



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

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Химия**

ФИО участника олимпиады: **Гришин Александр Валерьевич**

Класс: **11**

Технический балл: **85**

Дата проведения: **27 февраля 2022 года**

Антипин Р.Л.

Задание 1. 8 баллов

Задание 2. 16 баллов

Задание 3. 11 баллов, неверен расчёт константы

Задание 4. 20 баллов

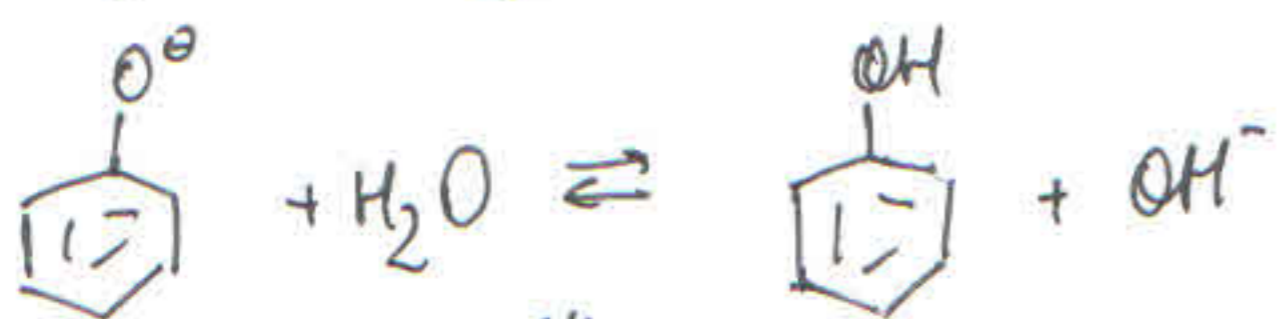
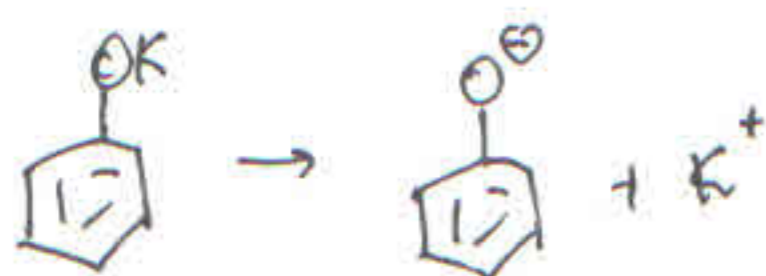
Задание 5. 20 баллов

Задание 6. 10 баллов, газы верны, далее нет

Итого: 85 баллов

числовые

№2



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

$$= 1 \cdot 10^{-4}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{pH} + \text{pOH} = 14 \\ \text{pH} = 11 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} 11 + \text{pOH} = 14 \\ \text{pOH} = 14 - 11 = 3 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] \\ \text{pOH} = 3 \end{array} \right\} \Rightarrow \begin{array}{l} -\lg[\text{OH}^-] = 3 \\ \lg[\text{OH}^-] = -3 \end{array}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

По уравнению гидролиза видно, что $[\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}] = [\text{OH}^-]$.

$$\left. \begin{array}{l} [\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}] = [\text{OH}^-] \\ [\text{OH}^-] = 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{л}} \end{array} \right\} \Rightarrow [\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}] = [\text{OH}^-] = 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

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

$$K_r = 1 \cdot 10^{-4}$$

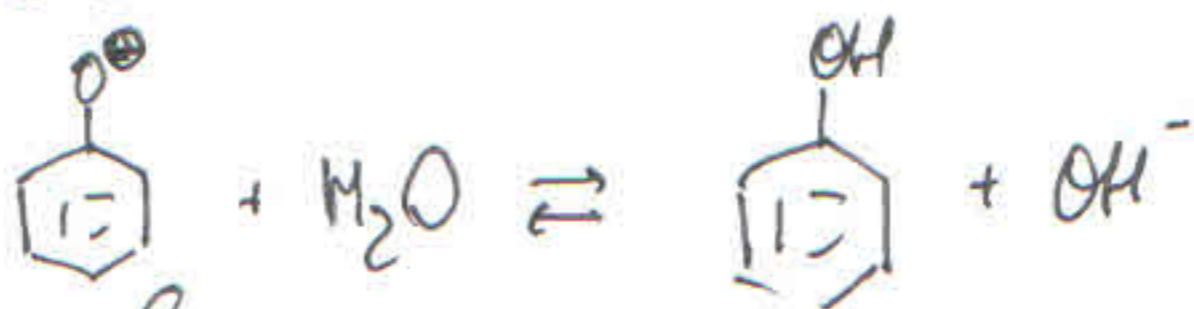
$$[\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}] = [\text{OH}^-] = 10^{-3} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

$$1 \cdot 10^{-4} = \frac{10^{-3} \cdot 10^{-3}}{[\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-]}$$

$$[\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-] = \frac{10^{-6}}{10^{-4}} = 0,01 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

Чистовик

Пусть начальная молярная концентрация фенолята
 копия равна $x \frac{\text{моль}}{\text{л}}$, тогда можно сделать вывод, что
 $c_M(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-) = x \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ (т.к. средняя копия диссоциирует полностью).



составим таблицу:

	$\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-$	$\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$	OH^-
$c_M \frac{\text{моль}}{\text{л}}$	x	0	0
$[\] \frac{\text{моль}}{\text{л}}$	$x - 10^{-3}$	10^{-3}	10^{-3}

$$\left. \begin{aligned} [\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-] &= (x - 10^{-3}) \frac{\text{моль}}{\text{л}} \\ [\text{C}_6\text{H}_5\text{O}^-] &= 0,01 \frac{\text{моль}}{\text{л}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$x - 10^{-3} = 0,01$$

$$x = 10^{-3} + 0,01$$

$$x = 0,011, \text{ значит}$$

$$c_M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 0,011 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

Ответ: $c_M(\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}) = 0,011 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$

Чистовик

№3



Поскольку это реакция димеризации, то $\mu(B) = 2\mu(A)$
 По уравнению Менделеева-Клапейрона

$$pV = nRT$$

$$n_{\text{общ.}} = \frac{pV}{RT} = \frac{101,3 \text{ кПа} \cdot 1 \text{ л}}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 303 \text{ К}} = 0,04 \text{ моль газа в равновесной смеси}$$

Известно, что $n(B):n(A) = 1,86:1$.

