



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

## **ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА**

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Химия**

ФИО участника олимпиады: **Кундер Владимир Игоревич**

Технический балл: **95**

Дата: **12 мая 2020 года**

## Олимпиада «Ломоносов»

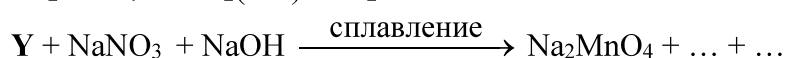
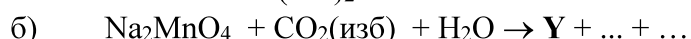
### 10 класс

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 ( $\text{N}_2\text{H}_4$ ) 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)**

Владимир Игоревич Кундер

Решения и ответы даны в виде приложенных файлов

**Задача: 1**

Ответ: -

Балл: 8

**Задача: 2**

Ответ: -

Балл: 8

**Задача: 3**

Ответ: -

Балл: 7

**Задача: 4**

Ответ: -

Балл: 10

**Задача: 5**

Ответ: -

Балл: 10

**Задача: 6**

Ответ: -

Балл: 16

**Задача: 7**

Ответ: -

Балл: 16

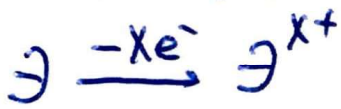
**Задача: 8**

Ответ: -

Балл: 20

№1

Число электронов в нейтральном, незаряженном атоме равно его порядковому номеру в таблице Менделеева. Чтобы определить число  $e^-$  в слое нужно отнять от порядкового числа атома  $x e^-$  (для катиона  $Z^{x+}$ , где  $Z$  - искомого элемент,  $x+$  - заряд катиона) или прибавить  $y e^-$  (для аниона  $Z' y^-$ , где  $Z'$  - это другой элемент, а  $y^-$  - это заряд аниона).



Так как в-во бинарное, то его можно записать как  $A_x B_y ((A^{y+})_x (B^{x-})_y)$ .

Отношение числа  $e^-$  анионов по условию  $0,4$  раза больше числа  $e^-$  в катионах:

$$\underline{y \cdot N_{e^-} \text{ в } B(\text{нейтр.}) + (x \cdot y) e^-} = 4$$

$$x \cdot N_{e^-} \text{ в } A(\text{нейтр.}) - (x \cdot y) e^-$$

Далее необходимо совершить подбор в-в исходя из след. соображений:

- 1) это полное соединение, т.е.  $A$  и  $B$  имеют большую валентность в электроотрицательности (вероятно образ-е соли, оксида, гидроксида...)
- 2) т.к. число электр. паритетается в разор, то вероятно предположить, что катион имеет меньший порядк. номер, а анион побольше, т.е.

рационально рассматривать ~ до 5 периода.

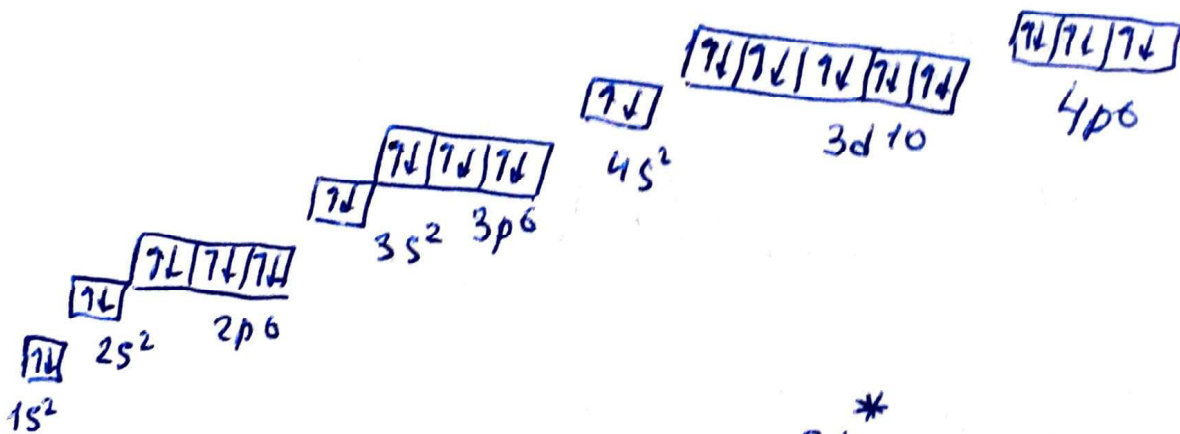
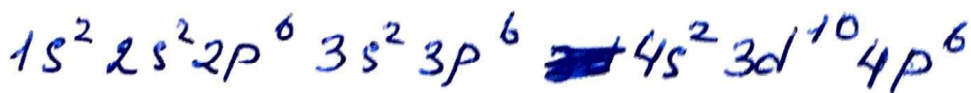
Подбирая атома, получаем:

