



**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА**

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Химия**

ФИО участника олимпиады: **Карпов Артемий Михайлович**

Класс: **11**

Технический балл: **100**

Дата проведения: **27 февраля 2022 года**

9068546

1 – 8

2 – 16

3 – 16

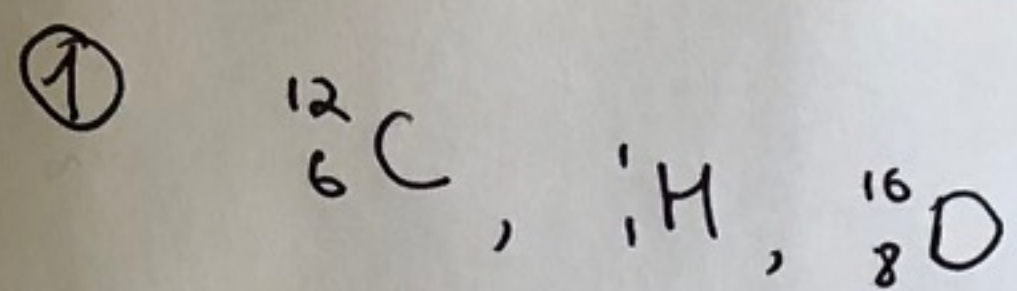
4 – 20

5 – 20

6 – 20

100

Беклемишев М.К.



Пусть соединение - $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$. Тогда можно составить систему уравнений. x, y, z - целые. y к тому же четное число

$$\begin{cases} 12x + 16z + y = 42 \\ 6x + y + 8z = 42 \\ 6x + 8z = 32 \end{cases}$$

Рассмотрим значение x и y при разных z .

При $z = 1$ $x = 4, y = 10$ (решение системы уравнений)

При $z = 2$ $x = 2,667, y = 10$

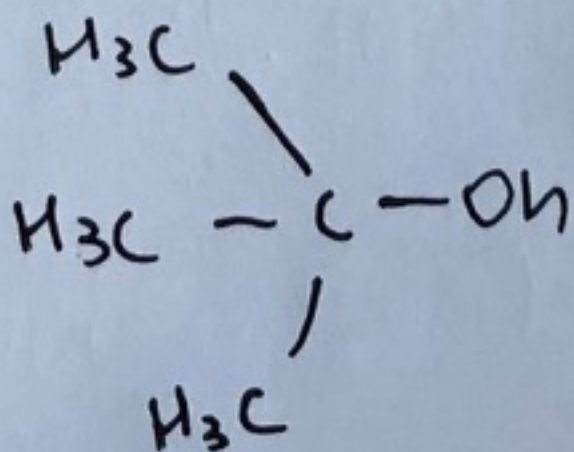
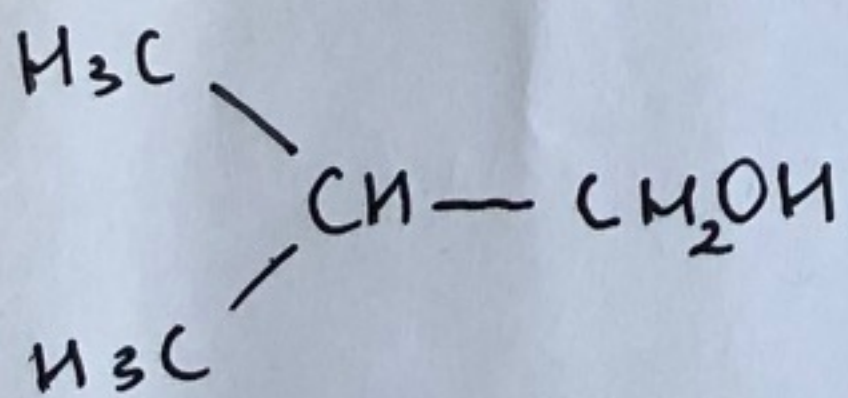
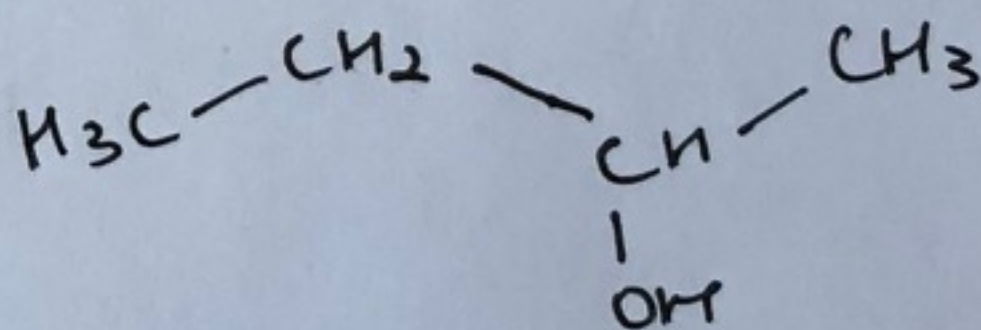
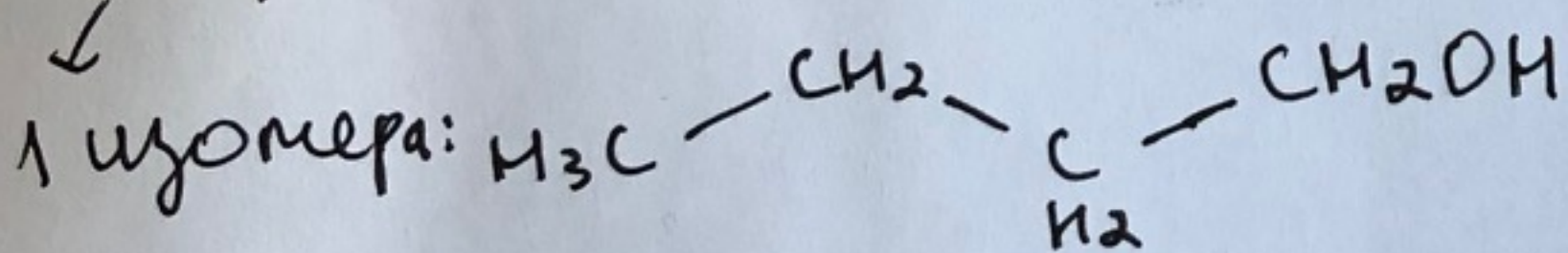
При $z = 3$ $x = 1,333, y = 10$.

