

Харківська обласна хімічна олімпіада 2016 р.

11 клас

1. Снаряд та броня. Метал **Z**, окрім його широкого застосування в енергетиці, використовується у сердечниках бронебійних снарядів і для створення броні. Сердечник певного авіаційного снаряда важить 272 г. Для аналізу була взята проба масою 5 г і подрібнена в порошок. Цей порошок обробили гарячою дистильованою водою і спостерігали виділення найлегшого газу **A** й утворення коричневого пірофорного оксиду **B**. Отриманий оксид обробили фтороводневою кислотою, при цьому утворилася речовина **B**. З речовини **B** при дії надлишку фтору було отримано 7.025 г сполуки **Г**. Відомо, що в оксиді **B** $n(O) : n(Z) = 2 : 1$.

1. Визначте речовини **A–Г** і метал **Z**, якщо в 6.75 г оксиду **B** міститься 4.515×10^{22} атомів. Напишіть рівняння згаданих реакцій.

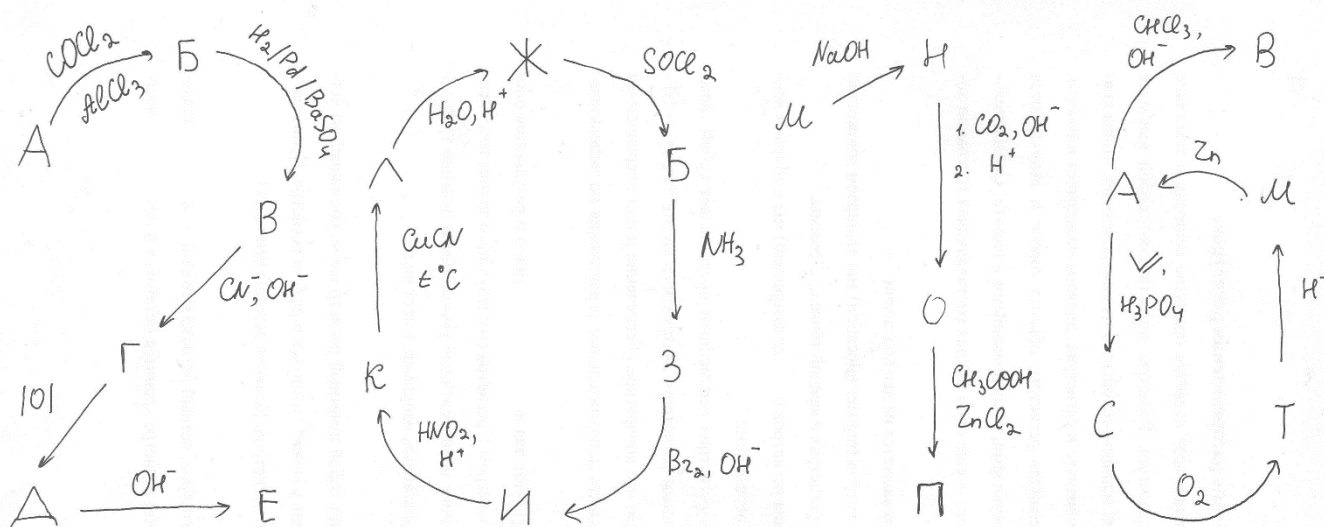
2. У промисловості (в процесі отримання найбільш чистого **Z**) оксид **B** обробляють концентрованою азотною кислотою. При цьому утворюється сіль **Д** ($w(O) = 32.48\%$) і бурий газ **Е**. Визначте **Д** і **Е**, запишіть рівняння реакції.

3. Розрахуйте масу і масову частку **Z** в сердечнику снаряда.

4. Речовину **Г** було піддано центрифугуванню. При цьому були виділені слідові кількості речовини **Г1** з молярною масою на 3 г / моль менше, ніж у **Г**. Визначте **Г1**. У яких процесах застосовують атоми елемента, який має найбільшу масову частку у складі **Г1**?

5. Як можна отримати **Z** з **Г**? Наведіть рівняння реакцій.

2. 2016. Студентка **Є** – справжня бешкетниця. Ось яку задачу вона вигадала, щоб перевірити професійні здібності свого викладача:



Трохи згодом вона сформулювала питання, включивши в них деякі уточнення.