Например,  $\text{CaBr}_2$  при  $y = 2$

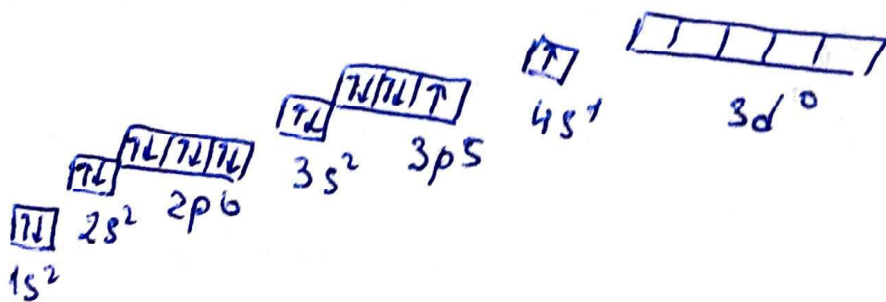
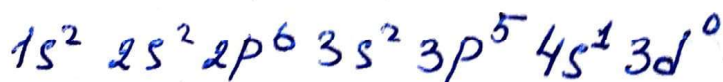
$$\frac{2 \cdot \overset{\substack{\text{входить Br} \\ \downarrow}}{35e^-} + \overset{\substack{\text{от Ca} \\ \swarrow}}{2e^-}}{\underset{\substack{\text{входит Ca} \\ \uparrow}}{20e^-} - \underset{\substack{\text{перешли к Br} \\ \uparrow}}{2e^-}} = \frac{72e^-}{18e^-} = \textcircled{4}$$

\* можно подобрать и другие варианты

• Электр. конф-ия аниона  $\text{Br}^-$ :

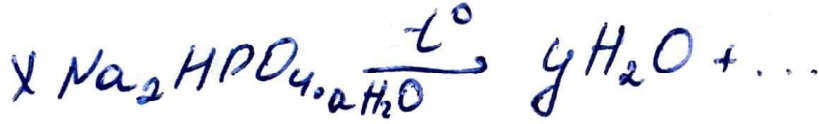


• Электр. конф-ия катиона  $\text{Ca}^{2+}$  в том же воз. состоянии\*



Гидрофосфат натрия - 970 коло состава

Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>. Необходимо определить, какие в-во могут образовываться в р-те разложения Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>. Элементарный состав: Na, H, P, O. Из данных в-во можно предположить образование летучих при большой температуре в-во H<sub>2</sub>O и O<sub>2</sub>, т.к. соединений с Na или же с P, лет. явл. летучими здесь образ-ся не может. Как известно, при разложении часто выделяется вода H<sub>2</sub>O (O<sub>2</sub> редко). Ощутительно - всесторонний. реакция не происходит, тогда:



~~на  $Na_2HPO_4$  ...~~

Очевидно, что уменьшение массы происходит за счёт выделения воды (в том числе кристаллизационной).