Видно, что единственное разумное решение находится при $x = 4, y = 10, z = 1$. Изомеры имеют формулу $\text{C}_4\text{H}_{10}\text{O}$.

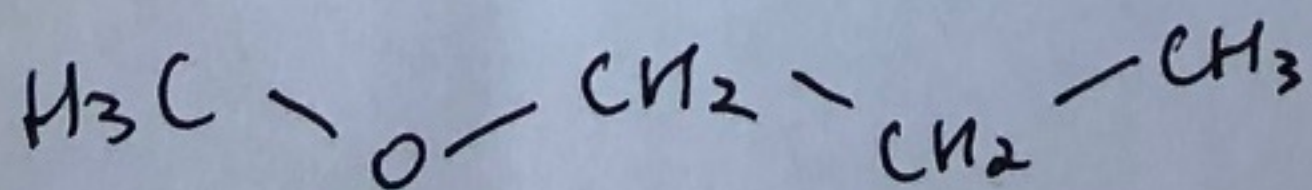
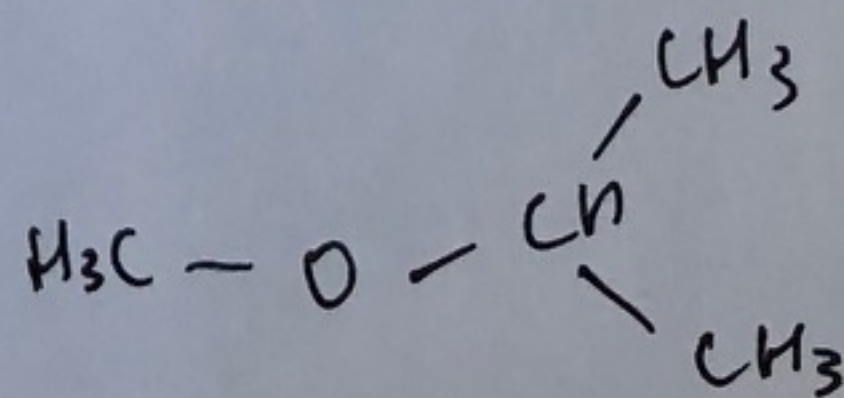
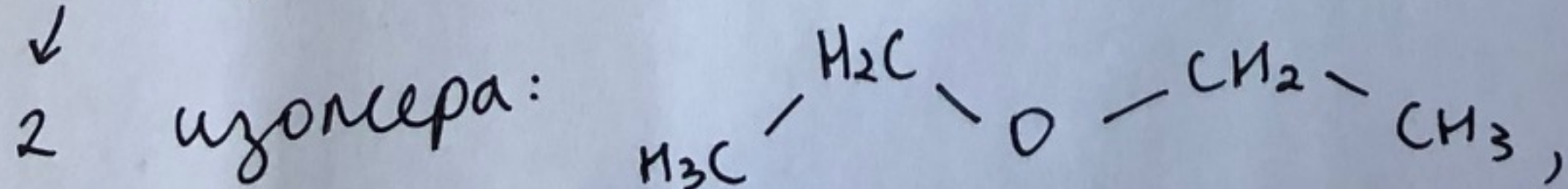
~~Эти изомеры являются спиртами~~ степень ненасыщенности 0. Это могут быть спирт и простой эфир.

Возможные структуры:

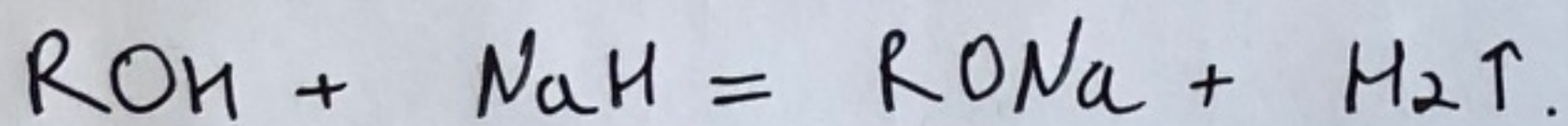
"первого"