- Розшифруйте ланцюжки перетворень, наведіть структурні формули речовин, якщо відомо, що:
 - речовина **A** дає у ПМР-спектрі 1 сигнал та має молярну масу 78 г/моль, а при її окисленні озоном можна отримати етан-1,2-діаль;
 - речовина **Е** – гідроксикислота, а перетворення **Д**→**Е** є аніонним перегрупуванням;
 - речовину **Ж** можна отримати як гідролізом речовини **B**, так і окисленням речовини **B**;
 - речовина **И** – органічна основа, слабкіша за аміак;
 - речовина **К** при нагріванні у воді виділяє безбарвний газ з і перетворюється на речовину **М**, яку раніше називали карболовою кислотою;
 - речовина **О** утворює внутрішньомолекулярний водневий зв'язок;
 - речовина **П** виробляється в промислових масштабах під назвою «ацетилсаліцилова кислота»;
 - речовина **Т** вибухонебезпечна, а при її кислотному розщепленні, окрім **М**, утворюється ацетон.
- Що означає символ $|O|$ біля стрілки **Г**→**Д**? Які реагенти можна застосувати для цього перетворення?

3. Їдкий гідроксид. У тридесятому королівстві придворний хімік Людвіг використовував для своїх дослідів особливий луг **X**. Гідроксиди натрію і калію у королівстві був у дефіциті, проте оксиду **Y**, з якого можна легко отримати **X**, було дуже багато. Людвіг дістав мішок з **Y**, взяв звідти наважку цієї речовини масою 1.00 г, розчинив її у воді та довів розчин **X** до 50.0 мл. На титрування 10.0 мл розчину HCl з невідомою концентрацією пішло 17.50 мл розчину **X**. На титрування 10.0 мл того ж розчину HCl пішло 12.25 мл розчину AgNO_3 з концентрацією 0.1346 моль/л.

1. За допомогою розрахунків визначте, який луг **X** використовував Людвіг.
2. Наведіть рівняння всіх реакцій, які відбуваються.
3. Які речовини міг використовувати придворний хімік при наведених титруваннях в якості індикаторів?
4. Чому Людвіг міг бути лисим?

4. рН. Розрахунок рівноважного складу багатокомпонентної системи – складна та нетривіальна задача. Зазвичай для її вирішення застосовують комп'ютерні методи. Проте якщо дослідника цікавить вміст лише окремих форм або значення параметрів (зазвичай це – кислотність середовища, рН), то це завдання перестає бути таким складним. Для таких розрахунків використовують деякі припущення. Наприклад, якщо кислота диссоціює з виділенням декількох протонів, логарифми констант відщеплення яких змінюються більше, ніж на 4, то при розрахунках рН можна знехтувати останніми стадіями – вони не внесуть значний вклад у значення рН.

1. Розрахуйте рН розчину фосфатної кислоти з концентрацією 0.05 моль/л.
2. Розрахуйте концентрацію гідрофосфат-аніону в цьому розчині.
3. Розрахуйте рН у суміші фосфатної та хлоридної кислот з концентраціями 0.01 моль/л, приймаючи, що остання є сильною кислотою.
4. Розрахуйте вміст сульфат-аніонів та рН в суміші хлоридної та сульфатної кислот з концентраціями 0.02 моль/л, якщо по першій ступені H_2SO_4 сильна кислота.

Допоміжна інформація: $\lg(K_{a1}(\text{H}_3\text{PO}_4)) = - .148$; $\lg(K_{a2}(\text{H}_3\text{PO}_4)) = - .198$; $\lg(K_{a3}(\text{H}_3\text{PO}_4)) = - 2,319$; $\lg(K_{a2}(\text{H}_2\text{SO}_4)) = - .990$; $\text{pH} = - \lg[H^+]$.

5. Речовини. У лабораторії є такі речовини: пропан, нонан, нонін-1, метанол, деканол-1, 20%-ний розчин формальдегіду у воді, оцтова кислота, пропанова кислота, пропенова кислота, хлорид натрію, сульфат кальцію, вода, пропен, ацетат натрію, бром.

1. Наведіть формули вказаних речовин.
2. Використовуючи будь-які методи, відомі Вам (фізичні властивості, розчинність, агрегатний стан, колір, хімічні реакції та спектральні дані), розрізніть вказані речовини між собою найкоротшим шляхом. У разі використання хімічних реакцій наведіть їх.