$\Delta m = m(H_2O) = 10,2 - 7,472 = 2,532$

$n(H_2O) = \frac{2,532}{18 \text{ г/моль}} = 0,1405 \text{ моль}$

~~$n(H_2O) = n(Na_2HPO_4) \cdot 2$  ...~~

Предположим, что разложение Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> не происх.:

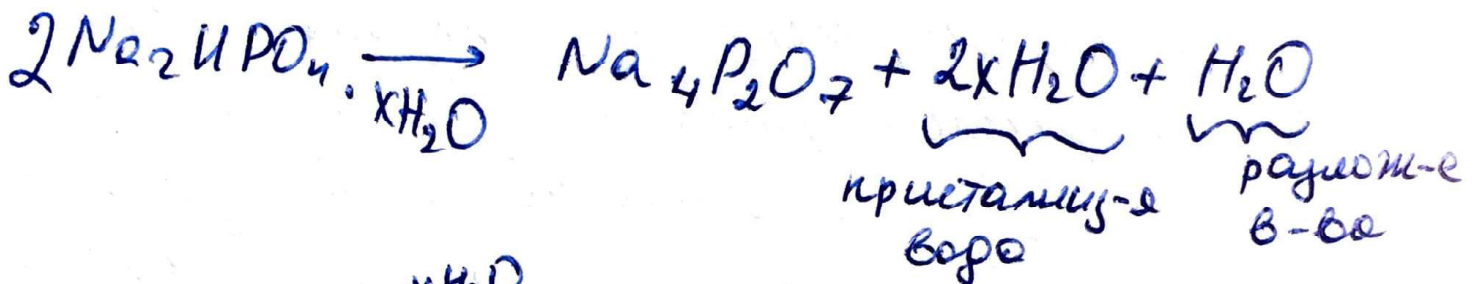
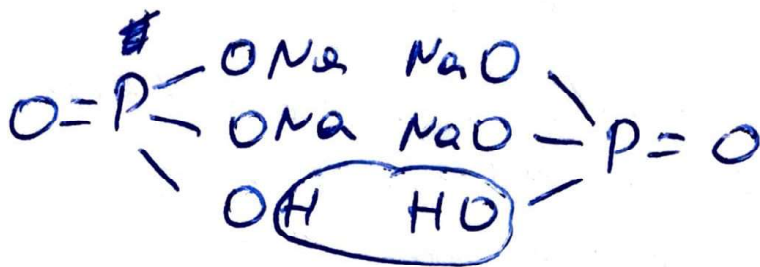


$m(H_2O) = 10 \cdot w(H_2O)_{\text{в кристал-те}} = 10 \cdot \frac{(18 \cdot 2) \text{ г/моль}}{178 \text{ г/моль}} = 2,022$

что явно меньше образующегося количества воды ( $m(H_2O) = 2,532 > 2,022$ )  $\Rightarrow$  разложение

прошхорит.

Тогда: разложение протекает по схеме:



$$n(\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = \frac{n(\text{H}_2\text{O}) \cdot 2}{2x+1} = \frac{0,281}{2x+1} =$$

$$= \frac{m(\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O})}{M(\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O})} = \frac{10}{142+18x}$$

откуда  $x=2$

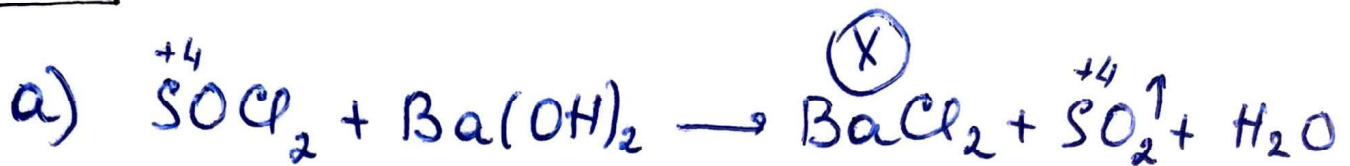
Целое начальное в-во :



конечное:



