



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

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Химия**

ФИО участника олимпиады: **Жукова Ирина Николаевна**

Технический балл: **83**

Дата: **12 мая 2020 года**

Олимпиада «Ломоносов»

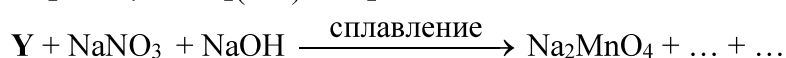
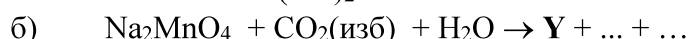
10 класс

1. Бинарное вещество имеет ионное строение. Общее число электронов во всех положительных ионах в 4 раза меньше общего числа электронов во всех отрицательных ионах. Предложите возможную формулу вещества и докажите, что она соответствует условию. Напишите электронную конфигурацию отрицательного иона в основном состоянии и положительного иона в первом возбужденном состоянии. **(8 баллов)**

2. Навеску кристаллогидрата гидрофосфата натрия массой 10.00 г выдержали в течение длительного времени при 300 °С. Масса полученного твердого вещества составила 7.47 г. Определите формулы исходного и конечного веществ. Ответ подтвердите расчетом.

(8 баллов)

3. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующим схемам превращений:



Определите неизвестные вещества.

(8 баллов)

4. Аммиак объемом 200 литров (н.у.) растворили в одном литре воды. Полученный раствор охладили до –60 °С, в результате чего из раствора выпал осадок – чистый лед. Рассчитайте массовую долю аммиака в исходном растворе и найдите массу выпавшего осадка, если известно, что массовая доля аммиака в насыщенном при –60 °С водном растворе равна 27%.

(10 баллов)

5. Навеску металла массой 8.96 г полностью растворили в 200 г 35%-ной азотной кислоты, при этом выделилось 5.376 л (н. у.) смеси двух газов, по плотности равной фтору. Найдите состав смеси (в об.%). Определите металл и напишите суммарное уравнение его растворения в этих условиях. Рассчитайте массовую долю нитрата металла в полученном растворе.

(14 баллов)

6. Теплоты сгорания аммиака и газообразного гидразина (N_2H_4) равны 317 и 534 кДж/моль соответственно. В обоих случаях продукты сгорания – азот и пары воды. Определите энергию связи N–N в гидразине, если энергия связи $\text{N}\equiv\text{N}$ составляет 945 кДж/моль. Примите, что энергия связи N–H одинакова в аммиаке и гидразине.

(16 баллов)

7. При нагревании происходит взаимодействие 17.7 г смеси изомерных органических веществ **A** и **B**, относящихся к одному классу соединений и не содержащих кратных связей углерод–углерод, со 100 мл 15%-ного водного раствора гидроксида калия (плотность 1.12 г/мл). Образуется смесь, состоящая из соли **C** и двух соединений **D** и **E**, являющихся ближайшими гомологами, которые образуются в мольном соотношении 1 : 2. Определите строение соединений **A** – **E**, приведите уравнения реакций.

(16 баллов)

8. Шпиль Главного здания МГУ имеет красивую желто-золотистую окраску, однако в нем нет ни грамма золота. Покрытие шпиля состоит из широко распространенного хрупкого, прозрачного, бесцветного материала **X**, в который для придания окраски добавлены оксиды **Y** и **Z**. В обоих оксидах элементы четырехвалентны. В оксиде **Y** масса элемента в 4.375 раза больше массы кислорода. Оксид **Z** получают из хлорида металла двумя способами: гидролизом с парами воды и прокаливанием в атмосфере кислорода. В первой реакции степени окисления элементов не изменяются, вторая является реакцией замещения. Для получения 100 г **Z** требуется минимально 237.5 г хлорида.

Назовите вещество **X** и перечислите 4 основных элемента, которые входят в его состав. Определите формулы веществ **Y** и **Z** (подтвердите расчетом). Напишите уравнения реакций получения **Z**.