Пусть $n(A) = x$ моль, тогда $n(B) = 1,86x$ моль

$$n(A) + n(B) = n_{\text{общ.}} = 0,04 \text{ моль}$$

$$n(A) = x \text{ моль}$$

$$n(B) = 1,86x \text{ моль}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Rightarrow \\ x + 1,86x = 0,04 \\ 2,86x = 0,04 \\ x = 0,014 \Rightarrow \end{array} \right\}$$

$$\Rightarrow n(A) = 0,014 \text{ моль}$$

$$n(B) = (1,86 \cdot 0,014) \text{ моль} = 0,026 \text{ моль}$$

$$\mu_{\text{ср}} = \frac{n(A) \cdot \mu(A) + n(B) \cdot \mu(B)}{n_{\text{общ.}}} = \frac{0,014 \cdot \mu(A) + 0,026 \cdot \mu(B)}{0,04} = 75,9 \left(\frac{\text{г}}{\text{моль}} \right)$$

Составим систему:

$$\begin{cases} \mu(B) = 2 \cdot \mu(A) \\ \frac{0,014 \cdot \mu(A) + 0,026 \mu(B)}{0,04} = 75,9 \end{cases}$$

$$0,014 \mu(A) + 0,026 \cdot 2 \cdot \mu(A) = 75,9 \cdot 0,04$$

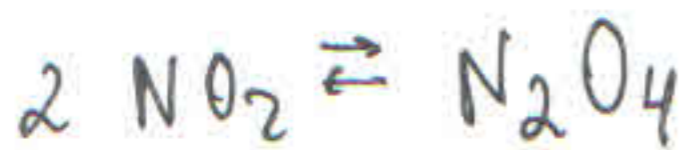
$$0,066 \mu(A) = 75,9 \cdot 0,04$$

$$\mu(A) = \frac{75,9 \cdot 0,04}{0,066}$$

$$\mu(A) = 46 \frac{\text{г}}{\text{моль}}, \text{ значить } A - \text{ это } \text{NO}_2$$

$$\mu(B) = 2 \cdot \mu(A) = 2 \cdot 46 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 92 \frac{\text{г}}{\text{моль}}, \text{ значить } B - \text{ это } \text{N}_2\text{O}_4$$

Условие



$$K_p = \frac{P(\text{N}_2\text{O}_4)}{P^2(\text{NO}_2)} = \frac{K_{np}}{K_{оср}}$$

~~$$P(\text{N}_2\text{O}_4) = \chi(\text{N}_2\text{O}_4) \cdot P_{общ} =$$~~

$$\frac{\chi(\text{N}_2\text{O}_4) \cdot 1}{(\chi(\text{NO}_2) \cdot 1)^2} = \frac{K_{np}}{K_{оср}}$$

$$\frac{\chi(\text{N}_2\text{O}_4)}{\chi^2(\text{NO}_2)} = \frac{K_{np}}{K_{оср}}$$

$$\frac{\frac{0,026}{0,04}}{\left(\frac{0,014}{0,04}\right)^2} = \frac{5,00 \cdot 10^{-3}}{K_{оср}}$$

$$K_{оср} = \frac{5,00 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{0,014}{0,04}\right)^2}{\frac{0,026}{0,04}} = 9,423 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{моль} \cdot \text{мм}}$$

Ответ: А - это NO_2
 В - это N_2O_4

$$K_{оср} = 9,423 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{моль} \cdot \text{мм}}$$

Чистовые

$$n(\text{CuS}) = \frac{m(\text{CuS})}{M(\text{CuS})} = \frac{9,6 \text{ г}}{96 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,1 \text{ моль}$$

$$n(\text{HNO}_3) = \frac{m(\text{HNO}_3)}{M(\text{HNO}_3)} = \frac{w \cdot m_{\text{р-ра}}(\text{HNO}_3)}{M(\text{HNO}_3)} = \frac{963 \cdot 120 \text{ г}}{63 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 1,2 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{w \cdot m_{\text{р-ра}}(\text{H}_2\text{SO}_4)}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = \frac{998 \cdot 142,7 \text{ г}}{98 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} =$$

$$= 1,427 \text{ моль}$$

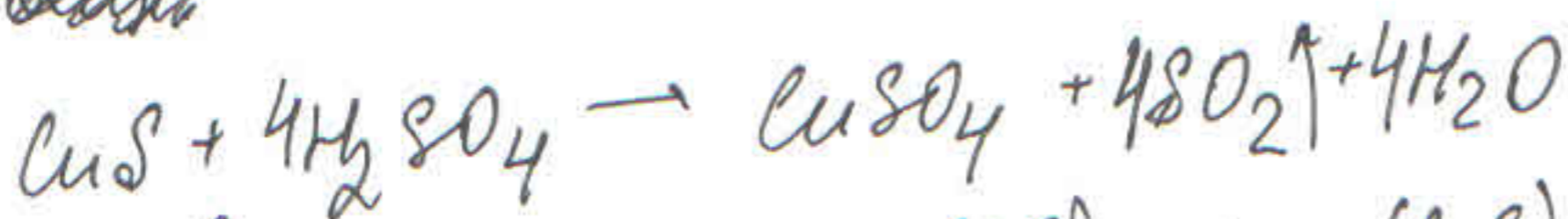


По уравнению реакции $n(\text{NO}_2) = 8 \cdot n(\text{CuS}) = 8 \cdot 0,1 = 0,8 \text{ моль}$

масса ^{вещества} ~~первоначальной~~ ^в ~~стакана~~ ^{после} ~~реакции~~ ^{равна:}

$$m_{1\text{в-в}} = 9,6 \text{ г} + 120 \text{ г} - m(\text{NO}_2) = 9,6 \text{ г} + 120 \text{ г} - n(\text{NO}_2) \cdot M(\text{NO}_2) =$$
$$= 9,6 \text{ г} + 120 \text{ г} - 0,8 \text{ моль} \cdot 46 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 92,8 \text{ г}$$

~~масса~~ ~~вещества~~



По уравнению р-ции $n(\text{SO}_2) = 4 \cdot n(\text{CuS}) = 4 \cdot 0,1 \text{ моль} = 0,4 \text{ моль}$

масса ^{вещества} ~~во~~ ^{втором} ~~стакане~~ ^{после} ~~реакции~~ ^{равна:}

$$m_{2\text{в-в}} = 9,6 \text{ г} + 142,7 \text{ г} - m(\text{SO}_2) = 9,6 \text{ г} + 142,7 \text{ г} - n(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2) =$$

$$= 9,6 \text{ г} + 142,7 \text{ г} - 0,4 \text{ моль} \cdot 64 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 126,7 \text{ г}$$

Разница масс стаканов ^{после} ~~реакции~~ ^{будет} ~~равна:~~

$$m_{2\text{в-в}} - m_{1\text{в-в}} = 126,7 \text{ г} - 92,8 \text{ г} = 33,9 \text{ г}$$

При добавлении $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ добавляемая масса будет выше убывающей, т.к. $M(\text{Na}_2\text{CO}_3) > M(\text{CO}_2)$.
 Значит, нам необходимо добавить некоторое количество $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ в первый стакан.



В первом стакане после первой реакции у нас осталось определенное количество HNO_3 :

$$n_{\text{ост}}(\text{HNO}_3) = n(\text{HNO}_3) - 2 \cdot n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1,2 \text{ моль} - 2 \cdot 0,1 \text{ моль} = 0,4 \text{ моль} \quad (\text{Кислая среда раствора})$$

Пусть $n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = x \text{ моль}$, тогда $n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = x \text{ моль}$.
 По уравнению реакции $n(\text{CO}_2) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = x \text{ моль}$.

$$33,9 \text{ г} = m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) - m(\text{CO}_2)$$

$$33,9 \text{ г} = n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) - n(\text{CO}_2) \cdot M(\text{CO}_2)$$

$$33,9 \text{ г} = x \text{ моль} \cdot 286 \frac{\text{г}}{\text{моль}} - x \text{ моль} \cdot 44 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

$$33,9 = 286x - 44x$$

$$242x = 33,9$$

$$x = 0,14 \Rightarrow n(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0,14 \text{ моль} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 0,14 \text{ моль} \cdot 286 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 40,04 \text{ г}$$

Заметим, что образование основного карбоната меди не будет здесь наблюдаться, потому что по итогам этой реакции среда в растворе так и осталась кислой:

$$n_{\text{ост}}(\text{HNO}_3) = n_{\text{ост}}(\text{HNO}_3) - 2 \cdot n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0,4 - 2 \cdot 0,14 = 0,12 \text{ моль}$$

Ответ: Разница масс: 33,9 г

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 40,04 \text{ г}$$

Условие

N4

$$pV = nRT$$

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{101,3 \text{ кПа} \cdot 11,154}{8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}} \cdot 453 \text{ К}} = 0,3 \text{ моль}$$

(количество паровой смеси диэтанов, образовавшихся при дегидратации спиртов.)