6. Щоякнайпростіше. У старших класах учень часто забуває найпростіші розрахунки, і від елементарної задачі очікує якої-небудь зради. Перевіримо вашу пам'ять та уважність!

1. Розрахуйте, зразок якої речовини містить більше атомів кисню: а) 10 г $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ чи 20 г Fe_3O_4 ; б) 2.24 л кисню (н. у.) чи 2.24 л озону (н. у.); в) 1 моль діоксиду сірки чи 0.8 моль триоксиду сірки?
2. Розрахуйте масу продуктів реакції, які утворюються при взаємодії 10 г KOH та 10 г HCl .
3. Визначте об'єм вуглекислого газу (н. у.), який утворився при спалюванні на повітрі 1 л бензолу (густина 0.88 г/мл), якщо вихід реакції складає 73%.

7. Завдання експериментального туру. Досить широко вживані органічні розчинники **A**, **B**, **C** – гомологи. Вони усі реагують з металічним натрієм, причому в усіх випадках виділяється газ **D**, а активність реакції зменшується від **A** до **C**. Поверхня розжареної мідної дротини (речовина **E**) стає червоною лише при реакції з **A** та **B**. Суміш $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ та H_2SO_4 не змінює свій колір при нагріванні з речовиною **C** та стає зеленою при реакції як з **A**, так і з **B**. Продуктами окислення речовин **A** та **B** є, відповідно, сполуки **F** та **G**, і лише **F** реагує з $\text{Cu}(\text{OH})_2$, утворюючи органічну речовину **H**.

Визначте усі речовини, наведіть схеми усіх згаданих реакцій, поясніть зміни кольору, які відбуваються, якщо молярні маси органічних речовин, про які йдеться, не більші за 80 г/моль та не менші, ніж 35 г/моль.

Розв'язки-11

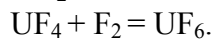
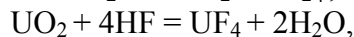
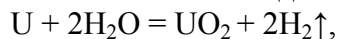
1. Снаряд та броня. 1. Розрахуємо молярну масу оксиду, а з неї знайдемо значення молярної маси металу: $n(\text{Z}) + n(\text{O}) = 4.515 \times 10^{22}$, $n(\text{O}) : n(\text{Z}) = 2:1$, $n(\text{O}) : n(\text{Z}) = 2:1$.

$$n(\text{Z}) = 4.515 \times 10^{22} : 3 = 1.505 \times 10^{22}. n(\text{Z}) = n(\text{Б}) = 1.505 \times 10^{22} : N_a = 0.025 \text{ моль. } M(\text{Б}) = 270 \text{ г/моль.}$$

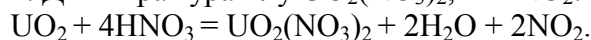
Враховуючи формулу оксиду (ZO_2), знаходимо молярну масу метала:

$$M(\text{Z}) = 270 - 2M(\text{O}) = 238 \text{ (г/моль). Металл } \mathbf{Z} - \text{U (уран).}$$

Найлегший газ – водень. **А** – H_2 , **Б** – UO_2 , **В** – UF_4 , **Г** – UF_6 .



2. **Д** – нітрат уранілу $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2$, **Е** – NO_2 .

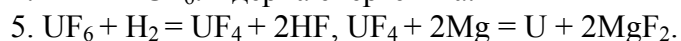


3. $n(\text{U}) = n(\text{UF}_6)$, $n(\text{UF}_6) = m(\text{UF}_6) : M(\text{UF}_6) = 7.025 : 352 = 0.02$ (моль),