(20 баллов)

Ирина Николаевна Жукова

Решения и ответы даны в виде приложенных файлов

Задача: 1

Ответ: -

Балл: 8

Задача: 2

Ответ: -

Балл: 8

Задача: 3

Ответ: -

Балл: 5

Задача: 4

Ответ: -

Балл: 10

Задача: 5

Ответ: -

Балл: 12

Задача: 6

Ответ: -

Балл: 16

Задача: 7

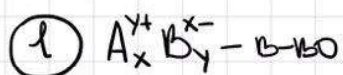
Ответ: -

Балл: 4

Задача: 8

Ответ: -

Балл: 20



$$4(a-y) \cdot x = (b+x)y \Rightarrow 4ax - 4xy = by + xy$$

↑ КОМЕР А ↓ КОМЕР В

$$4ax = by + 5xy$$

A - скорее всего щелочной Me
 B - галогенид (много таких ионных соед.)

$$\Rightarrow x = y = 1$$

$$4a = b + 5$$

Подбором находим, что ничего не подходит

Пусть A - ЩЗМ, тогда $y = 2, x = 1$

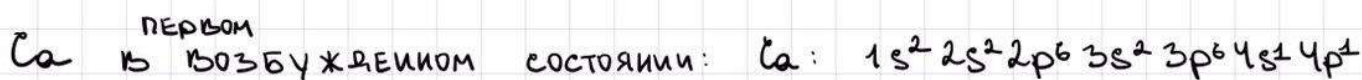
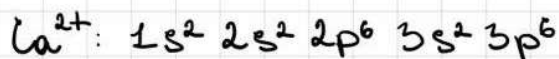
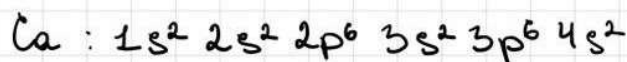
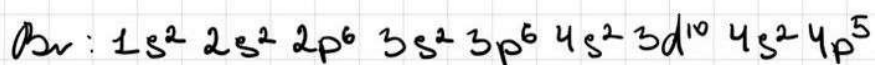
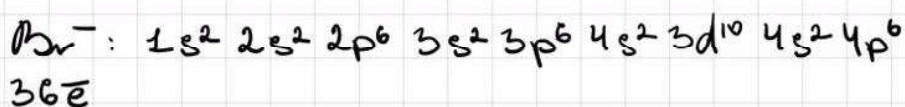
$$\Rightarrow 4a = 2b + 10$$

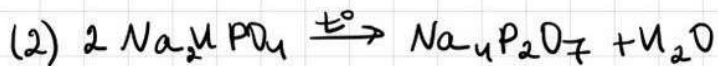
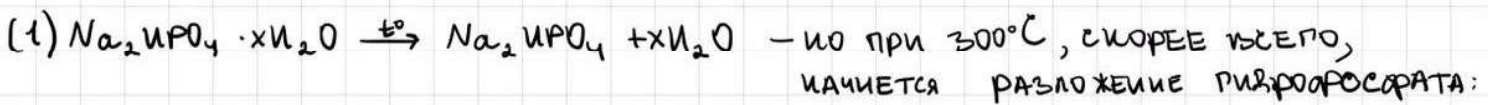
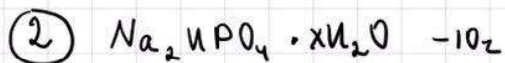
подходит $CaBr_2$:

$$Ca^{2+} \quad 18e \quad 2Br^- - (35+1) \cdot 2 = 72e = 18 \cdot 4$$

Тип связи действительно ионный, т.к. Ca - типичный металл, а Br - неметалл (галоген)

и у них существенно отличаются электроотрицательности





$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{10 - 7,47}{18} = 0,14 \text{ моль}$$

$$n_{\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7} = \frac{7,47}{266} = 0,028 \text{ моль} \quad \Rightarrow \quad n_{\text{Na}_2\text{HPO}_4} = 0,056 \text{ моль}$$