Пусть средняя формула для двух спиртов такая: $C_xH_{2x+1}OH$, тогда

$$n(C_xH_{2x+1}OH) = 0,3 \text{ моль}$$

$$m(C_xH_{2x+1}OH) = n(C_xH_{2x+1}OH) \cdot M(C_xH_{2x+1}OH)$$

$$15,9 = 93(14x + 18)$$

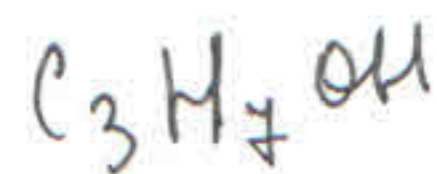
$$15,9 = 0,3 \cdot 14x + 0,3 \cdot 18$$

$$0,3 \cdot 14x = 10,5$$

$$x = \frac{10,5}{0,3 \cdot 14}$$

$$x = 2,5$$

(При условии, что ~~оба спирта~~ ~~равны~~ ~~одинаковы~~ а в одном спирте 2 атома углерода, а в другом 3 атома углерода, при условии, что ~~оба спирта~~ ~~равны~~ ~~одинаковы~~)

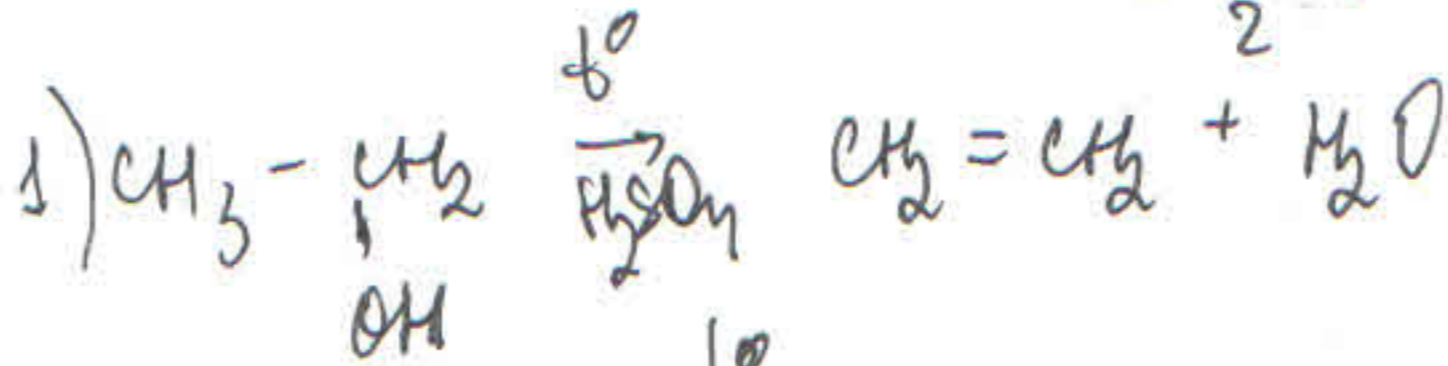


$$n(C_2H_5OH) = n(\text{---}OH) =$$

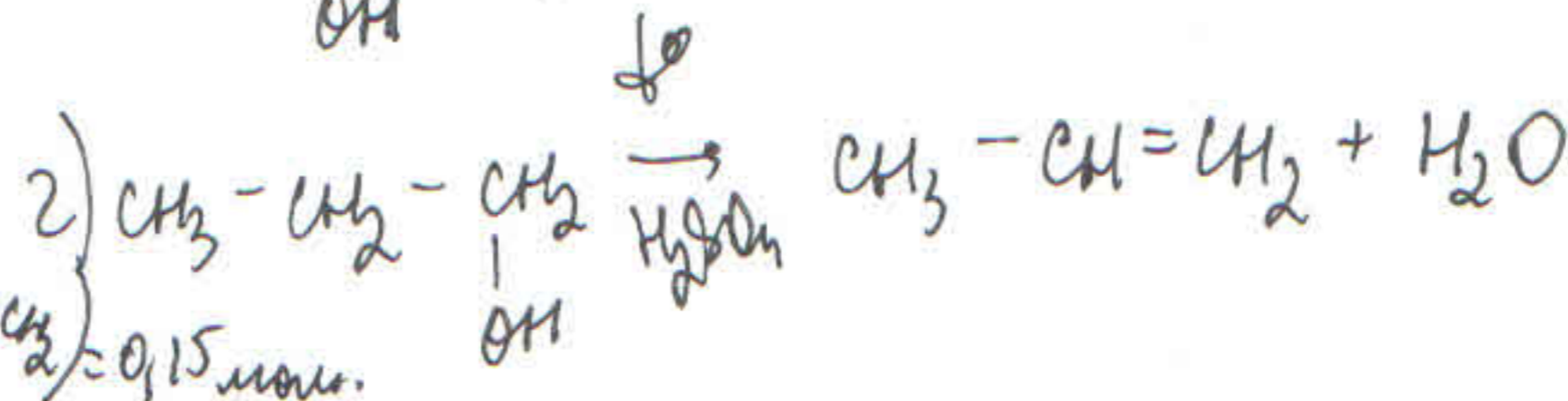
$$= \frac{93}{2} = 0,15 \text{ моль}$$

Дегидратация:

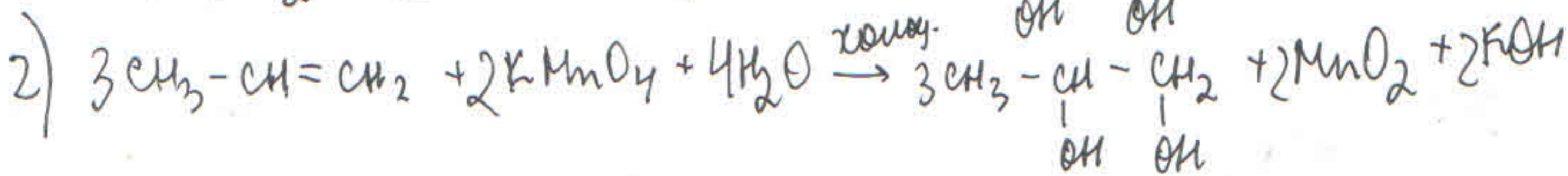
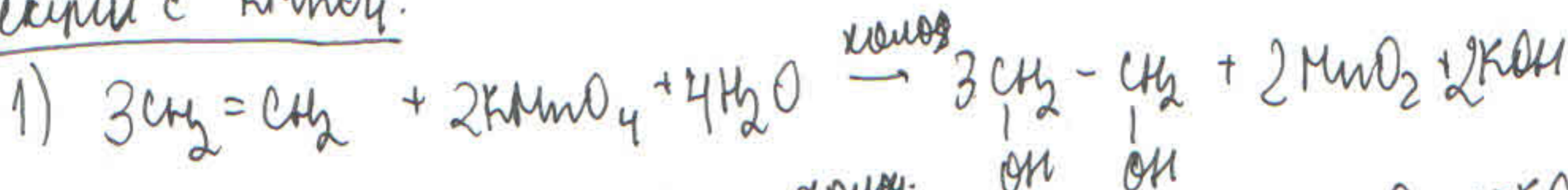
$$n(C_2H_4) = n(C_2H_5OH) = 0,15 \text{ моль}$$



$$n(\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH}_2) = n(\text{CH}_3 - \text{CH} = \text{CH}_2) = 0,15 \text{ моль}$$