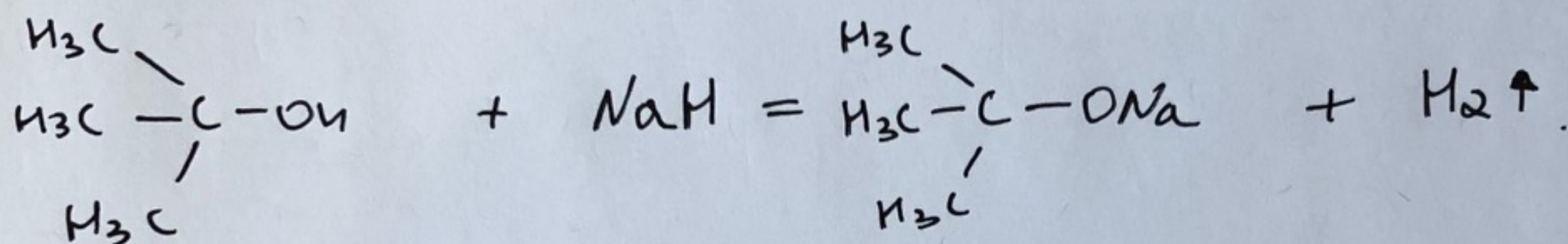
"второго"



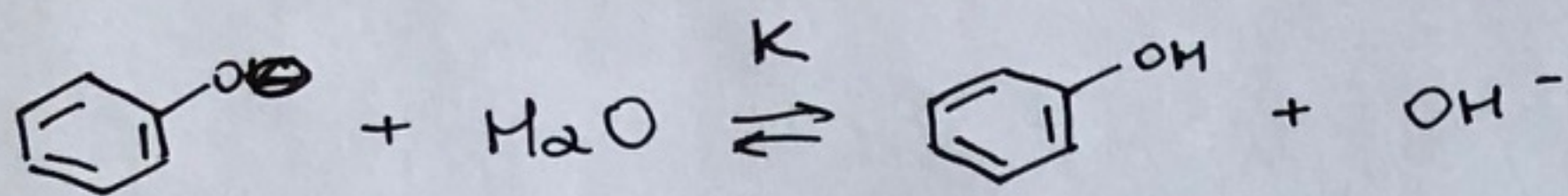
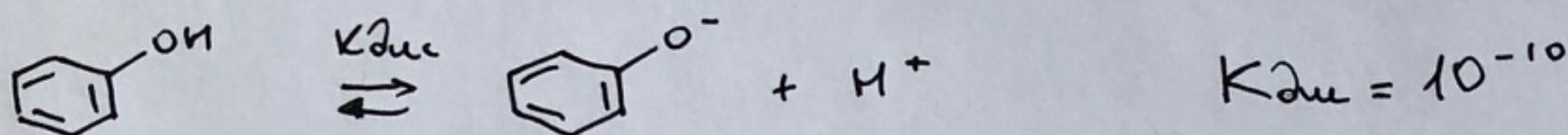
Различить их можно, например, реакцией с NaH . Тогда как третичный спирт не реагирует ~~с~~ с NaH , в реакции спирта с NaH выделяется водород.



Один примера запишу реакцией с третбутиловым спиртом:



2



$$K = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}][\text{OH}^-]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-]} = \frac{[\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}][\text{OH}^-][\text{H}^+]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-][\text{H}^+]} = \frac{K_w}{K_{\text{дис}}} = \frac{10^{-14}}{10^{-10}} = 10^{-4}$$

$$\text{pH} = 11 \Rightarrow -\lg[\text{H}^+] = 11, \quad [\text{H}^+] = 10^{-11}$$

$$\text{Тогда } [\text{OH}^-] = 10^{-3} \text{ М (т.к. } [\text{OH}^-][\text{H}^+] = 10^{-14})$$

$$[\text{OH}^-] \approx [\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}] \quad (\text{идет из уравнения реакции})$$

$$\frac{[\text{OH}^-][\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}]}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-]} = 10^{-4}$$

$$[\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-] = \frac{[\text{OH}^-][\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}]}{10^{-4}} = \frac{10^{-6}}{10^{-4}} = 10^{-2} = 0,01 \text{ М.}$$

$$C(\text{PhOK}) = [\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-] + [\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}] = 0,011 \text{ М}$$

Ответ: 0,011 М.

③

$$pV = \nu RT$$

Чистовик - 4

$$\nu = \frac{pV}{RT} = \frac{1.101,325 \cdot 1}{8,314 \cdot 303 \text{ К}} = 4,0222 \cdot 10^{-2} \text{ моль.}$$

$$\nu(A) = \frac{1}{2,86} \nu = 1,40636 \cdot 10^{-2} \text{ моль}$$

$$\nu(B) = \frac{1,86}{2,86} \nu = 2,616 \cdot 10^{-2} \text{ моль}$$

~~$$p(A) = \frac{\nu RT}{V} = 0,35 \text{ атм}$$~~

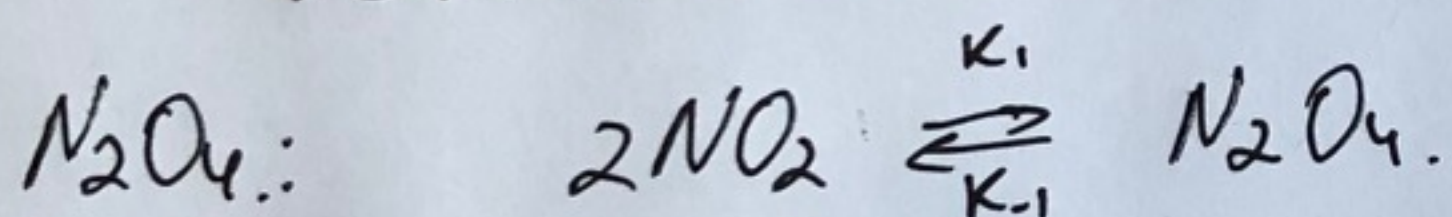
~~$$p(B) = p - p(A) = 0,65 \text{ атм.}$$~~