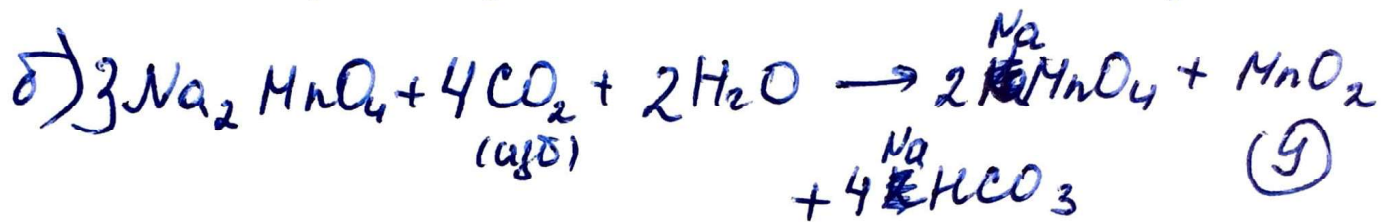
№3



( $\text{SOCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_2 + 2\text{HCl}$ ; образование  $\text{BaSO}_3$  невозможно, т.к.  $\text{BaSO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2$ )

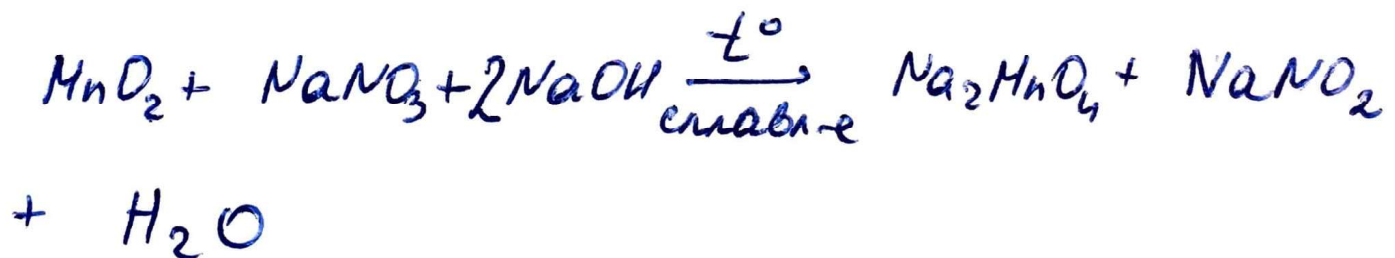


(электролиз водного р-ра  $\text{BaCl}_2$ )



(в-вом  $\gamma$  является именно  $\text{MnO}_2$ , т.к.

$\text{NaMnO}_4$  не окисляется,  $\text{Mn}^{+7}$  - высшая степень окисления)





**N4**

$$\bullet V_{\text{NH}_3} = 200 \text{ л} ; n(\text{NH}_3) = \frac{200 \text{ л}}{V_m} = \frac{V}{V_m} = \frac{200}{22,4} = 8,929 \text{ моль}$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ мл} ; m(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \text{ мл} \cdot 1 \text{ г/мл} = V \cdot \rho = 1000 \text{ г}$$

$$m(\text{NH}_3) = n(\text{NH}_3) \cdot M(\text{NH}_3) = 8,929 \text{ моль} \cdot 17 \text{ г/моль} =$$

$$= 151,79 \text{ г}$$

$$\omega(\text{NH}_3)_{\text{исх}} = \frac{m(\text{NH}_3)}{m(\text{NH}_3) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{151,79 \text{ г}}{1000 \text{ г} + 151,79 \text{ г}} = 0,1318,$$

или же 13,18%

$$\bullet \omega(\text{NH}_3)_{\text{в кал. при } -60^\circ\text{С р-ре}} = 0,27$$

$$0,27 = \frac{m(\text{NH}_3)}{m(\text{NH}_3) + m(\text{H}_2\text{O})} = \frac{m(\text{NH}_3)}{m_{\text{р-ра кал.}} - m(\text{H}_2\text{O}) \downarrow}$$

$$= \frac{151,79}{1151,79 - x} \quad , \text{ где } x = m(\text{H}_2\text{O}) = 589,62$$

$$m_{\text{осадка}} = 589,6(2)$$

N5

- $M(\text{NO}) = 30^2/\text{моль}$
  - $M(\text{NO}_2) = 46^2/\text{моль}$
  - $M(\text{N}_2) = 28^2/\text{моль}$
  - $M(\text{N}_2\text{O}) = 44^2/\text{моль}$
- } возможные газы.