Реакции с $KMnO_4$:



Условие

$$n_{\text{обм.}}(\text{KMnO}_4) = V(p-p_0) \cdot C_M = V(p-p_0) \cdot 0,4 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

~~n обм. (KMnO4)~~

По уравнениям реакции:

$$\frac{n(\text{C}_2\text{H}_4)}{3} = \frac{n_1(\text{KMnO}_4)}{2}$$

$$\frac{0,15}{3} = \frac{n_1(\text{KMnO}_4)}{2}$$

$$n_1(\text{KMnO}_4) = \frac{2 \cdot 0,15}{3} = 0,1 \text{ моль}$$

$$\frac{n(\text{CH}_3\text{-CH=CH}_2)}{3} = \frac{n_2(\text{KMnO}_4)}{2}$$

$$\frac{0,15}{3} = \frac{n_2(\text{KMnO}_4)}{2}$$

$$n_2(\text{KMnO}_4) = \frac{2 \cdot 0,15}{3} = 0,1 \text{ моль}$$

$$\begin{aligned} n_{\text{обм.}}(\text{KMnO}_4) &= n_1(\text{KMnO}_4) + n_2(\text{KMnO}_4) = \\ &= 0,1 \text{ моль} + 0,1 \text{ моль} = 0,2 \text{ моль} \end{aligned}$$

$$n_{\text{обм.}}(\text{KMnO}_4) = 0,2 \text{ моль}$$

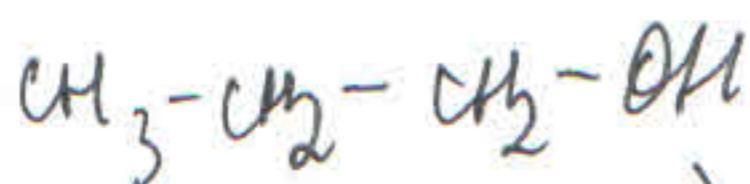
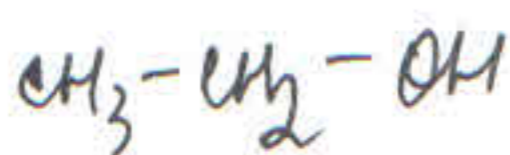
$$n_{\text{обм.}}(\text{KMnO}_4) = V(p-p_0) \cdot 0,4 \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

} =>

$$\Rightarrow 0,2 = V(p-p_0) \cdot 0,4$$

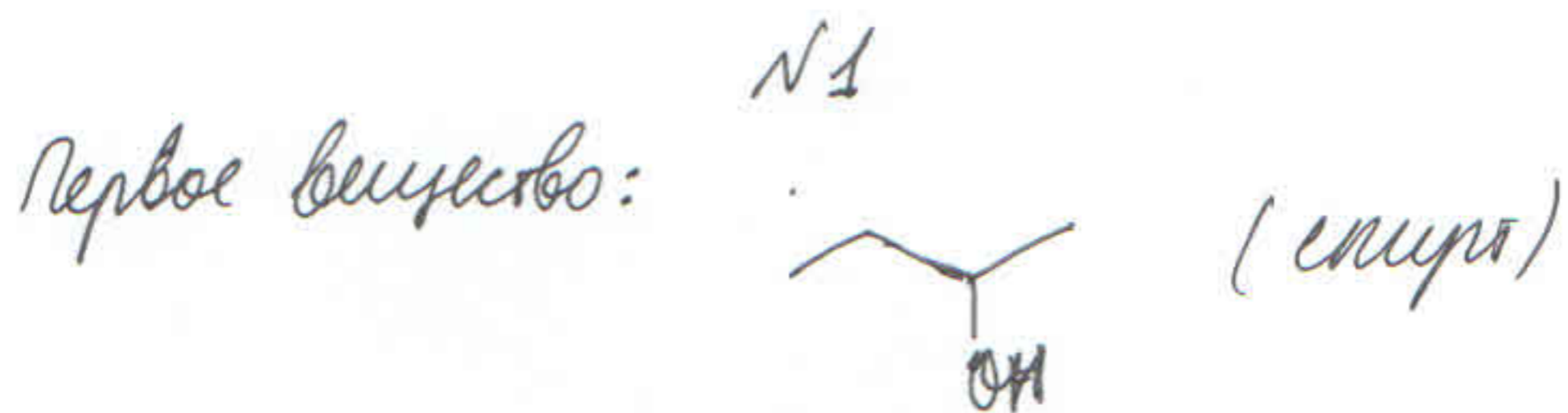
$$V(p-p_0) = \frac{0,2}{0,4} = 0,5 \text{ л}$$

Ответ:



$$V_{p-p_0}(\text{KMnO}_4) = 0,5 \text{ л}$$

Установите:



Характерная реакция:



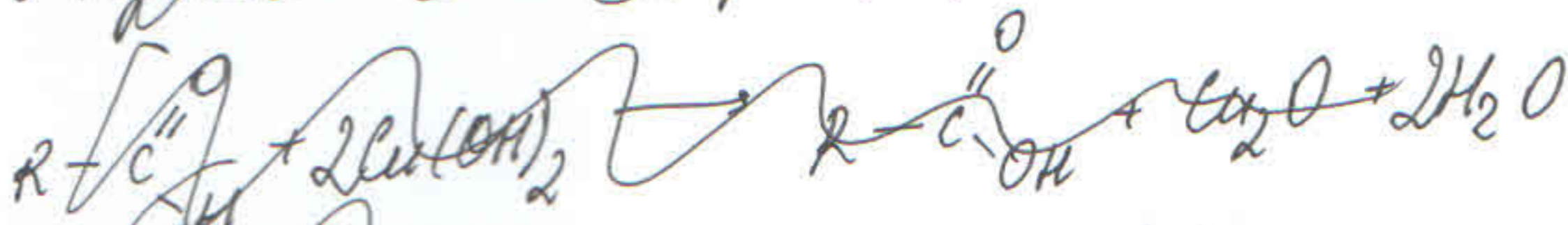
Установите

№6

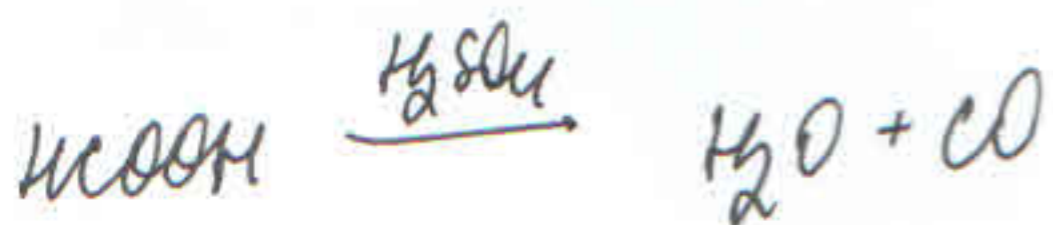
$$M_{\text{исход}}(B+Г) = 0,875 \cdot M(O_2) = 0,875 \cdot 32 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 28 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

$$n(Cu_2O) = \frac{m(Cu_2O)}{M(Cu_2O)} = \frac{21,6 \text{ г}}{144 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,15 \text{ моль}$$