$$M_{\text{ср}} = \frac{\nu(A)}{\nu} \cdot M_A + \frac{\nu(B)}{\nu} M_B, \quad M_B = 2 M_A$$

$$M_A \cdot \nu(A) + 2 \nu(B) M_A = 3,05285$$

$$M_A = \frac{3,05285}{\nu(A) + 2 \nu(B)} = 46 \text{ г/моль}$$

Эта молярная масса соответствует NO_2 .
 Действительно, NO_2 димеризуется с образовавшимся



Система находится в равновесии, значит
 $k_1 \cdot [\text{NO}_2]^2 = k_{-1} [\text{N}_2\text{O}_4]$ (скорость прямой реакции
 равна скорости обратной
 реакции.)

$$k_{-1} = \frac{k_1 [\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} \quad ; \quad \left\{ \begin{array}{l} k_1 = 5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{л}}{\text{моль} \cdot \text{мин.}} \end{array} \right.$$

$$[\text{NO}_2] = \frac{\nu(A)}{\nu} = 1,40636 \cdot 10^{-2} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

$$[\text{N}_2\text{O}_4] = \frac{\nu(B)}{\nu} = 2,616 \cdot 10^{-2} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \nu = 1 \text{ л.}$$

$$k_{-1} = \frac{5 \cdot 10^{-3} \cdot (1,40636 \cdot 10^{-2})^2}{2,616 \cdot 10^{-2}} = 3,78 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{мин}}$$

① $T = 453\text{K}$ $V = 11,15\text{л}$ $P = 101,325\text{кПа}$

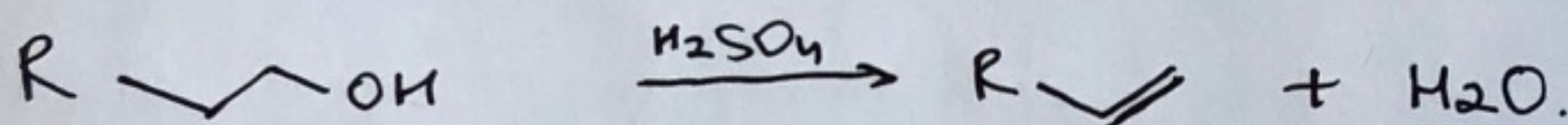
Чистовик - 5

~~$M = 15,9\text{г}$~~

$M = 15,9\text{г}$

$$\nu = \frac{pV}{RT} = \frac{11,15 \cdot 101,325}{8,314 \cdot 453} = 0,3 \text{ моль.}$$

Запишем реакцию дегидратации в общем виде:



Пусть $M_1 = x$, $M_2 = 15,9\text{г} - x$. - (соответственно массы первого и второго спиртов.)

Тогда $\frac{x}{M_1 + 18} + \frac{15,9 - x}{M_2 + 18} = 0,3 \text{ моль.}$

1 - C_nH_{2n} , 2 - C_yH_{2y} . $M_1 = 12n$, $M_2 = 14y$.

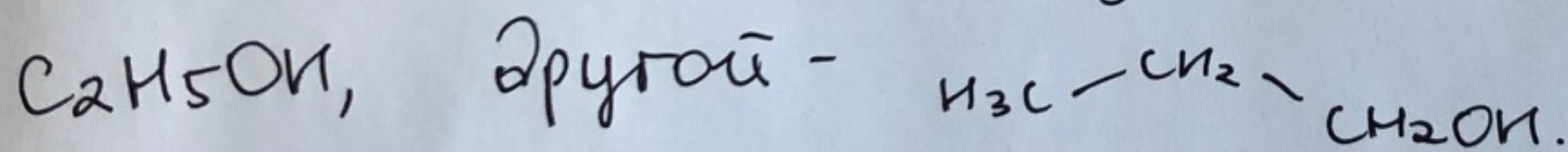
При $n = 2$, $y = 3$ $x = 6,9$.

При $n = 3$, $y = 4$ $x = 27$

При $n = 4$, $y = 5$ $x = 55,5$.

молярные массы газообразных продуктов дегидратации 1 и 2 спиртов соответственно.

При больших n и y масса одного из спиртов меньше нуля. Значит, единственной подходящей вариант, что 1 газообр. продукт - C_2H_4 , а второй - C_3H_6 . Тогда один из исходных спиртов

