



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

ОЛИМПИАДНАЯ РАБОТА

Наименование олимпиады школьников: **«Ломоносов»**

Профиль олимпиады: **Химия**

ФИО участника олимпиады: **Исмайлова Лейла Руфатовна**

Технический балл: **95**

Дата: **12 мая 2020 года**

Олимпиада «Ломоносов»

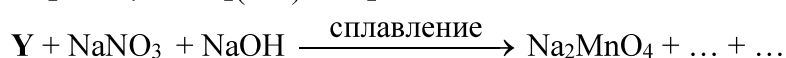
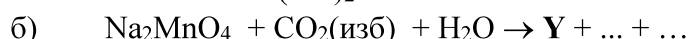
10 класс

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 (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)

Лейла Руфатовна Исмаилова

Решения и ответы даны в виде приложенных файлов

Задача: 1

Ответ: -

Балл: 8

Задача: 2

Ответ: -

Балл: 8

Задача: 3

Ответ: -

Балл: 4

Задача: 4

Ответ: -

Балл: 10

Задача: 5

Ответ: -

Балл: 14

Задача: 6

Ответ: -

Балл: 16

Задача: 7

Ответ: -

Балл: 16

Задача: 8

Ответ: -

Балл: 19

Задача №1

Условие: $4 \sum \bar{e}_{\text{положит. иона}} = \sum \bar{e}_{\text{отриц. иона}}$

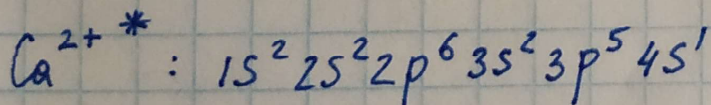
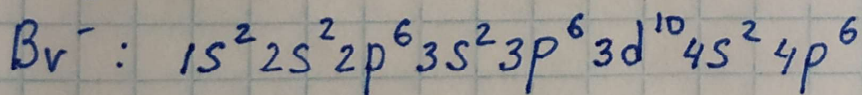
Очевидно, что т.к. вещество ионное, то искать положительный ион нужно среди металлов 1 и 2 групп.

Первый период отбрасывает сразу, во втором периоде ионы (Li^+ и Be^{2+}) будут иметь по $2\bar{e}$, и в зависимости их кол-ва, анионы будут иметь соответственно 8, 16 и 24 \bar{e} (самые первые варианты маловероятны).

Методом перебора понимаем, что вариантов нет. В третьем периоде также такого вещества нет.

В 4-ом периоде подходит CaBr_2 ($18\bar{e}$ у Ca^{2+} и $72\bar{e}$ у двух Br^-)

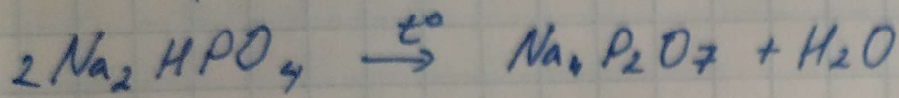
Тогда:



Задача № 2

Кристаллогидрат $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ мог потерять только воду, но безводная соль могла дальше превратиться

в пирофосфат по ур-нию:



Проверим каждое из предположений:

$$\text{а) } n(\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}) = n(\text{Na}_2\text{HPO}_4 \text{ безводн})$$

$$\text{Масса: } \frac{10}{M(\text{Na}_2\text{HPO}_4) + 18n} = \frac{7,47}{M(\text{Na}_2\text{HPO}_4)}$$

$n = 2,67$ - предположение не верно.

$$\text{б) } n(\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}) = 2n(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7)$$