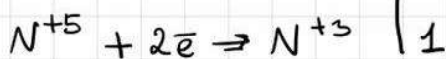
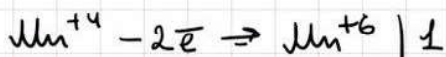
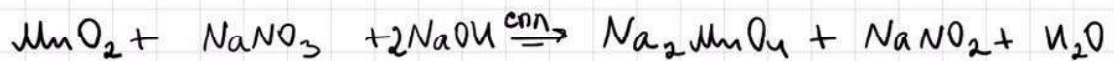
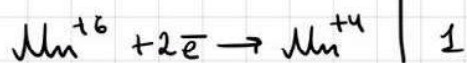
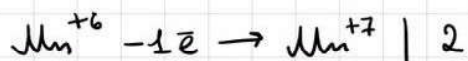
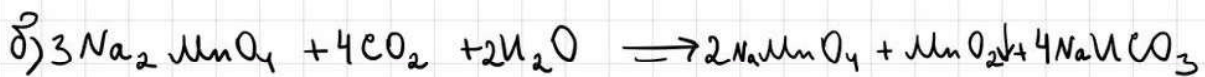
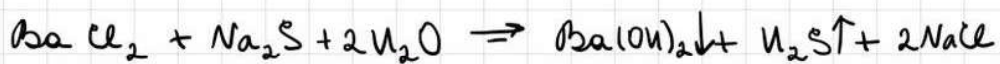
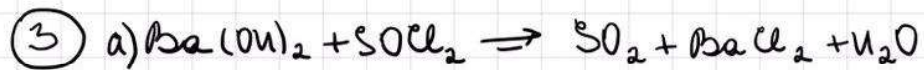
$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{из}} = 0,14 - n_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{из}} = 0,112 \text{ моль}$$

$$\Rightarrow \text{Na}_2\text{HPO}_4 : \text{H}_2\text{O} = 0,056 : 0,112 = 1 : 2$$

~~кристаллогидрат~~ $\boxed{\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}}$ $n_0 = \frac{10}{178} = 0,056 \text{ моль}$

конечное в-во: $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ $n = 0,028$, $m = 7,45\text{г}$
выходится!

Ответ: $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$



$$\textcircled{4} \quad \nu_{\text{NH}_3} = \frac{200 \text{ л}}{22,4 \text{ л/моль}} = 8,929 \text{ моль} \quad \text{в } 1 \text{ л } \text{H}_2\text{O} \Rightarrow c_{\text{NH}_3} = 8,93 \text{ М}$$

$$m_{\text{NH}_3} = \left(\frac{200}{22,4}\right) \text{ моль} \cdot 17 \text{ г/моль} = 151,8 \text{ г}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = V \cdot \rho = 1 \text{ л} \cdot 1 \text{ г/мл} = 1 \text{ кг} \Rightarrow \omega_{\text{NH}_3} = \frac{m_{\text{NH}_3}}{m_{\text{NH}_3} + m_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{151,8}{1000 + 151,8} = 0,132$$

$$\text{или } \boxed{\omega_{\text{NH}_3} = 13,2\%}$$

Пусть в лед превратилось x г. воды. Тогда

$$\frac{151,8}{(1000 - x) + 151,8} = 0,27 \quad (\text{получили насыщенный р-р.})$$

$$\Rightarrow \frac{151,8}{0,27} = 1151,8 - x \Rightarrow \boxed{x = 589,6 \text{ г}} \quad \text{— столько осадка чистого льда}$$

Ответ: 13,2%; 589,6 г

5) $m_{\text{Me}} = 8,96 \text{ г}$: $\rho_{\text{см}} = \rho_{\text{F}_2} \Rightarrow M_{\text{см}} = M_{\text{F}_2} = 19 \cdot 2 = 38 \text{ г/моль}$

При взаимодействии Me с HNO_3 могут выделяться $\text{NO}, \text{NO}_2, \text{O}_2, \text{N}_2\text{O}, \text{N}_2$
ГАЗЫ