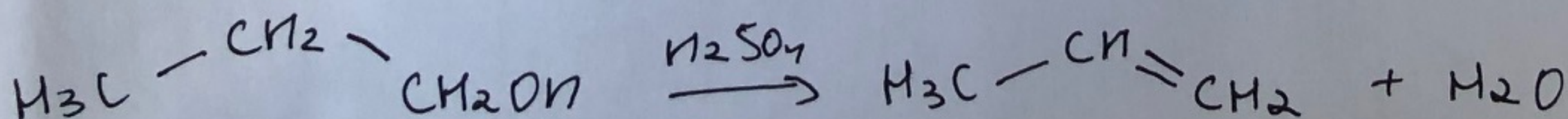
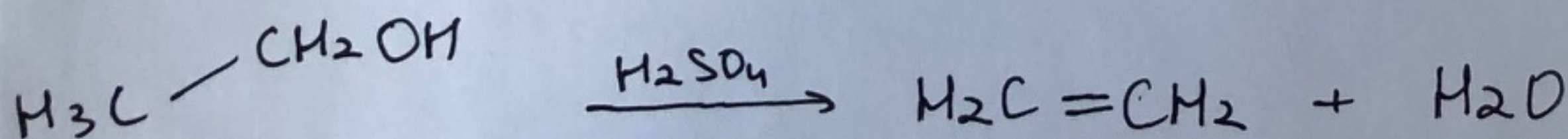


← т.к спирты по условию первичные.

$$M(C_2H_5OH) = x \Rightarrow M(C_2H_5OH) = 6,9\text{г}$$

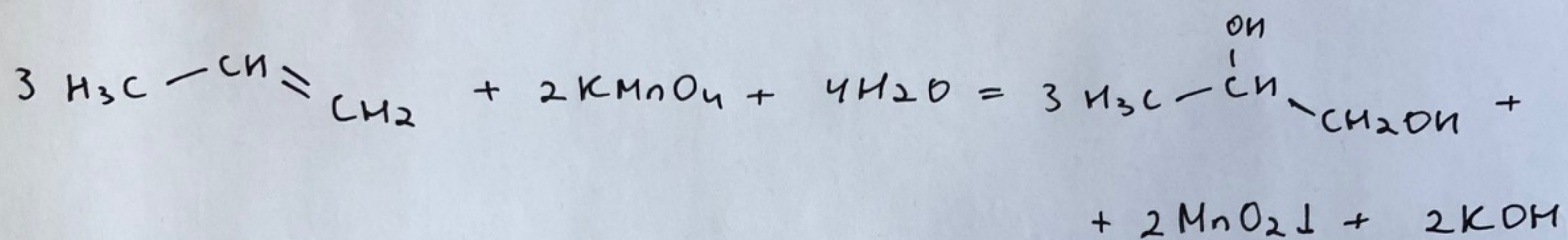
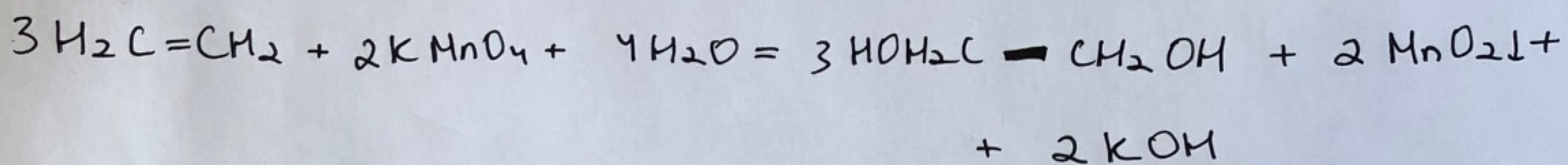
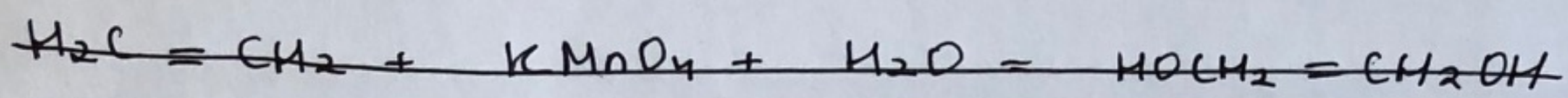
$$\omega(C_2H_5OH) = \frac{M(C_2H_5OH)}{M} \cdot 100\% = 43,4\%$$

$$\omega(C_3H_7OH) = 100\% - \omega(C_2H_5OH) = 56,6\%$$



$$V(C_2H_4) = V(C_2H_5OH) = \frac{6,9 \text{ г}}{46 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,15 \text{ моль} \quad \text{Чистовик - 6}$$

$$V(C_3H_6) = 0,3 - V(C_2H_4) = 0,15 \text{ моль} \quad (\text{т.к. всего } 0,3 \text{ моль газов}).$$

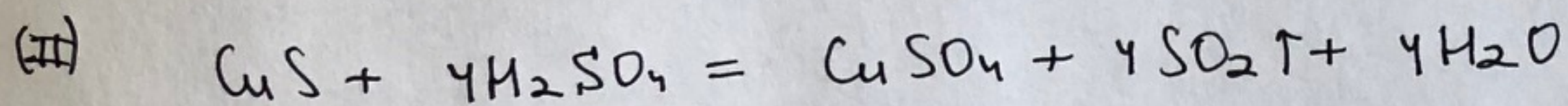
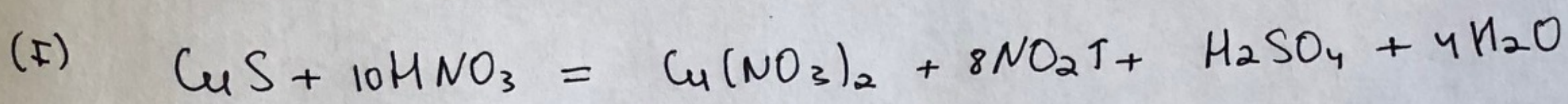


