

11 клас

Задача 1 (5 балів)

Кристалічна неорганічна сіль містить наступні елементи: Н (1,43 мас. %), С (17,06 мас. %), N (19,90 мас. %), О (11,36 мас. %), К (37,03 мас. %) та Fe (13,22 %). При незначному нагріванні сіль втрачає 12,78 % своєї маси. Визначте причину такої зміни маси під час нагрівання, будову продукту перетворення та вкажіть його тривіальну і номенклатурну назви.

Розв'язок

- 1) Знаходимо співвідношення кількості атомів у формулі сполуки виходячи з масових часток елементів:

$$v(\text{H}): v(\text{C}): v(\text{N}): v(\text{O}): v(\text{K}): v(\text{Fe}) = \frac{1,43}{1} : \frac{17,06}{12} : \frac{19,90}{14} : \frac{11,36}{16} : \frac{37,03}{39,1} : \frac{13,22}{55,85} =$$

$$1,43 : 1,42 : 1,36 : 0,71 : 0,95 : 0,24 = 6 : 6 : 3 : 4 : 1.$$

- 2) Тобто, брутто-формула $\text{H}_6\text{C}_6\text{N}_6\text{O}_3\text{K}_4\text{Fe}$.
 3) Отже в умові задачі згадано калій гексаціаноферат(II) тригідрат $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, котрий при нагріванні втрачає три молекули води та перетворюється в калій гексаціаноферат(II) $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ – жовту кров'яну сіль.
 4) Структура продукту дегідратації побудована з октаедричних комплексних аніонів в порожнинах між якими знаходяться катіони.

Задача 2 (12 балів)

При додаванні до сріблястої рідини **A** розчину хлоридної кислоти з подальшим кип'ятінням, на стінках фарфорової чашки утворюється білий наліт речовини **B** (містить атоми трьох елементів). При нагріванні **B** перетворюється у суміш жовтувато-білої бінарної речовини **C** та білих кристалів **D**. Якщо останні розчинити у воді та пропустити сірководень, утворюватиметься коричнево-чорний осад **E**. Серед продуктів прожарювання за температури 1000°C суміші речовини **E** та натрій карбонату можна виділити метал **F**. Для отримання 10 г речовини **F** під час електролізу солі необхідно пропускати струм силою 10 А впродовж 23 хв (вихід за струмом 100%, метал в складі солі – тривалентний).

Розшифруйте речовини **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F** та напишіть рівняння відповідних реакцій.

Розв'язок

- 1) Виходячи із законів електролізу отримуємо

$$M = \frac{mFz}{It} = \frac{10\text{г} \cdot 96500\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot 3}{10\text{А} \cdot 1385\text{с}} = 209\text{г/моль}, \text{ отже метал } \mathbf{F} \text{ – вісмут.}$$

Тоді перетворення описані в задачі відповідають наступним рівнянням:

- 2) $2\text{Bi} + 2\text{HCl} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{BiOCl} + 3\text{H}_2$ **1** **A** – амальгама вісмуту; **B** – BiOCl .
 3) $3\text{BiOCl} = \text{Bi}_2\text{O}_3 + \text{BiCl}_3$ **2** **C** – Bi_2O_3 ; **D** – BiCl_3 .
 4) $2\text{BiCl}_3 + 3\text{H}_2\text{S} = \text{Bi}_2\text{S}_3 \downarrow + 6\text{HCl}$ **3** **E** – Bi_2S_3 ;
 5) $4\text{Bi}_2\text{S}_3 + 12\text{Na}_2\text{CO}_3 = 8\text{Bi} + 9\text{Na}_2\text{S} + 3\text{Na}_2\text{SO}_4 + 12\text{CO}_2$ **4**

Задача 3 (18 балів)

Злегка жовту рідину **A** збовтали з холодним розчином барій гідроксиду. При цьому утворилась речовина **B** та виділився сильно отруйний бінарний газ з специфічним запахом. При взаємодії **B** з сульфатною кислотою випадає білий осад **H** та утворюється речовина **C**. Взаємодія **C** з водним розчином нікель(II) хлориду призводить до утворення чорного осаду простої речовини, виділення газу та утворення речовини **D**. Внаслідок реакції **D** з водним

11 клас

розчином аргентум нітрату утворюється чорний осад простої речовини та суміші кислот, одна з яких **E**. Збовтування **A** з розчином купрум(II) сульфату також призводить до утворення чорного осаду простої речовини та суміші кислот, серед яких теж є **E**. Продукти взаємодії останньої речовини з фтором містять газоподібні просту речовину та **F**.