Т.к. у нас смесь газов, выделился NO_2 и O_2
 (NO и остальные могут ок-ся кислородом)

Пусть x моль NO_2 и $(1-x)$ моль O_2 , тогда

$$M_{\text{см}} = x_{\text{NO}_2} \cdot M_{\text{NO}_2} + x_{\text{O}_2} \cdot M_{\text{O}_2} = 46x + (1-x) \cdot 32 = 46x - 32x + 32 = 38$$

$$\Rightarrow x = 3/7$$

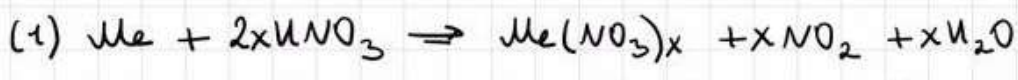
$\Rightarrow \text{NO}_2 : \text{O}_2 = 3 : 7$

$\nu_{\text{ГАЗОВ ОБЩ}} = \frac{5,376}{22,4} = 0,24 \text{ моль} \Rightarrow \nu_{\text{NO}_2} = \frac{0,24}{3+7} \cdot 3 = 0,072 \text{ моль}$

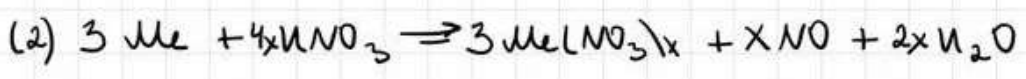
ТАКЖЕ МОГЛИ ОБР-ся NO и NO_2 , что БОЛЕЕ ВЕРОЯТНО

$30x + (1-x) \cdot 46 = 38 \Rightarrow x = \frac{1}{2} \Rightarrow \text{NO} : \text{NO}_2 = 1 : 1 \Rightarrow \nu_{\text{NO}_2} = \nu_{\text{NO}} = 0,12 \text{ моль}$

ЗАПИШЕМ РЕАКЦИЮ РЕДИЯ В ПРЕДПОЛОЖЕНИИ, ЧТО Me ИМЕЕТ ВАЛЕНТНОСТЬ x



$$\begin{array}{l|l} \text{Me}^0 - x\bar{e} \rightarrow \text{Me}^{x+} & 1 \\ \text{N}^{+5} + 1\bar{e} \rightarrow \text{N}^{+4} & x \end{array} \quad \rightarrow \nu_{\text{Me}} = \frac{\nu_{\text{NO}_2}}{x}$$

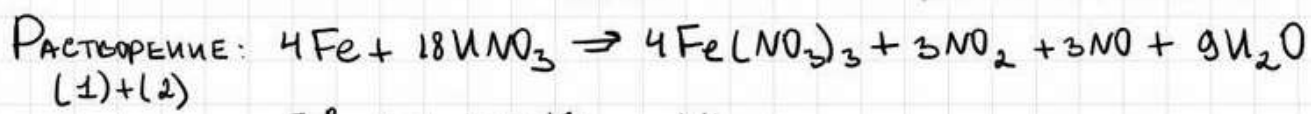


$$\begin{array}{l|l} \text{Me}^0 - x\bar{e} \rightarrow \text{Me}^{x+} & 3 \\ \text{N}^{+5} + 3\bar{e} \rightarrow \text{N}^{+2} & x \end{array} \quad \rightarrow \nu_{\text{Me}} = 3 \frac{\nu_{\text{NO}}}{x}$$

$\Rightarrow \nu_{\text{Me}} = \frac{\nu_{\text{NO}_2} + 3\nu_{\text{NO}}}{x} = \frac{0,48}{x} \Rightarrow M_{\text{Me}} = \frac{m_{\text{Me}}}{\nu_{\text{Me}}} = \frac{8,96}{0,48} x = 18,67x$