α - это альдегид.
 Пусть α имеет формулу $R-C(=O)-H$, тогда



По уравнению реакции $n(R-C(=O)-H) = n(Cu_2O) = 0,15 \text{ моль}$



$$M(CO) = 28 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

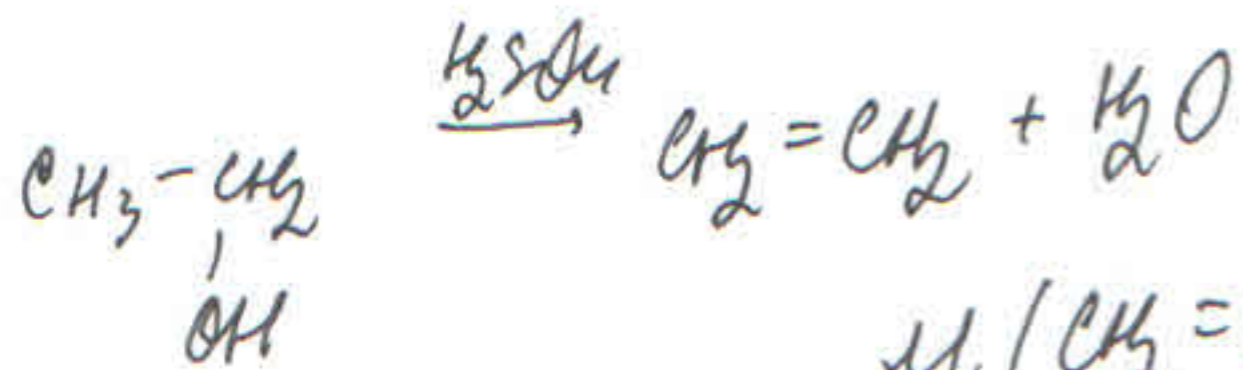
А - это HCOOH

Б - это CH_3-CH_2-OH

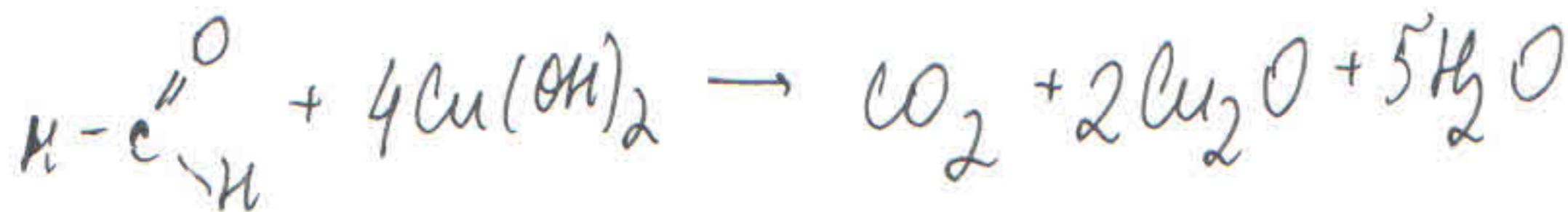
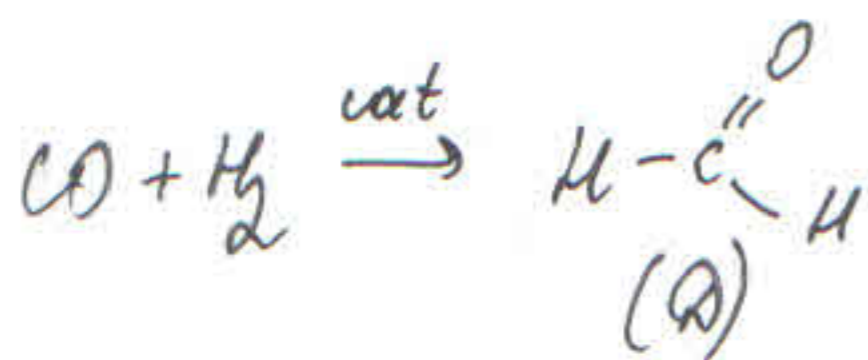
В - это CO

Г - это $CH_2=CH_2$

Д - это HCOH



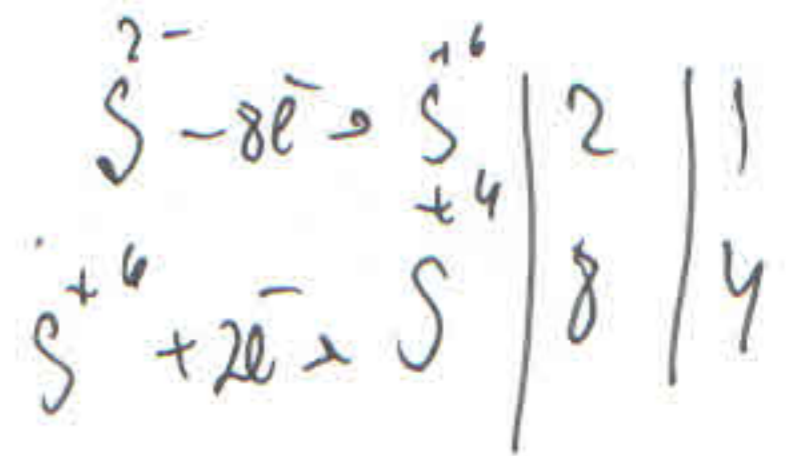
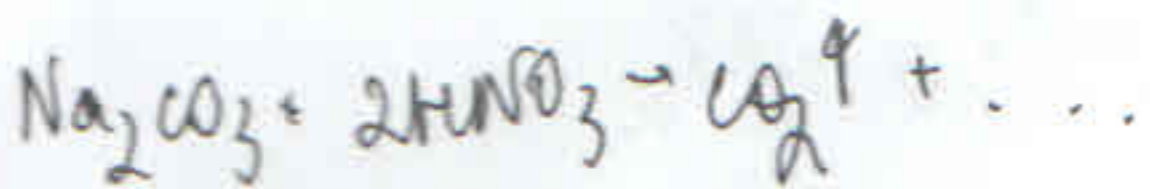
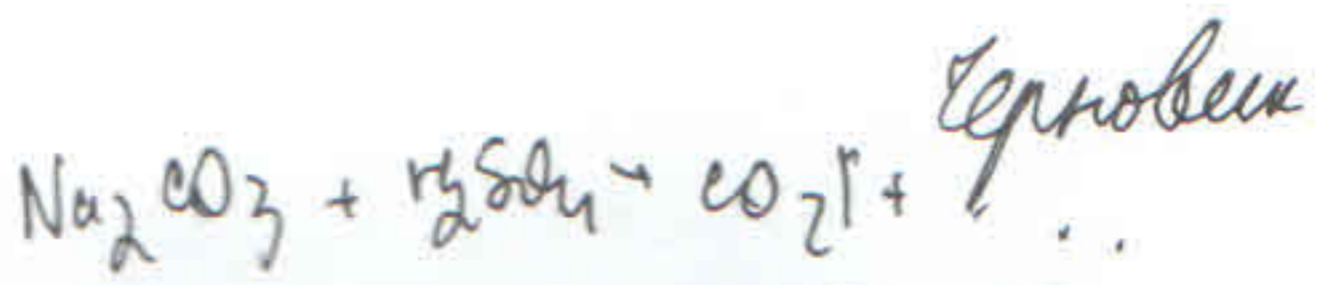
$$M(CH_2=CH_2) = 28 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$