Обережне нагрівання **A** в приладі для перегонки заповненому сухим азотом (н.у.) до температури людського тіла з подальшим охолодженням до кімнатної призводить до накопичення безбарвної рідини **G** ($\omega(\text{C})=0,648$; $\omega(\text{H})=0,136$; $\omega(\text{O})=0,216$) в приймачі та білого залишку простої речовини в перегонній колбі.

Напишіть рівняння реакцій описаних в задачі, наведіть відповідники літер **A–H** та номенклатурні назви відповідних речовин. Намалуйте структурні формули сполук **C** та **D**. Опишіть їх властивості як електролітів у водних розчинах

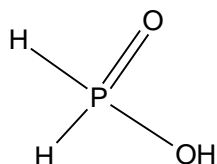
Розв'язок

1) Виходячи з масових часток легко встановлюємо склад речовини **G** – $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$. Виходячи з емпіричної формули це або етер або відповідний спирт. Відносно низька температура перегонки підказує що це діетиловий етер, а **A** – розчин невідомої речовини в етері.

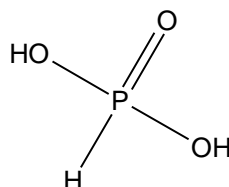
Біла на вигляд модифікація простої речовини взагалі одна – **P** (білий).

Отже, перетворення описані в задачі стосуються сполук Фосфору.

- | | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------|
| 2) $8\text{P} + 3\text{Ba}(\text{OH})_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + 2\text{PH}_3$ | 1 | A – P ; B – $\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2$ |
| 3) $\text{Ba}(\text{H}_2\text{PO}_2)_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{H}_3\text{PO}_2 + \text{BaSO}_4\downarrow$ | 2 | H – BaSO_4 ; C – H_3PO_2 |
| 4) $\text{NiCl}_2 + 2\text{H}_3\text{PO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{Ni} + 2\text{H}_3\text{PO}_3 + \text{H}_2 + 2\text{HCl}$ | 3 | D – H_3PO_3 |
| 5) $2\text{P} + 5\text{CuSO}_4 + 8\text{H}_2\text{O} = 5\text{Cu} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{H}_2\text{SO}_4$ | 4 | E – H_3PO_4 |
| 6) $\text{H}_3\text{PO}_4 + 4\text{F}_2 = 2\text{O}_2 + \text{PF}_5 + 3\text{HF}$ | 5 | F – PF_5 |
| 7) $\text{H}_3\text{PO}_3 + 2\text{AgNO}_3 + \text{H}_2\text{O} = 2\text{Ag} + 2\text{HNO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4$ | 6 | G – H_3PO_4 |

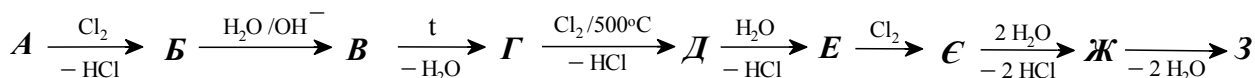


C – H_3PO_2
сильний
електроліт



D – H_3PO_3
електроліт
середньої сили

Задача 4 (13 балів)



Для наведеної схеми перетворень відомо, що речовина **Д** містить 47,06% карбону, 6,54% гідрогену та 46,40% хлору (за масою), а до складу її молекули входить лише один атом хлору. Встановіть будову та напишіть структурні формули усіх можливих ізомерів сполуки **Д**.

Наведіть структурні формули сполук **A–З** та напишіть рівняння реакцій наведених у схемі перетворень.

Запропонуйте якісну хімічну реакцію для виявлення речовини **Ж** та запишіть відповідне рівняння реакції. Обчисліть масу 60%-ного (за масою) розчину нітратної кислоти, необхідного для повного нітрування 5 моль речовини **Ж**.