Как видно, 1 моль C_2H_4 и 1 моль C_3H_6 реагируют с одинаковым количеством $KMnO_4$. Тогда

$$V(KMnO_4) = \frac{2}{3} (V(C_2H_4) + V(C_3H_6)) = 0,2 \text{ моль}.$$

$$V_{p-ра} = V(KMnO_4) : C(KMnO_4) = 0,2 \text{ моль} : 0,4 \frac{\text{моль}}{\text{л}} = \underline{\underline{0,5 \text{ л}}}.$$

⑤ $\nu(\text{CuS}) = \frac{9,6 \text{ г}}{96 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,1 \text{ моль.}$ Чистовик - 7



Азотная и серная кислоты берутся в избытке:

$$\nu(\text{HNO}_3) = \frac{m_{\text{р-ра}} \cdot \omega_{\text{р-ра}}}{M(\text{HNO}_3)} = \frac{120 \cdot 0,63}{63} = 1,2 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m_{\text{р-ра}'} \cdot \omega_{\text{р-ра}'}}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{142,7 \cdot 0,98}{98} = 1,427 \text{ моль.}$$

Пусть в I стакане добавим азотную кислоту, а во II - серную. $\nu(\text{NO}_2)_I = 8\nu(\text{CuS}) = 0,8 \text{ моль}$

$$\nu(\text{SO}_2)_{II} = 4\nu(\text{CuS}) = 0,4 \text{ моль.}$$

$$M_I = 9,6 + 120 - \nu(\text{NO}_2)_I \cdot M(\text{NO}_2) = 92,8 \text{ г}$$

$$M_{II} = 9,6 + 142,7 - \nu(\text{SO}_2)_{II} \cdot M(\text{SO}_2) = 126,7 \text{ г}$$

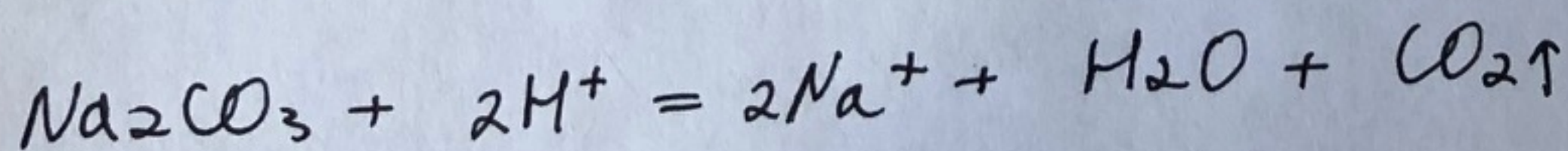
$$\Delta M = M_{II} - M_I = 33,9 \text{ г.}$$

Разница в массе стаканов равна 33,9 г.

Масса стакана I, в который добавили HNO_3 , меньше,

значит в него и нужно добавить $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

В I стакане содержится 0,1 моль H_2SO_4 (образуется в реакции) и 0,2 моль ~~II~~ HNO_3 , которая была взята в избытке.



$$M(\text{кг Na}_2\text{CO}_3) = 286 \text{ г/моль.}$$

Допустим, что мы добавим $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ для нейтрализации всей смеси кислот. Тогда $\nu(\text{кг Na}_2\text{CO}_3) = 0,2 \text{ моль.}$

$$\Delta M_1 = \nu(\text{кг Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{кг Na}_2\text{CO}_3) - \nu(\text{кг Na}_2\text{CO}_3) \cdot 44 = 48,4 \text{ г.}$$

Это слишком много. Тогда для уравновешивания р-ров нужно добавить меньше $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, чем нужно для нейтрализации ~~кислот~~ смеси кислот.

Пусть $V(\text{кг Na}_2\text{CO}_3)' = x$ Тогда
 $M(\text{кг Na}_2\text{CO}_3) \cdot V(\text{кг Na}_2\text{CO}_3)' - V(\text{кг Na}_2\text{CO}_3)' \cdot M(\text{CO}_2) = 33,9 \text{ г}$

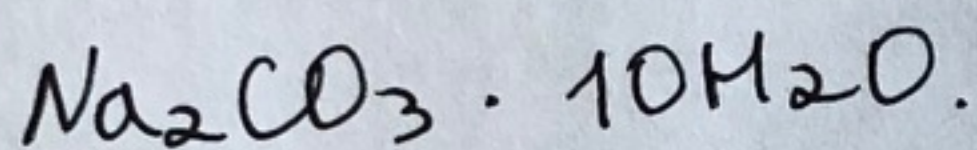
$$286x - 44x = 33,9 \text{ г}$$

$$242x = 33,9$$

$$\underline{x = 0,14 \text{ моль}} \Rightarrow V(\text{кг Na}_2\text{CO}_3)' = 0,14 \text{ моль}$$

$$M(\text{кг Na}_2\text{CO}_3) = V(\text{кг Na}_2\text{CO}_3)' \cdot M(\text{кг Na}_2\text{CO}_3) = 40 \text{ г}$$

В I стакан нужно поместить 40 г ~~Na₂CO₃ · 10H₂O~~



⑥ $M_{см} = 0,875 \cdot M_{O_2} = 28 \text{ г/моль}$.

Цифровик - 9

Если смесь эквимолярная, то $M_B = M_G = M_{см}$.