По уравнению р-ции

$$n(HCOH) = \frac{n(Cu_2O)}{2} = \frac{0,15}{2} = 0,075 \text{ моль}$$

$$m(Д) = m(HCOH) = 0,075 \text{ моль} \cdot 30 \frac{\text{г}}{\text{моль}} = 2,25 \text{ г}$$



$\mu(A) = 14n + 18$

$\mu(B) = 14x + 18$

$(14n + 18) \cdot a + (14x + 18) \cdot b =$

$n(\text{CuS}) = 0,1 \text{ моль}$

$n(\text{HNO}_3) = 1,2 \text{ моль}$

$n(A+B) = 0,3$

$\frac{(14n + 18)a + (14x + 18)(0,3 - a)}{0,3} = 53$

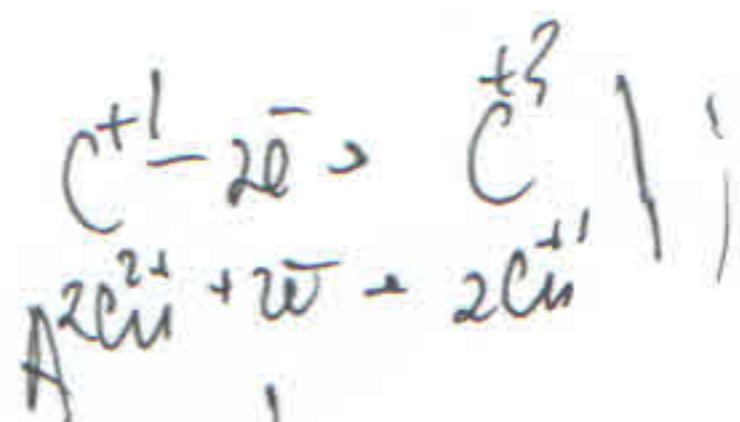
$33,9 = x \cdot 286 - 44x$

$242x = 33,9$

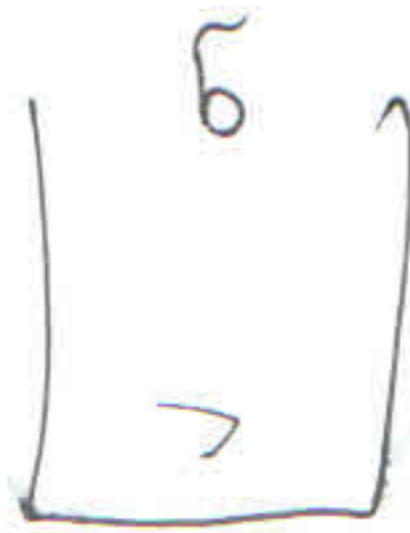
$x = 0,14$

$14na + 18a + 4,2x + 5,4 - 14ax - 18a = 15,9$

$14na + 4,2x + 5,4 - 14ax = 15,9$



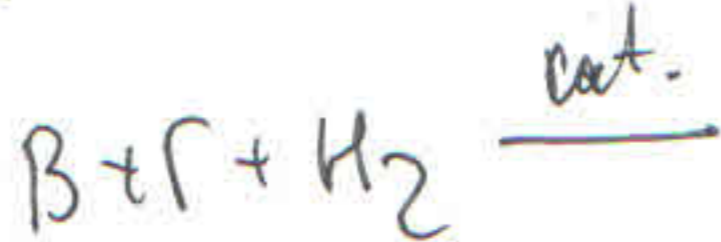
1:12



H_2SO_4

φ - аубгемг.

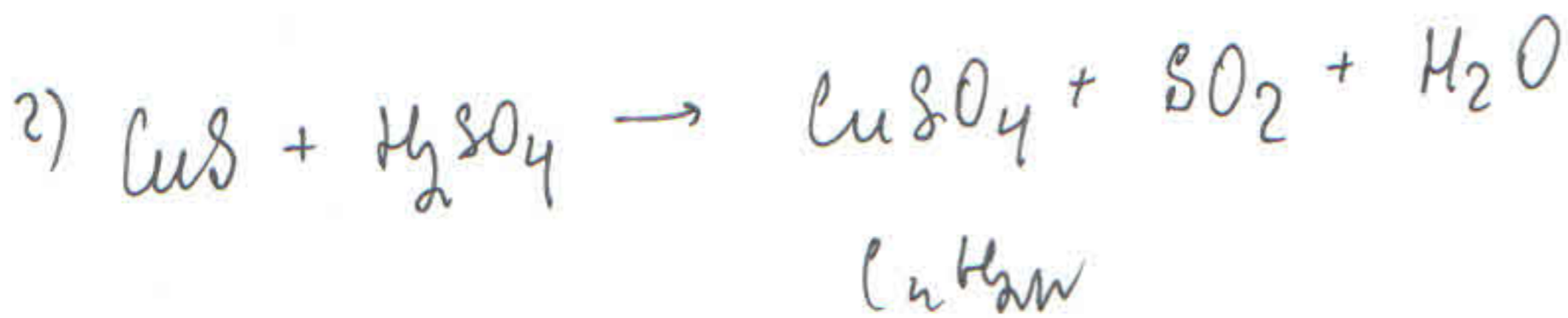
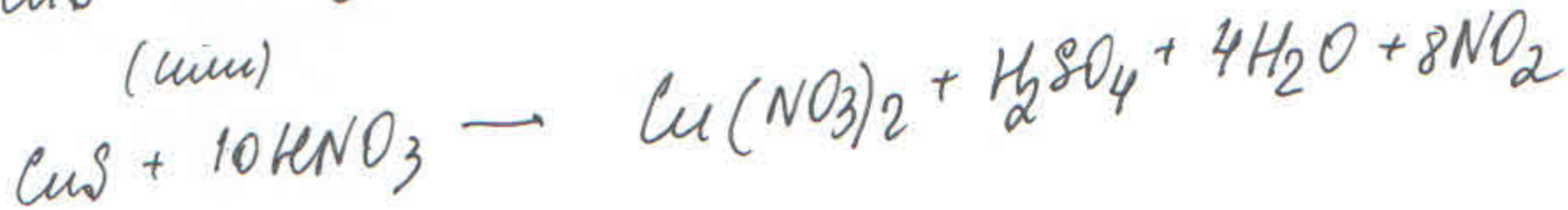
$\mu(B+Г) = 28 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$



Д
мг.