Розв'язок

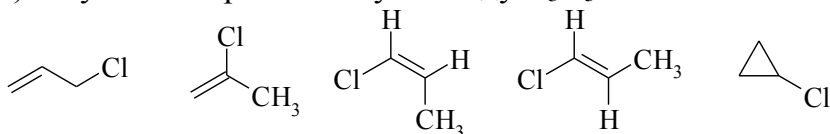
1) Нехай формула **Д** буде $\text{C}_x\text{H}_y\text{Cl}_z$, тоді

$$x : y : z = \nu_{\text{C}} : \nu_{\text{H}} : \nu_{\text{Cl}} = 47,06/12 : 6,54/1 : 46,40/35,5 = 3,92 : 6,54 : 1,31 = 3 : 5 : 1.$$

11 клас

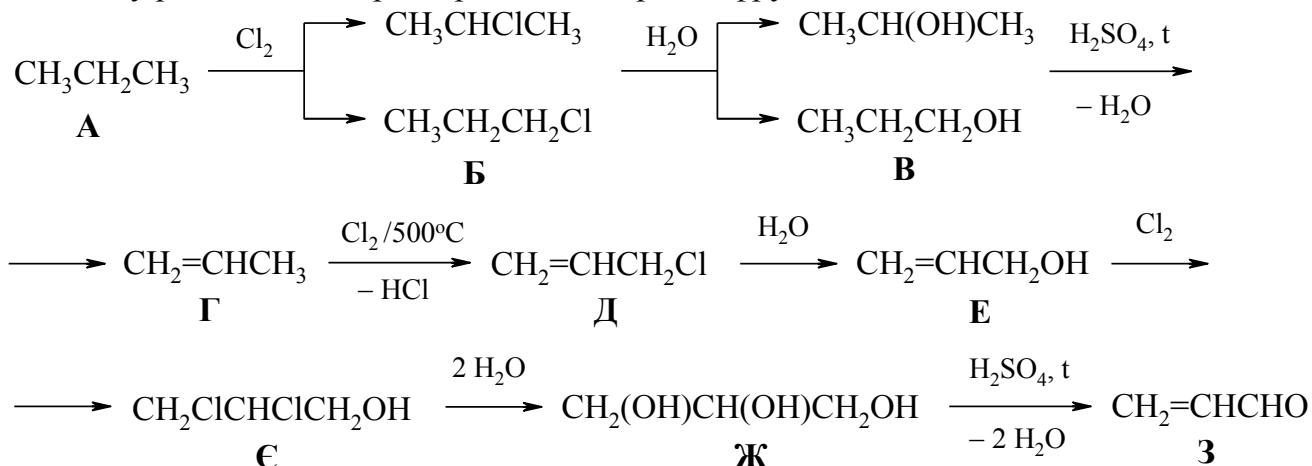
Найпростіша формула **Д** – C_3H_5Cl . Оскільки в молекулі **Д** за умовою задачі є лише один атом хлору, то найпростіша формула співпадає з молекулярною.

2) Існує 5 ізомерних сполук складу C_3H_5Cl :

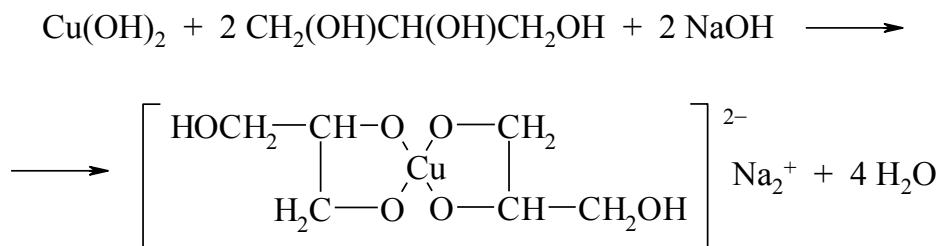


3) Сполука **Д** отримана під час високотемпературного хлорування **Г** і, швидше за все, є алілхлоридом $CH_2=CHCH_2Cl$.