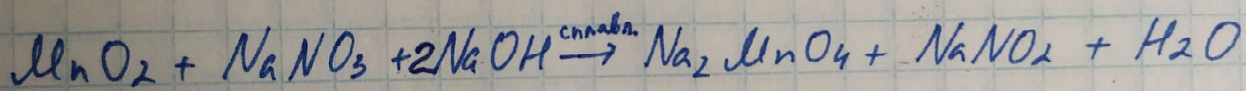
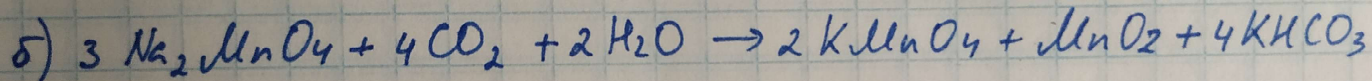
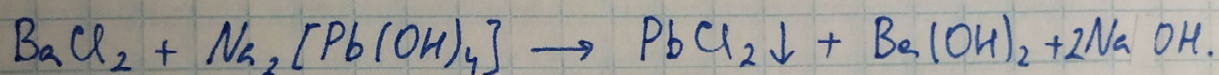
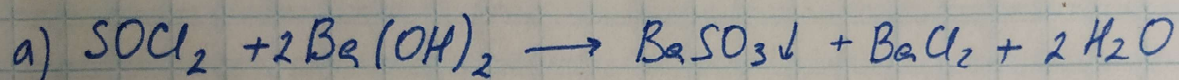
$$\frac{10}{M(\text{Na}_2\text{HPO}_4) + 18n} = \frac{7,47}{M(\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7)} \cdot 2$$

Откуда $n = 2$.

Ответ: исходная соль - $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, конечная -

$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$.

Задача №3



Таким образом, $Y = \text{MnO}_2$, $X = \text{BaCl}_2$

Задача N 4

$$n(\text{NH}_3) = \frac{200}{22,4} \approx 8,93 \text{ (моль)}$$

$$8,93 \cdot 17$$

$$\omega_{\text{NH}_3} = \frac{1000 + 8,93 \cdot 17}{1000 + 8,93 \cdot 17} \cdot 100\% = 13,8\%$$

Растворимость газов при понижении t° увеличивается, в

осадок вышло x г. H_2O :

$$8,93 \cdot 17$$

$$\frac{8,93 \cdot 17}{100 + 8,93 \cdot 17 - x} = 0,27$$

$$x = 589,55$$

Ответ: 13,8% NH_3 , вышло ≈ 590 г H_2O .

Задача №5

Газы, выделяющиеся при восстановлении $\text{HNO}_3 - \text{N}_2\text{O}$, NO и NO_2 . Возможно выделение H_2 , но оно при такой концентрации маловероятно.

$$M(\text{N}_2\text{O}) = 44 \text{ г/моль}, M(\text{NO}) = 30 \text{ г/моль}, M(\text{NO}_2) = 46 \text{ г/моль}$$

а $M(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль}$. Из этого можно сделать

вывод, что пара газов либо $\text{NO} + \text{N}_2\text{O}$, либо

$\text{NO} + \text{NO}_2$ (хотя бы один газ должен быть меньше

$$38 \text{ г/моль}). n(\text{газовой смеси}) = \frac{5,376}{22,4} = 0,24 \text{ (моль)}$$

В первом случае:

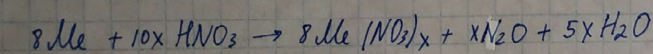
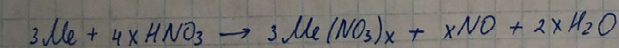
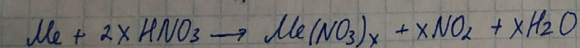
$$44x + 30(1-x) = 38 \Rightarrow x \approx 0,5715, \text{ т.е. } \omega(\text{N}_2\text{O}) = 57,15\%, \text{ а}$$

$$\omega(\text{NO}) = 42,85\%$$

Во втором:

$$46x + 30(1-x) = 38 \Rightarrow x = 0,5, \text{ т.е. } \omega(\text{NO}) = \omega(\text{NO}_2) = 50\%$$

Заменим общие уравнения для растворения металлов:



где $x = \text{с.о. металла}$.

$$n(\text{HNO}_3) = \frac{200 \cdot 0,35}{1 + 48 + 14} = \frac{70}{63} \approx 1,11 \text{ (моль)}$$

Заметим, что вариант с N_2O невозможен: в этом случае выделяется $0,24 \cdot 57,15\% = 0,137$ моль N_2O , что уже превышает возможное кол-во, ведь $n(\text{HNO}_3)$ должна быть больше $10 \cdot 0,137 = 1,37$ моль.