$$n(\text{газовой смеси}) = \frac{5,376 \text{ л}}{V_m} = \frac{5,376}{22,4} = 0,24 \text{ моль}$$

$$M_{\text{газ. смеси}} = M(\text{F}_2), \text{ т.к. } \rho(\text{F}_2) \cdot V_m = \rho(\text{см.}) \cdot V_m$$

$$\rho(\text{F}_2) = \rho(\text{см.})$$

$$M_{\text{F}_2} = M_{\text{см.}} = 38^2/\text{моль}$$

Значит,  $\text{N}_2$  и  $\text{NO}$  будут вместе не могут

Варианта:

0,375 $\text{N}_2$	0,404 $\text{N}_2$	0,5 $\text{NO}$	0,4286 $\text{NO}$
0,625 $\text{N}_2\text{O}$	0,556 $\text{NO}_2$	0,5 $\text{NO}_2$	0,5714 $\text{N}_2\text{O}$

По ф-ле  $\varphi_1 M_1 + \varphi_2 M_2 = 38$  рассчитаем  $\varphi$  компонентов

Т.к. их  $\varphi_1 / \varphi_2$  должно соотноситься как целочисл. коэффициенты в-ции, то С.О. в-в не должны сильно отличаться, то это смесь

$\text{NO}$  (50%) и  $\text{NO}_2$  (50%);  $n(\text{NO}) = n(\text{NO}_2) = \frac{0,24}{2} = 0,12 \text{ моль}$



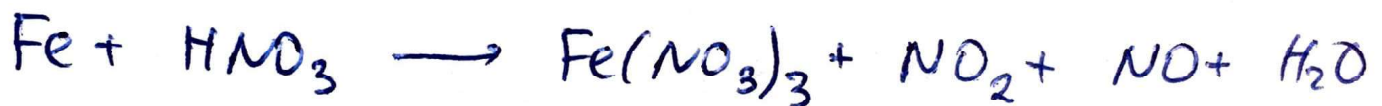
Так как в окислит.-восст. р-ух число переданых  $e^-$  равно числу полученных  $e^-$ , то сеть зарядов не меняются обшчел, то

$$n(\text{Me}) \cdot x = 0,12 \cdot 3 + 0,12 \cdot 1 = 0,12 \cdot 4 = 0,48$$

$$n(\text{Me}) = \frac{m(\text{Me})}{M(\text{Me})}$$

$$\frac{8,96}{M} \cdot x = 0,48$$

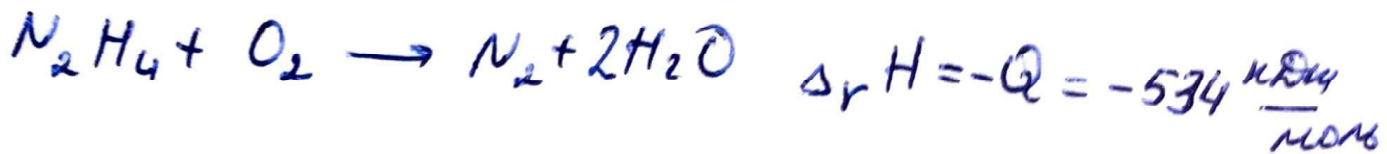
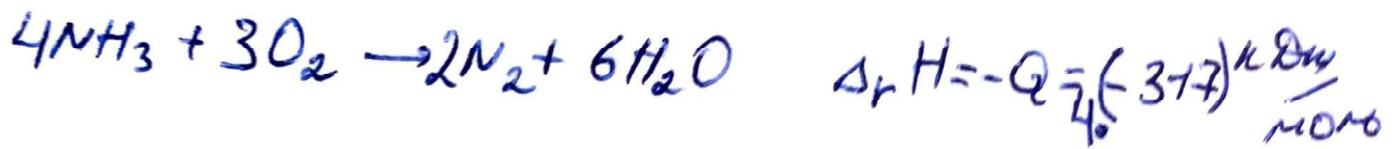
$$x = 3, M = 56 \text{ г/моль (Fe)}$$