H_2CO_3

Умножение. Умножение
N5



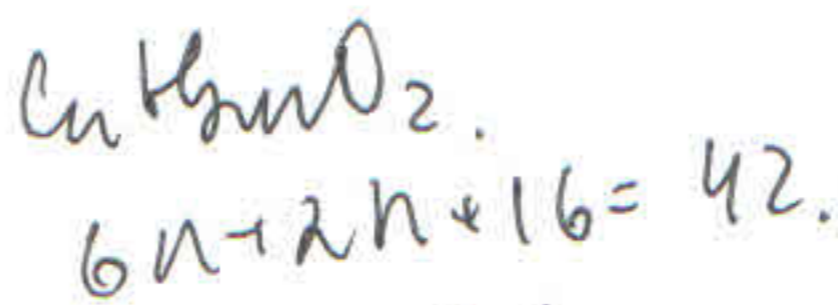
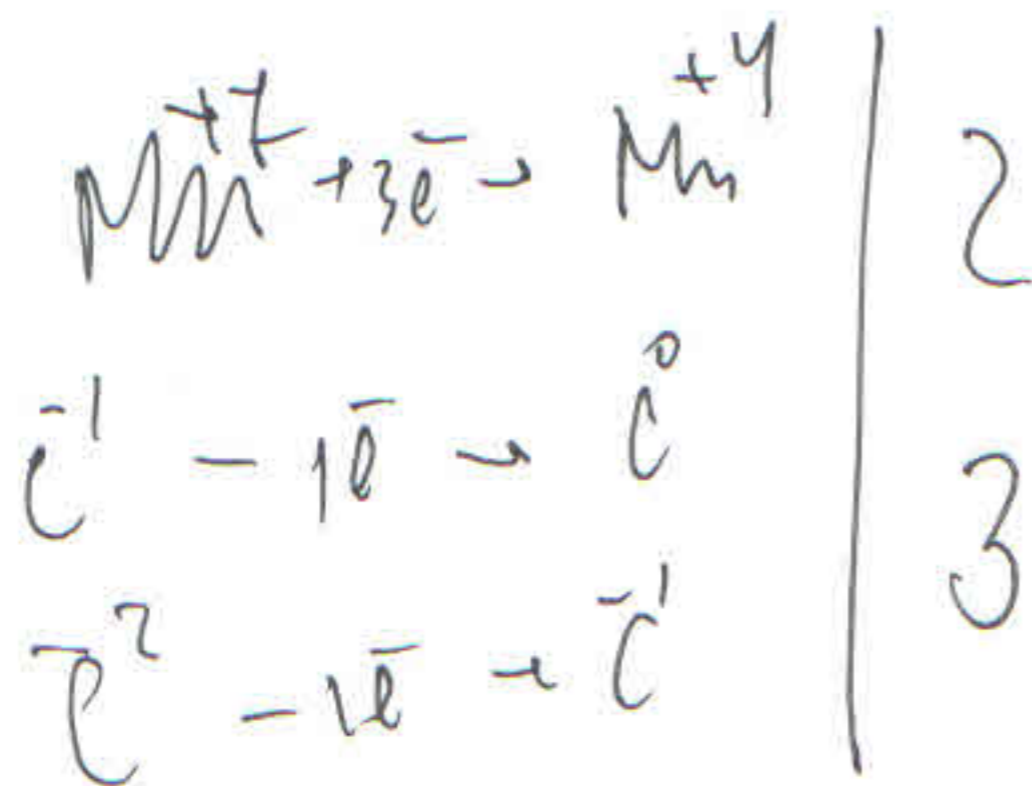
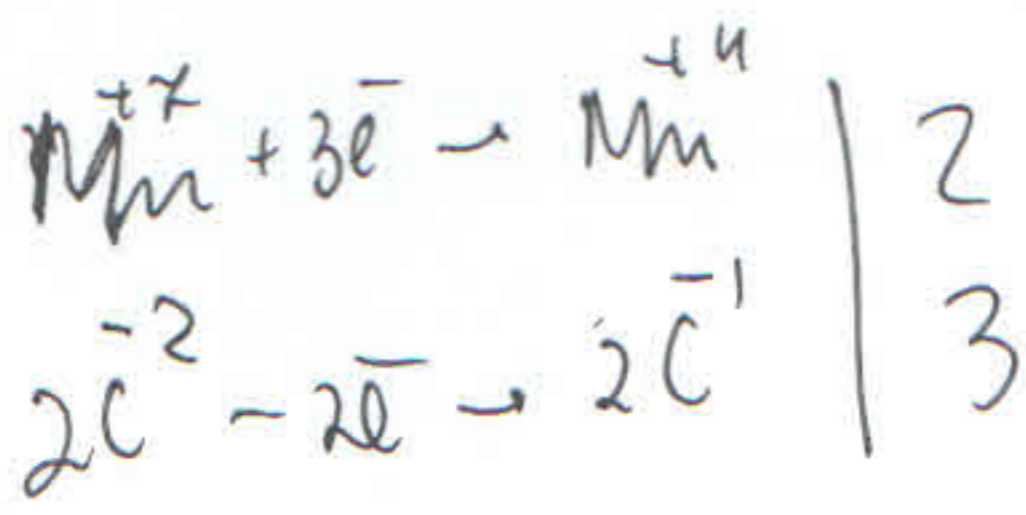
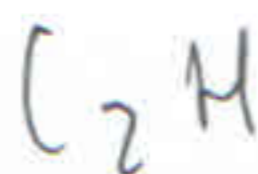
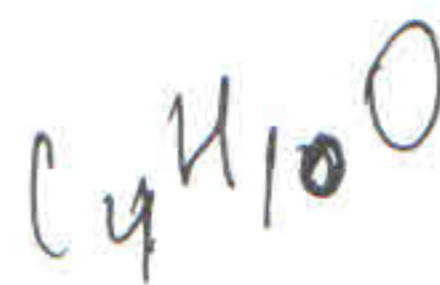
0,3 · (

0,3 · 14n = 10,5

n = 2,5

x = 2

n = 3



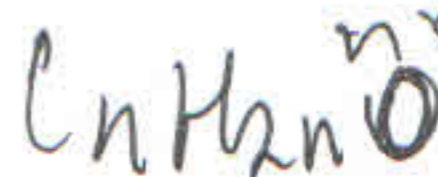
8n = 26
n = 26/8



~~6n + 2n + 2 + 8 = 32~~

~~8n + 10 = 32~~

~~8n = 22~~



6n + 2n + 8 = 32



6n + 2n + 8 = 42.

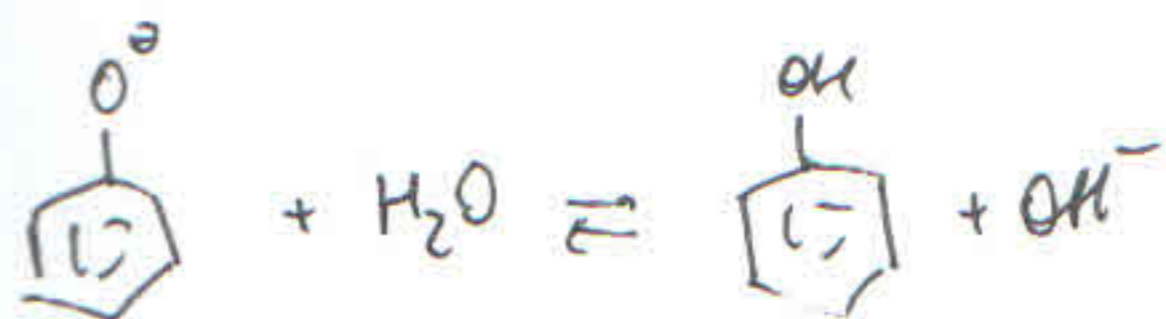
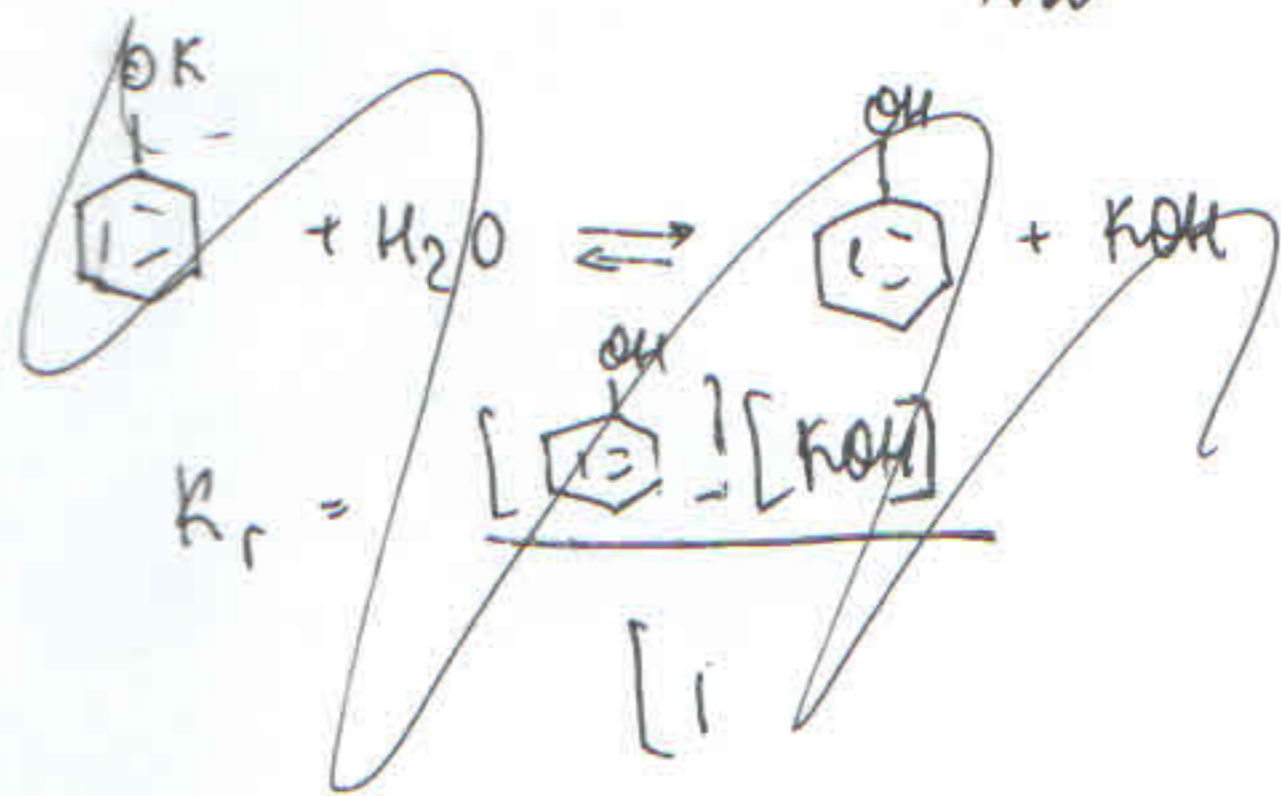
8n = 34