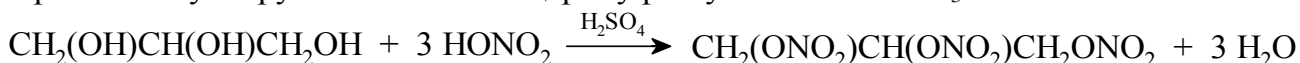
4) В такому разі ланцюг перетворень можна розшифрувати так:



5) Сполука **Ж** (гліцерин, 1,2,3-пропантриол) дає кольорову якісну реакцію на багатоатомні спирти, які містять OH -групи при сусідніх атомах карбону: в лужних розчинах вона здатна розчиняти купрум(II) гідроксид, утворюючи темно-синій розчин комплексного купрум гліцерату:



6) При повному нітруванні 1 моль гліцерину реагує з 3 моль HNO_3 :



7) Тому для реакції з 5 моль гліцерину необхідно буде 15 моль HNO_3 ($M = 63$ г/моль), або $63 \times 15 = 945$ г HNO_3 , яка міститься у $945/0,6 = 1575$ г 60%-ного розчину цієї кислоти.

Задача 5 (10 балів)

Суміш ацетальдегіду і глюкози загальною масою 2,68 г розчинили у воді. Добутий розчин додали до аміачного розчину аргентум(I) оксиду, приготовленого з 36 мл 34%-го розчину аргентум нітрату (густина 1,4 г/мл). Осад, що випав під час легкого нагрівання, відфільтрували і до нейтралізованого нітратною кислотою фільтрату додали надлишок розчину хлориду калію. В результаті випав осад масою 5,74 г.

Розрахуйте масові частки речовин у вихідній суміші. Напишіть рівняння реакцій згаданих у задачі хімічних перетворень.

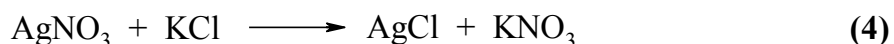
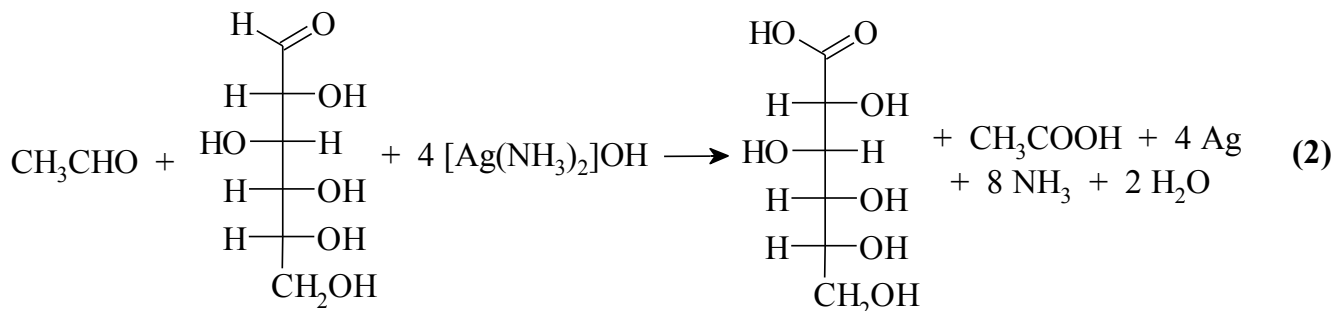
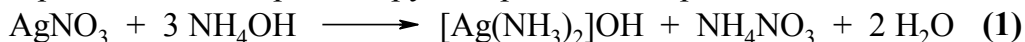
11 клас

Розв'язок

1) Знайдемо масу і кількість речовини аргентум нітрату ($M = 170$):

$$m(\text{AgNO}_3) = 36 \times 1,4 \times 0,34 = 17,136 \text{ г}; \quad \nu(\text{AgNO}_3) = 17,136/170 \approx 0,1 \text{ моль}$$

2) Описані процеси можна проілюструвати рівняннями реакцій:



3) Осад, маса якого дорівнює 5,74 г, – це аргентум хлорид ($M = 143,5$), який було одержано з непрореагованого $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ (рівняння 3 і 4).

Кількість речовини AgCl і непрореагованого $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ однакова і дорівнює $\nu = 5,74/143,5 = 0,04$ моль.

Враховуючи те, що кількість речовини аргентум нітрату, з якого готували аміачний розчин оксиду аргентуму, була 0,1 моль, то й кількість речовини $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$, як це видно з рівняння реакції (1), була такою ж.

