n(Br_2)K_{p,2}} > 0; \qquad 8{,}314 \cdot 900 \cdot \ln \frac{x^2}{1 \cdot 1 \cdot 7{,}94 \cdot 10^6} > 0;$$

$$\ln \frac{x^2}{1 \cdot 1 \cdot 7{,}94 \cdot 10^6} > 0; \qquad \frac{x^2}{1 \cdot 1 \cdot 7{,}94 \cdot 10^6} > 1; \qquad x^2 > 7{,}94 \cdot 10^6; \qquad x > 2817{,}8.$$

тобто коли до суміші 1 моля водню і 1 молю брому 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):**

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

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

Отже, у рівноважній суміші міститиметься 1000 + 2·0,645 = **1001,29 моль** бромоводню та по 1 –0,645 = **0,355 моль** водню та брому.