12

~~3~~

Методика
Упрощения

№2



$$K_r = \frac{[C_6H_5COO^-] \cdot [OH^-]}{[C_6H_5COOH]} = 10^{-3}$$

			OH^-
$\rho_{\text{в}}$	x	0	0
[]	$x \cdot 10^{-3}$	10^{-3}	10^{-3}

$$45,9 = \frac{0,014 \cdot \mu(A) + 0,026 \cdot \mu(B)}{0,04}$$

$$\begin{cases} 0,014 \mu(A) + 0,026 \mu(B) = 3,036 \\ \mu(B) = 2 \mu(A) \end{cases}$$

$$\frac{42,6}{32,4}$$

$$2A \Rightarrow B$$

$$V = 1 \text{ л}$$

$$T = 303 \text{ К}$$

$$n(B) : n(A) = 1,86 : 1$$

$$p = 1 \text{ атм.}$$

$$M_{\text{ср}} = 75,9 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

$$pV = nRT$$

$$n = \frac{pV}{RT} = \frac{101,3 \cdot 1}{8,314 \cdot 303} = 0,04 \text{ моль}$$

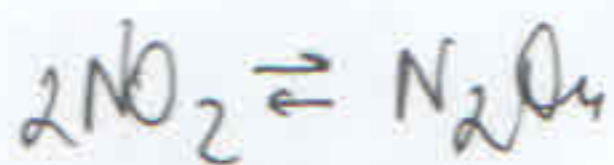
$$2,86x = 0,04$$

$$x = 0,014 \Rightarrow$$

$$n(A) = 0,014 \text{ моль}$$

$$n(B) = 0,026 \text{ моль}$$

Черновик.



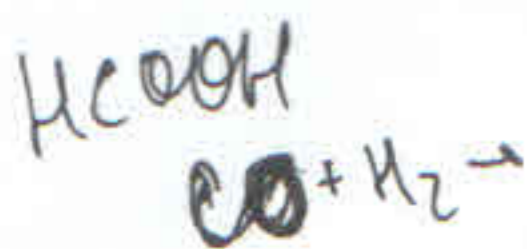
$$D_{\text{пр}} = K_1 [\text{NO}_2]^2$$

$$D_{\text{обр}} = K_{-1} [\text{N}_2\text{O}_4]$$

$$K_1 [\text{NO}_2]^2 = K_{-1} [\text{N}_2\text{O}_4]$$

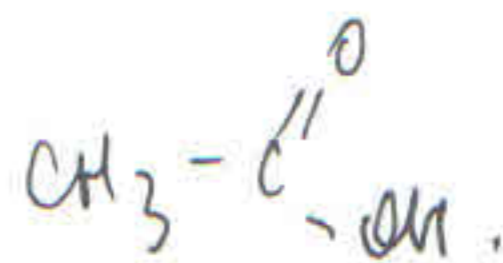
$$\frac{K_1}{K_{-1}} = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2} =$$

$$\begin{cases} 12n + 2n + 12x + 2x = 10,5 \\ 14n + 14x = 10,5 \\ 14(n+x) = 10,5 \\ (n+x) = \end{cases}$$



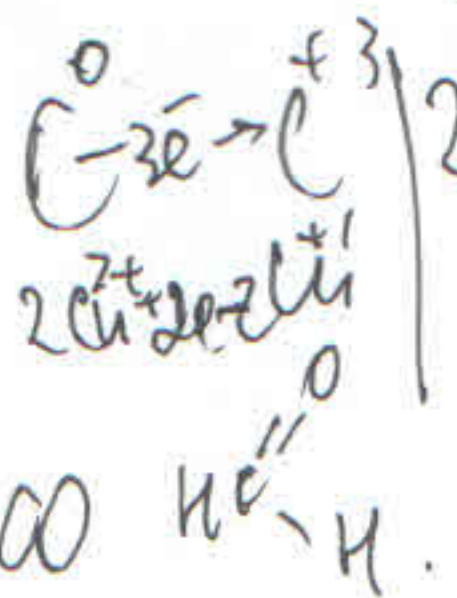
$$n(\text{NO}_2) = 0,014 \text{ моль}$$

$$n(\text{N}_2\text{O}_4) = 0,026 \text{ моль}$$



$$\left. \begin{matrix} m(\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH}) \\ m(\text{C}_x\text{H}_{2x+1}\text{OH}) \end{matrix} \right\} = 15,9 \text{ г}$$

$$\sqrt{\left(\begin{matrix} \text{Амол.} \\ \text{C}_n\text{H}_{2n} \\ \text{C}_x\text{H}_{2x} \end{matrix} \right)} = 11,15$$



$$pV = nRT$$

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

$$M_{\text{пр}} = 53$$

$$\left(\begin{matrix} \text{C}_n\text{H}_{2n} \\ \text{C}_x\text{H}_{2x} \end{matrix} \right) = 93$$

$$m(\text{C}_n\text{H}_{2n} + \text{C}_x\text{H}_{2x}) = 15,9 - 0,3 \cdot 18 = 10,5$$

$$\text{C}_n\text{H}_{2n+1}\text{OH} = 53$$

ушло $(x+y)$ моль H_2O
 $n(\text{H}_2\text{O}) = 0,3 \text{ моль}$