При $x=3$ $M_{\text{Me}} = 56 \Rightarrow$ МЕТАЛЛ - Fe (ЖЕЛЕЗО), $\nu_{\text{Fe}} = \frac{8,96}{56} = 0,16 \text{ моль}$

СОСТАВ СМЕСИ: $\varphi_{\text{NO}_2} = \frac{0,12 \cdot 22,4}{5,376} = 0,5$, или $\varphi_{\text{NO}_2} = \varphi_{\text{NO}} = 50\%$

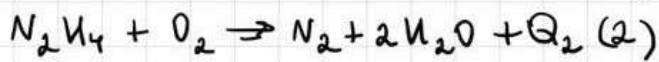
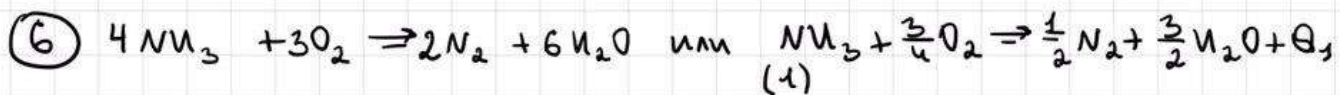


$$\begin{array}{l|l} \text{Fe}^0 - 3\bar{e} \rightarrow \text{Fe}^{+3} & 4 \\ \text{N}^{+5} + 1\bar{e} \rightarrow \text{N}^{+4} & 4 \\ \text{N}^{+5} + 3\bar{e} \rightarrow \text{N}^{+2} & 3 \end{array}$$

ВСЕГО ВЫДЕЛИЛОСЬ: $m_{\text{NO}_2} + m_{\text{NO}} = 0,12 \cdot 46 + 0,12 \cdot 30 = 9,12 \text{ г ГАЗА}$

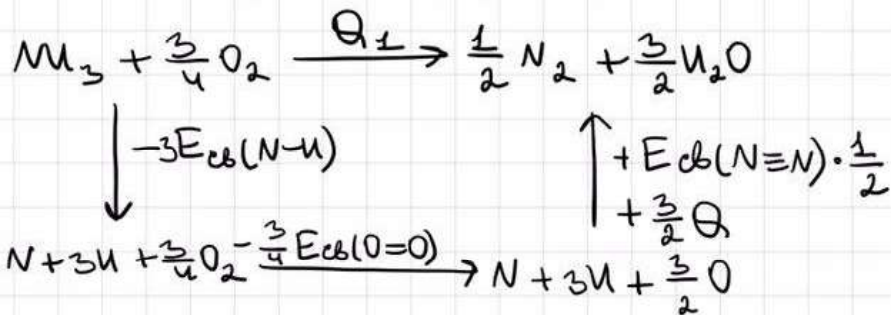
$\Rightarrow \omega(\text{FeNO}_3) = \frac{0,16 \cdot (56 + 62 \cdot 3)}{0,16 \cdot 242 + \frac{200 - 9,12}{\rho_{\text{р}}}} = 0,169$ или $16,9\%$

Объем: $50\% \text{ NO}_2, 50\% \text{ NO}, \text{Fe}; 16,9\%$

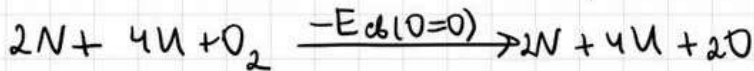
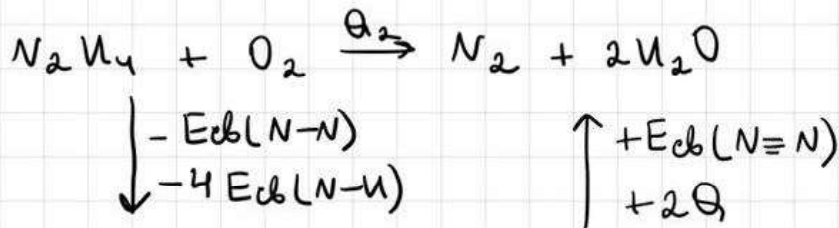