Если это так, то газами ~~не~~ могут быть N_2 , CO ,

C_2H_4 , например. Скорее всего так и есть,

потому что иначе получаем уравнение с

4 неизвестными ($M_B, M_G, \frac{V_B}{V_{B+G}}, \frac{V_G}{V_{B+G}}$),

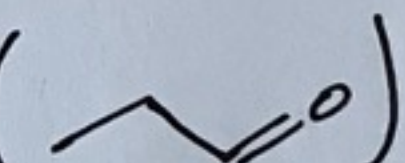
которое нельзя решить без доп. информации.

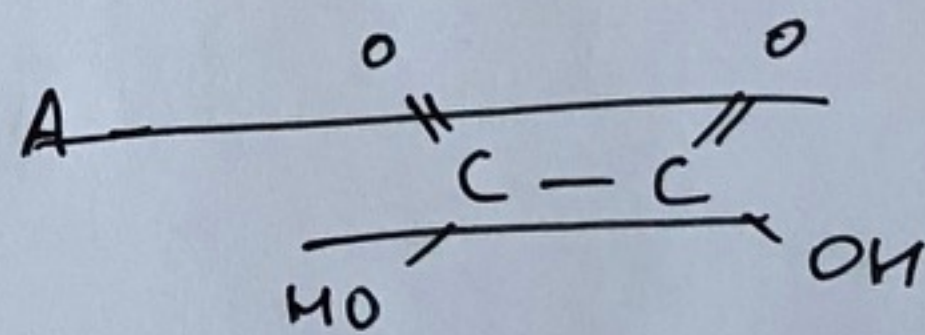
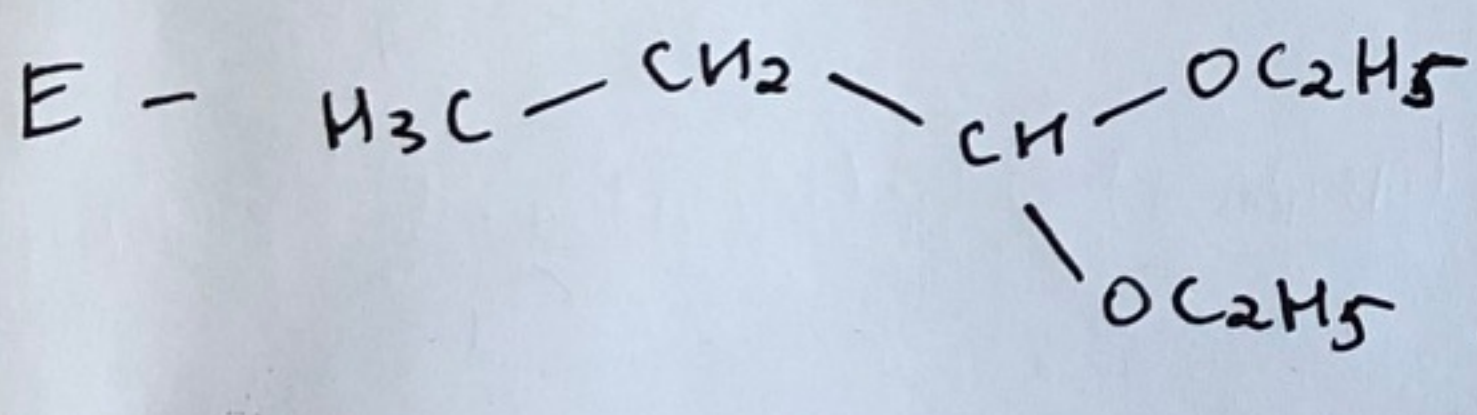
Газы В и Г - CO и C_2H_4 , т.к. N_2 не реагирует ни

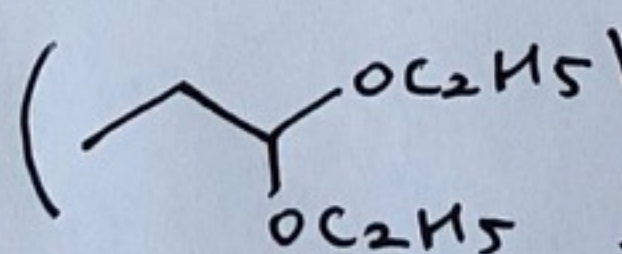
с CO , ни с C_2H_4 . К тому же, Ф, вероятно,