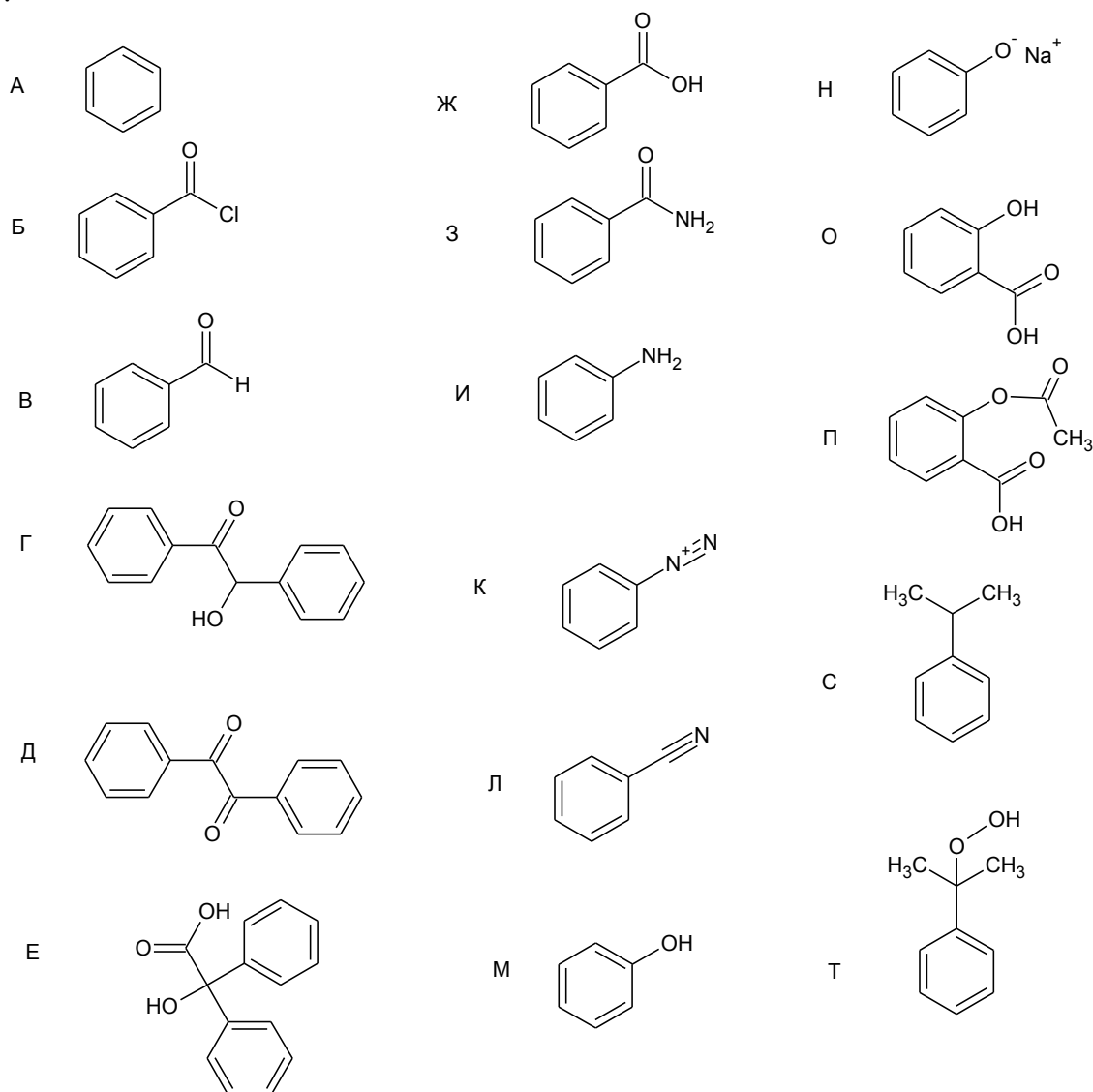
$m(\text{U}) = 0.02 \times 238 = 4.76$ (г) (у зразку масою 5г).

$\omega(\text{U}) = 4.76 : 5 \times 100\% = 95.2\%$, $m(\text{U}) = 259$ г (у сердечнику снаряду).

4. **Г1** – $^{235}\text{UF}_6$. Ядерна енергетика.



2. 2016. 1.



2. Окислення – CrO_3 , HNO_3 , $\text{KMnO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4$.

3. Ідкий гідроксид. 1, 2. $\text{HCl} + \text{AgNO}_3 = \text{AgCl}\downarrow + \text{HNO}_3$.

$$n(\text{AgNO}_3) = c \times V = 0.1346 \times 0.01225 = 1.649 \times 10^{-3} \text{ моль} = n(\text{HCl}) = n(X),$$

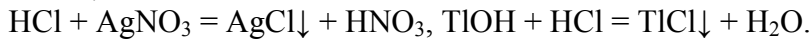
$$n(\text{OH}^-) = (50/17.5) \times n(\text{HCl}) = 4.71 \times 10^{-3} \text{ моль}.$$