Отже, з оцтовим альдегідом і глюкозою прореагувало $0,1 - 0,04 = 0,06$ моль $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$.

4) Нехай маса оцтового альдегіду ($M = 44$ г/моль) буде x (г), а маса глюкози ($M = 180$) – $(2,68 - x)$ (г).

Як видно з рівняння реакції (2), сумарна кількість речовини оцтового альдегіду і глюкози дорівнює половині кількості речовини $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$, тобто 0,03 моль. Отже,

$$x/44 + (2,68 - x)/180 = 0,03,$$

звідки маса оцтового альдегіду $x = 0,88$ г, а маса глюкози становитиме $2,68 - 0,88 = 1,8$ г.

5) Масові частки оцтового альдегіду і глюкози відповідно становитимуть:

$$0,88 \cdot 100/2,68 \approx 32,8\% (\text{CH}_3\text{CHO}) \quad \text{та} \quad 1,8 \cdot 100/2,68 \approx 67,2\% (\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)$$

Задача 6 (12 балів)

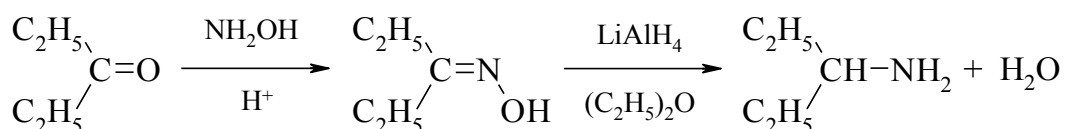
Наведіть схеми синтезів 3-амінопентану, етиламіну і етилпропіламіну, виходячи з 3-пентанону. Всі три схеми повинні включати спільну (!) проміжну сполуку.

Розв'язок

1) Два аміни з трьох (3-амінопентан і етилпропіламін) були одержані зі збереженням загальної кількості атомів карбону (5), а третій (етиламін) – унаслідок розщеплення карбонового ланцюга. Найкоротший шлях переходу від кетонів до амінів полягає в одержанні оксимів кетонів взаємодією кетонів з гідроксиламіном і наступному перетворенні цих оксимів. Напрямо перетворення оксимів може бути різний, залежно від того, яку структуру аміну необхідно отримати.

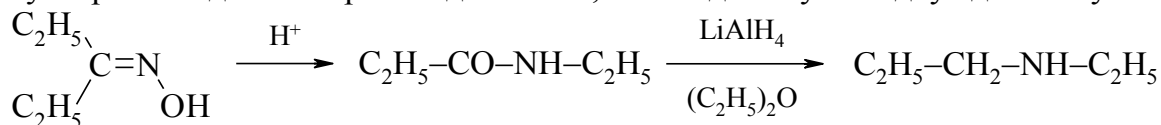
2) Так, при взаємодії діетилкетону (3-пентанону) з гідроксиламіном утворюється оксим, який можна відновити і отримати 3-амінопентан:

11 клас



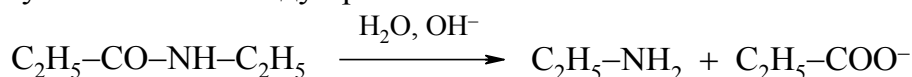
- 3) Слід зазначити, що при взаємодії несиметричних кетонів з гідроксиламіном утворюються оксими, які можуть мати *Z*- або *E*-конфігурацію. У випадку симетричного діетилкетону утворюється єдина сполука.

Це важливо для наступного перетворення оксиму 2-пентанону – перегрупування Бекмана, яке відбувається в присутності каталізаторів – концентрованих мінеральних кислот, хлорангідридів та ангідридів кислот. Два геометричні ізомери оксиму при цьому можуть утворювати два ізомерні амідні кислоти, чого в даному випадку вдається уникнути:



У результаті перегрупування Бекмана з оксиму кетону утворюється *N*-заміщений амідні кислоти – *N*-етиламід пропанової кислоти, який при відновленні перетворюється в етилпропіламін.

- 4) Для отримання етиламіну можна використати реакцію гідролізу синтезованого на попередньому етапі *N*-етиламіду пропанової кислоти:



- 5) Отже, діетилкетоксим, є тим проміжним продуктом, перетвореннями якого можна одержати всі три аміни.