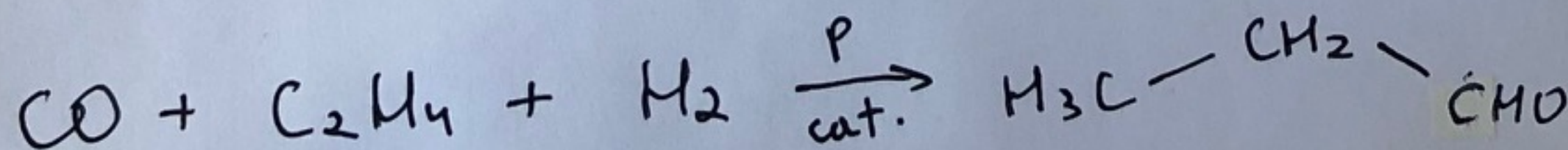
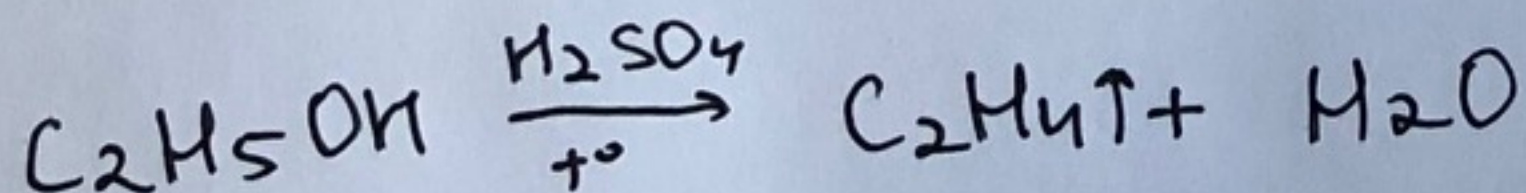
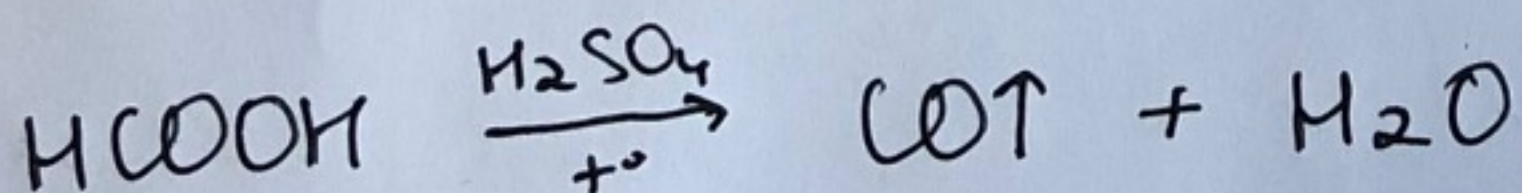
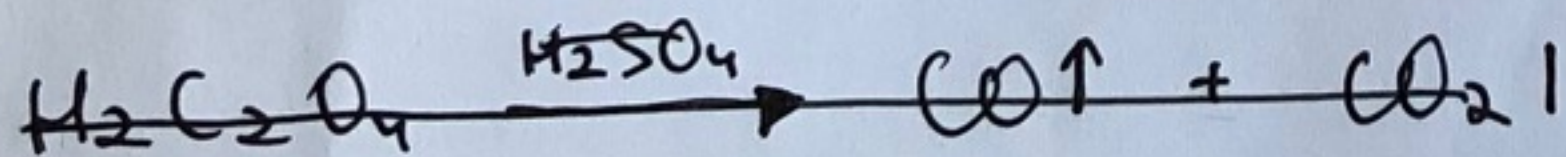
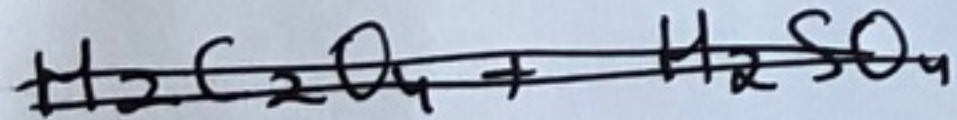
альдегид, судя по реакции с $Si(OH)_2$.

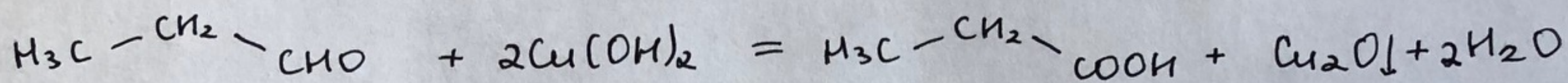
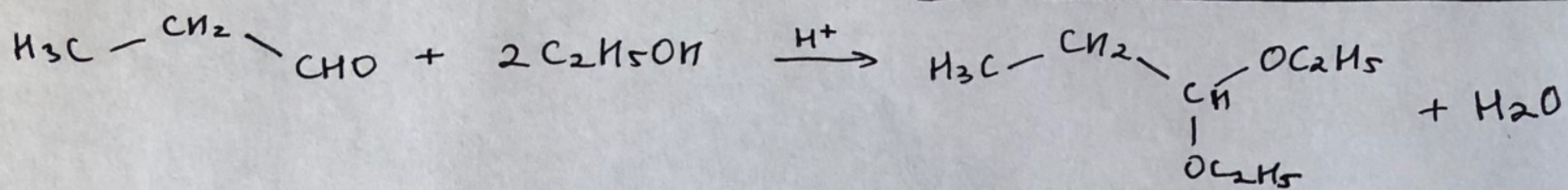
Пусть В - CO , Г - C_2H_4 . Тогда ~~А - $H_2C_2O_4$~~ , А - $HCOOH$

Б - C_2H_5OH . Ф - H_3C-CH_2-CHO ().



() - другое изображение.





$\nu(\Theta) = \nu(\text{Cu}_2\text{O})$ по уравнению реакции

$$\nu(\text{Cu}_2\text{O}) = \frac{m(\text{осадка})}{M(\text{Cu}_2\text{O})} = \frac{21,6 \text{ г}}{16 + 2 \cdot 63,55 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = \frac{21,6 \text{ г}}{143,1 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} =$$

$$\approx 1,51 \cdot 10^{-1} \text{ моль}$$

$$\nu(\Theta) = 1,51 \cdot 10^{-1} \text{ моль}$$

$$m(\Theta) = \nu(\Theta) \cdot M(\Theta) = 1,51 \cdot 10^{-1} \cdot (12 \cdot 3 + 6 + 16) \approx 8,758 \text{ г} \approx$$

$$\approx 8,76 \text{ г}$$