Пусть E — искомая $E_{\text{N-N}}$, $E_1 = E_{\text{N-H}}$, $E_2 = E_{\text{N}\equiv\text{N}}$, Q — ТЕПЛОТА ОБР-ия H_2O
 $E_3 = E_{\text{O=O}}$

Тогда для реакции (1) и (2) запишем:



$$\Rightarrow -3E_{\text{cb}}(\text{N-H}) - \frac{3}{4}E_{\text{cb}}(\text{O=O}) + \frac{1}{2}E_{\text{cb}}(\text{N}\equiv\text{N}) + \frac{3}{2}Q = Q_1$$



$$\Rightarrow -3E_1 - \frac{3}{4}E_3 + \frac{1}{2}E_2 + \frac{3}{2}Q = Q_1 \quad | \times 4$$

$$-E - 4E_1 - E_3 + E_2 + 2Q = Q_2 \quad | \times 3$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -12E_1 - 3E_3 + 2E_2 + 6Q = 4Q_1 \\ -3E - 12E_1 - 3E_3 + 3E_2 + 6Q = 3Q_2 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -12E_1 - 3E_3 + 2E_2 + 6Q = 4Q_1 \\ -3E - 12E_1 - 3E_3 + 3E_2 + 6Q = 3Q_2 \end{array} \right.$$

$$2E_2 + 3E - 3E_2 = 4Q_1 - 3Q_2 \Rightarrow -E_2 + 3E = 4Q_1 - 3Q_2$$

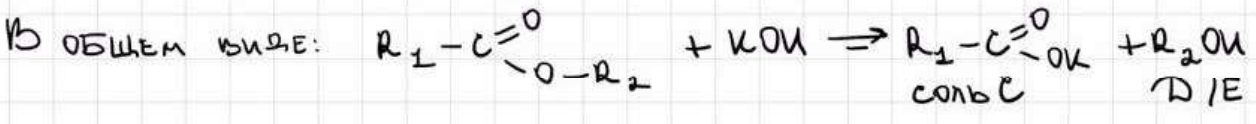
$$\Rightarrow E = \frac{4Q_1 - 3Q_2 + E_2}{3}$$

$$E = 203,67 \text{ кДж/моль}$$

Ответ: 203,67 кДж/моль

7) $\frac{A, B}{17,72}$ 100мл 15% KOH $\rho = 1,122/\text{мл} \Rightarrow \nu_{\text{KOH}} = 0,3 \text{ моль}$

Т.к. обр-ся соль \Rightarrow произошел гидролиз и иск-ва-сложные эфиры (вероятно)