Задача 7 (10 балів)

Для взаємодії бромиду з етиловим спиртом в було встановлено, що протягом 4 хв початкова концентрація спирту зменшується з $8,14 \cdot 10^{-3}$ моль/л до $6,10 \cdot 10^{-3}$ моль/л. За такий же проміжок часу концентрація спирту $4,24 \cdot 10^{-3}$ моль/л зменшується до $3,14 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Розрахуйте середні швидкості реакції для згаданих вище умов.

Що називають порядком реакції? Розрахуйте порядок реакції та константу швидкості для реакції бромиду з етиловим спиртом.

Порівняйте отримане значення порядку реакції з сумою стехіометричних коефіцієнтів біля реагентів у рівнянні реакції та поясніть отриманий результат.

Розв'язок

- 1) Середня швидкість реакції розраховується як $\bar{\omega} = \frac{\Delta C}{\Delta t}$. Звідси:

$$\bar{\omega}_1 = \frac{\Delta C_1}{\Delta t_1} = \frac{(8,14 - 6,10) \cdot 10^{-3}}{4} = 0,510 \cdot 10^{-3} \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{хв});$$

$$\bar{\omega}_2 = \frac{\Delta C_2}{\Delta t_2} = \frac{(4,24 - 3,14) \cdot 10^{-3}}{4} = 0,275 \cdot 10^{-3} \text{ моль}/(\text{л} \cdot \text{хв}).$$

- 2) Порядком реакції називають суму показників ступеня ($a + b + \dots$) при концентраціях вихідних речовин у рівнянні закону діючих мас $\omega = k c_A^a c_B^b \dots$ – основного постулату хімічної кінетики.

11 клас

3) Порядок реакції можна знайти, використавши диференціальний метод Вант-Гоффа:

$$n = \frac{\ln \bar{\omega}_1 - \ln \bar{\omega}_2}{\ln \bar{C}_1 - \ln \bar{C}_2} = \frac{\ln(0,510 \cdot 10^{-3}) - \ln(0,275 \cdot 10^{-3})}{\ln\left(\frac{(8,14 + 6,10) \cdot 10^{-3}}{2}\right) - \ln\left(\frac{(4,24 + 3,14) \cdot 10^{-3}}{2}\right)} =$$

$$= \frac{-7,581 + 8,199}{-4,945 + 5,602} = \frac{0,618}{0,657} = 0,941 \approx 1$$

4) Для реакції I-го порядку вираз для константи швидкості матиме вигляд:

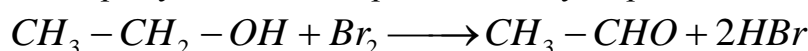
$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{C_0}{C_t}$$

5) Звідси:

$$k_1 = \frac{1}{t} \ln \frac{C_{0,1}}{C_{t,1}} = \frac{1}{4} \ln \frac{0,00814}{0,00610} = 7,213 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}; \quad k_2 = \frac{1}{t} \ln \frac{C_{0,2}}{C_{t,2}} = \frac{1}{4} \ln \frac{0,00424}{0,00314} = 7,509 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1};$$

$$\bar{k} = \frac{(7,213 + 7,509) \cdot 10^{-2}}{2} = 7,361 \cdot 10^{-2} \text{ хв}^{-1}.$$

6) Початкова взаємодія бром з етанолом приводить до утворення ацетальдегіду:



Сума коефіцієнтів біля реагентів становить 2.

7) У випадку простих реакцій, що проходять одностадійно, порядки реакції збігаються зі стехіометричними коефіцієнтами у вихідному рівнянні реакції.

Отож, в даному випадку, оскільки $n \neq 2$, це є свідченням того, що досліджувана реакція є багатостадійною, а наведене рівняння описує сумарну стехіометрію процесу.

Іншим поясненням є те, що бром, очевидно, було взято у великому надлишку, тому під час реакції його концентрація фактично залишається сталою і, як результат, увійшла в константу швидкості:

$$\omega = k c_{C_2H_5OH}^1 c_{Br_2}^1 = k' c_{C_2H_5OH}^1, \quad \text{де } k' = k c_{Br_2}^1 = const$$

Тож швидкість реакції залежатиме лише від концентрації спирту.