Якщо M – еквівалент металу X , гідроксид еквіваленту – MOH , а оксид еквіваленту – M_2O , то:

$$M_2O + H_2O \rightarrow 2\text{MOH}, n(M_2O) = n(\text{OH}^-)/2 = 2.355 \times 10^{-3} \text{ моль}. \text{ Тоді}$$

$$M(M_2O) = 1 / 2.355 \times 10^{-3} \text{ г/моль} = 424.62 \text{ г/моль}, M \equiv \text{Tl} \text{ (інші варіанти не підходять)}.$$

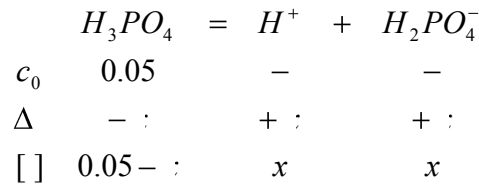
X – Tl, Y – TlOH.



3. При титруванні з AgNO_3 використовуються адсорбційні індикатори (наприклад, K_2CrO_4). При титруванні кислоти лугом індикатором може бути фенолфталеїн.

4. а) Від природи; б) від постійної роботи із солями талію.

4. рН. 1. $\lg K_{a1} - \frac{1}{2} \lg K_{a2} = 1.05 > \frac{1}{2}$, тому нехтуємо дисоціацією за другим ступенем.



$$K_{a1} = \frac{[H^+][H_2PO_4^-]}{[H_3PO_4]} = 10^{-1.48} = 7.11 \cdot 10^{-2}$$

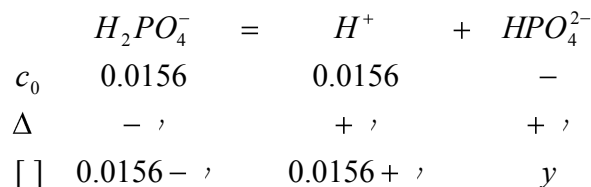
$$[H^+] = [H_2PO_4^-] = x, [H_3PO_4] = 0.05 - x$$

$$x^2 + 7.11 \cdot 10^{-2} x - 0.05 \cdot 7.11 \cdot 10^{-2} = 0$$

$$x = 0.0156 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

$$pH = -\lg[H^+] = 1.81$$

2.



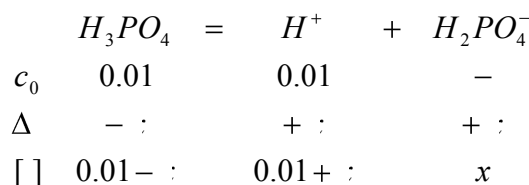
За умовою $y \ll 0.0156 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$. Тоді

$$K_{a2} = \frac{[H^+][HPO_4^{2-}]}{[H_2PO_4^-]} = \frac{0.0156 y}{0.0156} = 10^{-1.98} = 0.39 \cdot 10^{-2}$$

$$y = 0.39 \cdot 10^{-2} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

$$[HPO_4^{2-}] = 0.39 \cdot 10^{-2} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

3. $c_0(H^+) = c_0(\text{HCl}) = 0.01 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ як сильна кислота, HCl дисоціює повністю.



$$K_{a1} = \frac{[H^+][H_2PO_4^-]}{[H_3PO_4]} = 10^{-148} = 1.11 \cdot 10^{-148}$$

$$\frac{x(0.01+x)}{(0.01-x)} = 1.11 \cdot 10^{-148}$$

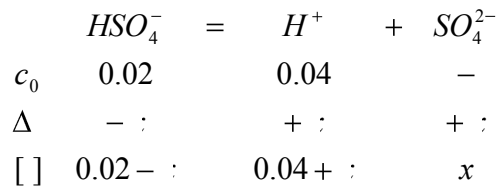
$$x^2 + 1.11 \cdot 10^{-148} x - 0.01 \cdot 1.11 \cdot 10^{-148} = 0$$

$$x = 1.456 \cdot 10^{-148} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

$$pH = -\lg[H^+] = -\lg(0.01346) = 1.87$$

4.

$$c_0(H^+) = c_0(HCl) + c_0(H_2SO_4) = 0.04 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$



$$K_{a1} = \frac{[H^+][SO_4^{2-}]}{[HSO_4^-]} = 10^{-990} = 1.0102$$

$$\frac{x(0.04+x)}{(0.02-x)} = 1.0102$$

$$x^2 + 1.0502x - 0.02 \cdot 1.0102 = 0$$

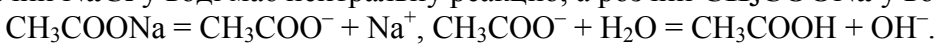
$$x = 1.79 \cdot 10^{-10} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

$$[SO_4^{2-}] = 1.79 \cdot 10^{-10} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