Р-е:



N6



$$\Delta_r H_{\text{сгорания}} = \sum E_{\text{св. (нар.)}} - \sum E_{\text{св. (кон.)}}$$

$$\left\{ \begin{aligned} (-317) \cdot 4 &= 4 \cdot 3 E_{\text{N-H}} + 3 E_{\text{O=O}} - 2 E_{\text{N=N}} - 6 \cdot 2 E_{\text{H-O}} \\ -534 &= 4 E_{\text{N-H}} + E_{\text{N-N}} + E_{\text{O=O}} - E_{\text{N=N}} - 4 E_{\text{H-O}} \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} 4 \cdot (-317) &= 12 E_{\text{N-H}} + 3 E_{\text{O=O}} - 2 E_{\text{N=N}} - 12 E_{\text{H-O}} \quad (1) \end{aligned} \right.$$

$$\left\{ \begin{aligned} 3 \cdot (-534) &= 12 E_{\text{N-H}} + 3 E_{\text{N-N}} + 3 E_{\text{O=O}} - 3 E_{\text{N=N}} - 12 E_{\text{H-O}} \quad (2) \end{aligned} \right.$$

$$(1) - (2) = ?$$

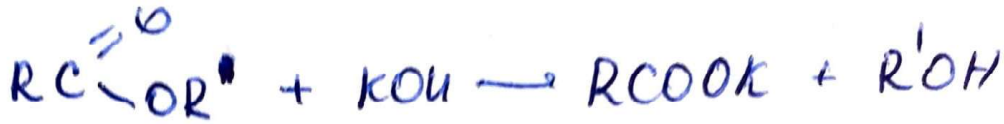
$$334 \cdot 1285 = -3 E_{\text{N-N}} + E_{\text{N=N}} = -3 E_{\text{N-N}} + 945$$

$$-611 = -3 E_{\text{N-N}}$$

$$E_{\text{N-N}} = 203,7 \text{ кДж/моль}$$

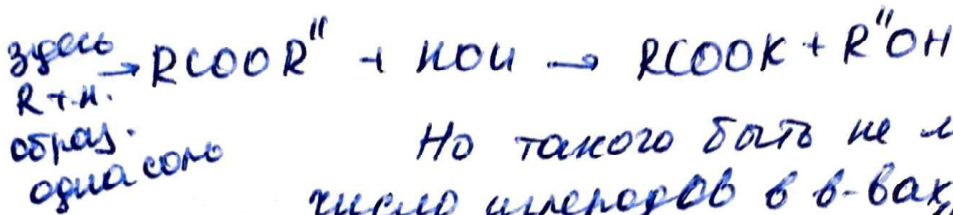
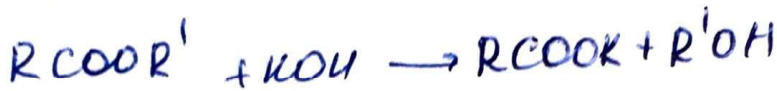
N7

Вещества, дающие реакцию с KOH, с образованием соли и спиртов в-в (не реагирующих с KOH) — это сложные эфиры.



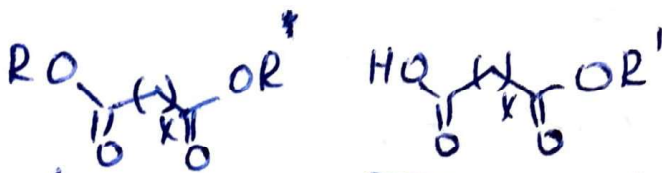
$$n(KOH) = \frac{w \cdot m}{M} = \frac{w \cdot V \cdot \rho}{M} = \frac{0,15 \cdot 100 \text{ мл} \cdot 1,17 \text{ г/мл}}{56 \text{ г/моль}} = 0,3 \text{ моль}$$

Пусть были эфиры одноосновной кислоты:

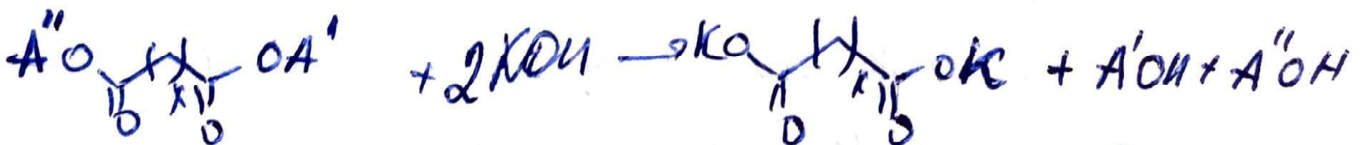


Но такого быть не может, т.к. число атомов углерода в в-вах одинаково (изомеры), число ат. C в RCOOK одинаково, значит и число ат. углерода в R' и R'' тоже должно быть одинаковым, это быть не может, т.к. они изомеры.

Пусть были эфиры двухосновной кислоты:



только такое распределение радикалов даст спирт в соотношении 1:2 = 2ROH : 1R'OH.

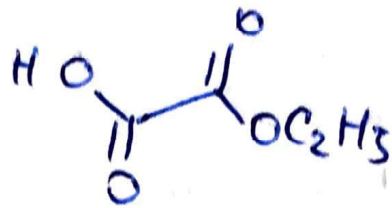
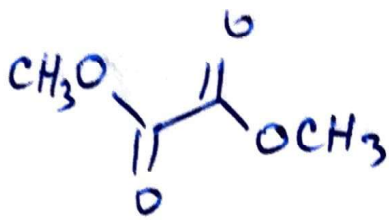


общая запись, в-в A и B где A-радикал

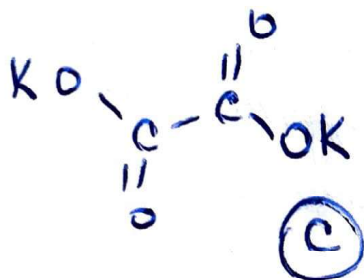
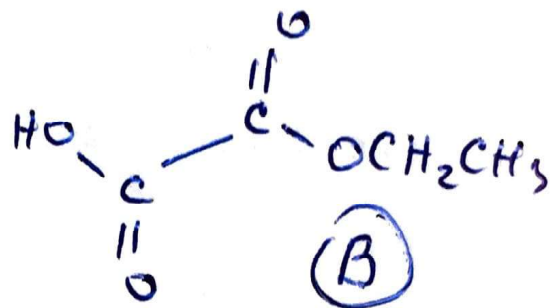
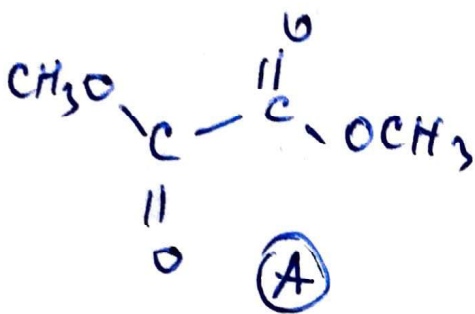
$$n(KOH) = 0,3 \text{ моль} \Rightarrow n(\text{эфиров}) = \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ моль}$$

$$n(\text{эфиров}) (\text{изомеров}) = \frac{1772}{0,15 \text{ моль}} = \frac{m}{n} = 118^2 / \text{моль}$$

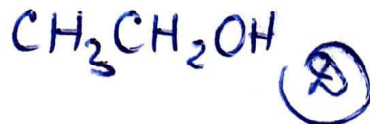
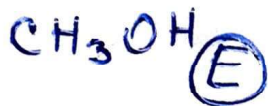
Пусть имела -щавелевая:



или



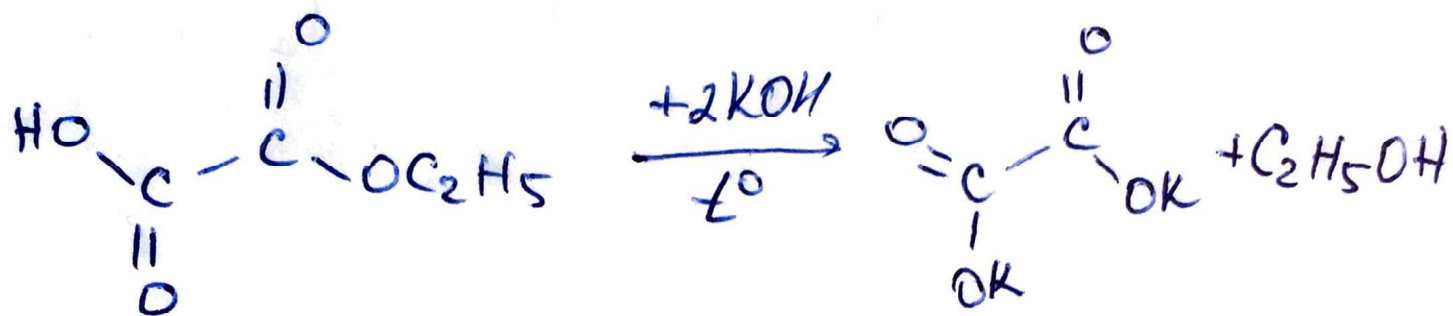
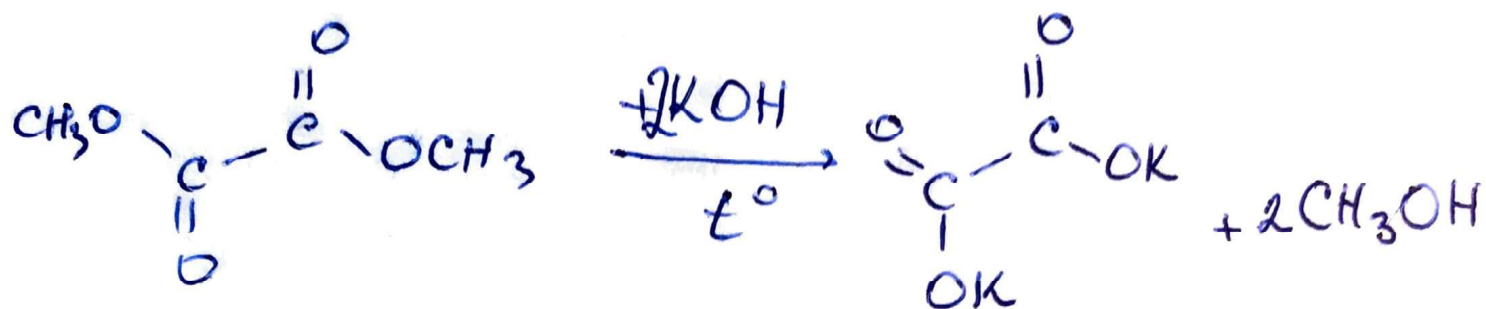
( $K_2C_2O_4$ ) - оксалат калия



(E больше чем D в 2 раза)

- ! Карбоновая кислота является изомерами  
 • сложной эфиры. D и E отличаются в  
 составе на одну  $CH_2$  группу, т.е. они  
 ближайшими гомологами

Реакции:



№8

• Установим оксид Y:  $Z_2O_x$

$$4,375 = \frac{M(Z) \cdot 2}{M(O) \cdot x} = \frac{2M}{16x}, \text{ следовательно } x=4$$

$$4,375 = \frac{2M}{16 \cdot 4}, M = 140 \text{ г/моль} - \text{церий Ce}$$

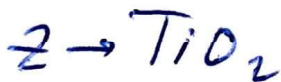


• Оксид Z:



$$\frac{237,5}{M(MeCl_4)} = n(Me) = \frac{100}{M(MeO_2)}$$

$$\frac{237,5}{Me+142} = \frac{100}{Me+32}, M = 48 \text{ г/моль} - \text{титан Ti}$$



\* Т.к. X - хрупкое, прозрачное в-во с  
вероятностью вхождения в его состав оксидов,  
то X - стекло.

Основные элементы: Na, Ca, Si, O  
(оконное стекло:  $Na_2O \cdot CaO \cdot 6SiO_2$ )