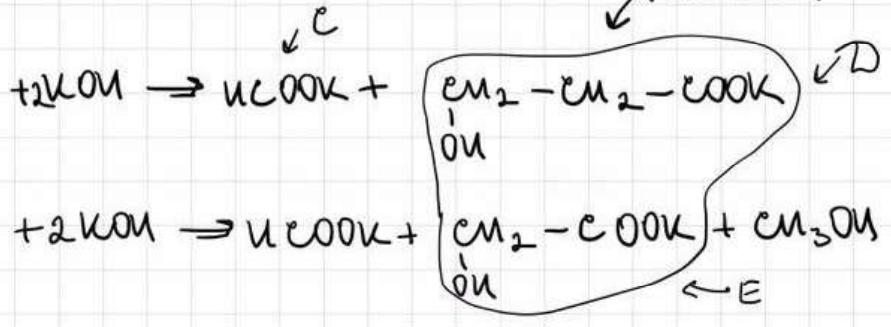
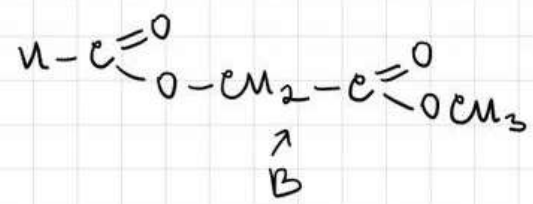
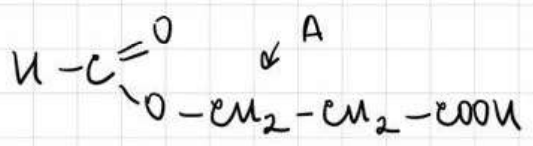
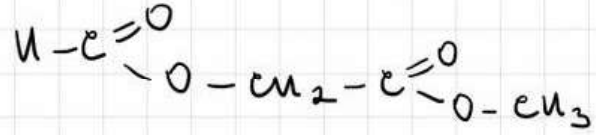
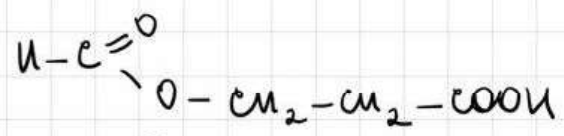
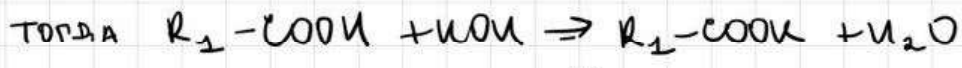
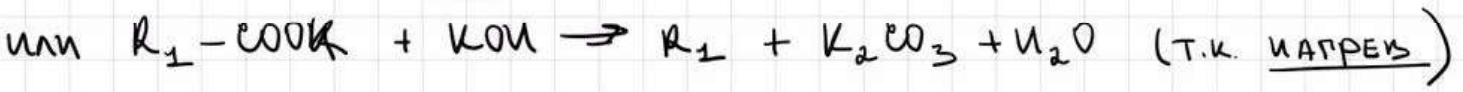
$M_A = M_B$ (изомеры), т.к. D и E обр-ся 1:2 $\Rightarrow \nu_A = \frac{1}{2} \nu_B$ в иск. смеси (в предположении, что A и B - сложные эфиры)

Тогда $\nu_B = 2\nu_A$, $3\nu_A = \nu_{\text{KOH}} \Rightarrow 3\nu_A = 0,3 \text{ моль}$

Тогда $M_A = M_B = \frac{17,7}{0,3} = 59 \text{ г/моль}$ - таких к-в нет.

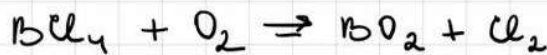
Тогда A и B реагируют с KOH не 1:1, а 1:2. Тогда

$M_A = M_B = \frac{17,7}{0,3/2} = 118 \text{ г/моль}$ - есть фрагменты



ромолоры

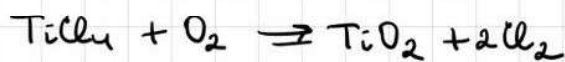
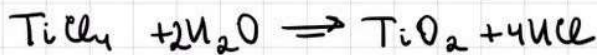
8) Оксиды: Y: $\overset{IV}{A}O_2$, $M(A) = 4,375 \text{ m(0)} = 4,375 \cdot 16 \cdot 2 = 140$ - это Ce (Церий)
 Z: BO_2 \Rightarrow $A-CeO_2$



$$\frac{237,5}{B + 35,5 \cdot 4} = \frac{100}{B + 16 \cdot 2} \Rightarrow 237,5B + 7600 = 100B + 14200 \Rightarrow B = 48 \text{ г/моль}$$

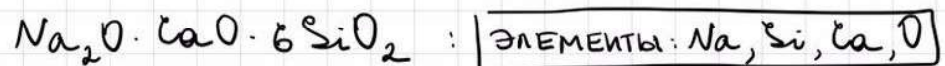
\Rightarrow это Ti (Титан)

$Z - TiO_2$



B-во X - вероятно, стекло, основным компонентом ξ явл-ся кварц SiO_2

Стекло в общем случае состоит из оксидов SiO_2 , CaO , Na_2O



Аналоги $CeO_2, TiO_2; (Na, Si, Ca, O)$