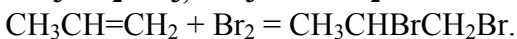
$$pH = -\lg[H^+] = -\lg(0.04379) = 1.36$$

5. Речовини. 1. Пропан $CH_3CH_2CH_3$, нонан $CH_3(CH_2)_7CH_3$, нонін-1 $CH_3(CH_2)_6C \equiv CH$, метанол CH_3OH , деканол-1 $CH_3(CH_2)_9OH$, формальдегід CH_2O , оцтова кислота CH_3COOH , пропанова кислота CH_3CH_2COOH , пропенова кислота $H_2C=CHCOOH$, хлорид натрію $NaCl$, сульфат кальцію $CaSO_4$, вода H_2O , пропен $CH_3CH=CH_2$, ацетат натрію CH_3COONa , бром Br_2 .

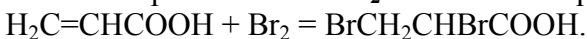
2. Br_2 – буре рідина. CH_3COONa , $NaCl$, $CaSO_4$ – тверді речовини, лише $CaSO_4$ – нерозчинний у воді. Розчин $NaCl$ у воді має нейтральну реакцію, а розчин CH_3COONa у воді – лужний:



$CH_3CH_2CH_3$, $CH_3CH=CH_2$ – гази за н. у., причому лише пропен знебарвлює бромну воду:



Водні розчини CH_3COOH , CH_3CH_2COOH , $H_2C=CHCOOH$ забарвлюють універсальний індикатор у червоний колір. З них лише $H_2C=CHCOOH$ реагує з бромною водою:



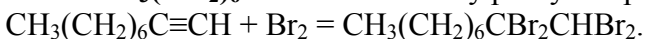
Як і молярна маса, температура кипіння CH_3CH_2COOH ($141^\circ C$) вища за температуру кипіння CH_3COOH ($118^\circ C$).

CH_2O дає якісну реакцію на альдегіди (напр., «срібного дзеркала»):



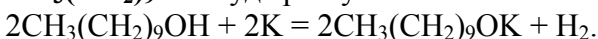
З речовин, що лишились, лише H_2O не горить на повітрі.

Лише $CH_3(CH_2)_6C \equiv CH$ із залишку реагує з бромною водою:



CH_3OH розчиняється у воді.

$CH_3(CH_2)_9OH$ буде реагувати з активними металами при нагріванні:



У залишку – $CH_3(CH_2)_7CH_3$.

6. Щоякнайпростіше. 1. а) $n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})_O = 13 \cdot (10/286) \text{ моль} = 0.45 \text{ моль}$; $n(\text{Fe}_3\text{O}_4)_O = 4 \cdot (20/232) \text{ моль} = 0.34 \text{ моль}$ (у першому зразку – більше); б) кисень – O_2 , озон – O_3 , тому при рівності об'ємів в озоні атомів кисеню більше; в) $n(\text{SO}_2)_O = 1 \cdot 2 \text{ моль} = 2 \text{ моль}$, $n(\text{SO}_3)_O = 0.8 \cdot 3 \text{ моль} = 2.4 \text{ моль}$ (у складі зразку триоксиду – більше).

2. $\text{KOH} + \text{HCl} = \text{KCl} + \text{H}_2\text{O}$. $n(\text{KOH}) = 10/56 \text{ моль} = 0.18 \text{ моль}$; $n(\text{HCl}) = 10/36.5 \text{ моль} = 0.27 \text{ моль}$ (надлишок). $n(\text{KCl}) = n(\text{H}_2\text{O}) = 0.18 \text{ моль}$. $m(\text{KCl}) = 13.4 \text{ г}$; $m(\text{H}_2\text{O}) = 3.24 \text{ г}$.

3. $\text{C}_6\text{H}_6 + \text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$. $n(\text{CO}_2) = 6n(\text{C}_6\text{H}_6)$. $V(\text{CO}_2) = 0.73 \cdot 22.4 \cdot 6 \cdot 1000 \cdot 0.88/78 \text{ л} = 1107 \text{ л}$.

7. Завдання експериментального туру.