Тогда рассматриваем варианты с NO и NO_2 .

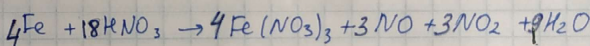
При $\text{с.о.} = 3$ $M(\text{Me}) = 56 \text{ г/моль} \Rightarrow \text{Fe}$:

$$\frac{8,96}{0,12 \cdot 3 + 0,12} = 56 \text{ (г/моль)}$$

Тогда образовалось $0,16$ моль $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ ($= n(\text{Fe})$)

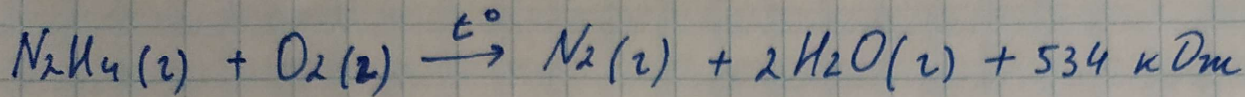
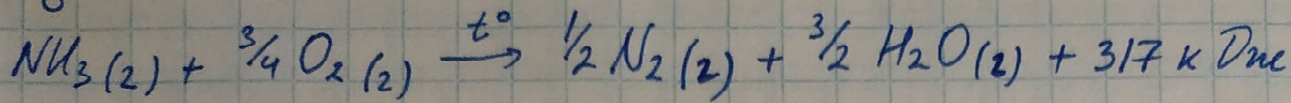
$$\omega = \frac{0,16 \cdot (56 + (14 \cdot 3 + 16 \cdot 9))}{200 + 8,96 - 0,12 \cdot 30 - 0,12 \cdot 46} \approx 0,1938 \text{ (или } 19,38\%)$$

Суммарное уравнение:



Ответ: по 50% NO и NO_2 ; 19,38% $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$.

Задача № 6.



$$Q_{\text{сгор}} = \sum E_{\text{св.}}(\text{обр}) - \sum E_{\text{св.}}(\text{разр.})$$

Имеем:

$$Q_{\text{сгор. NH}_3} = \frac{1}{2} E_{\text{св}}(\text{N}\equiv\text{N}) + 3 E_{\text{св}}(\text{O}-\text{H}) - \frac{3}{4} E_{\text{св}}(\text{O}=\text{O}) - 3 E_{\text{св}}(\text{N}-\text{H})$$

$$Q_{\text{сгор N}_2\text{H}_4} = E_{\text{св}}(\text{N}\equiv\text{N}) + 4 E_{\text{св}}(\text{O}-\text{H}) - E_{\text{св}}(\text{O}=\text{O}) - 4 E_{\text{св}}(\text{N}-\text{H}) - E_{\text{св}}(\text{N}-\text{N})$$

Умножим первое равенство на 4, а второе - на 3.

$$4 Q_{\text{сгор NH}_3} = 2 E_{\text{св}}(\text{N}\equiv\text{N}) + \underline{12 E_{\text{св}}(\text{O}-\text{H}) - 3 E_{\text{св}}(\text{O}=\text{O}) - 12 E_{\text{св}}(\text{N}-\text{H})}$$

$$3 Q_{\text{сгор N}_2\text{H}_4} = 3 E_{\text{св}}(\text{N}\equiv\text{N}) + \underline{12 E_{\text{св}}(\text{O}-\text{H}) - 3 E_{\text{св}}(\text{O}=\text{O}) - 12 E_{\text{св}}(\text{N}-\text{H})} - 3 E_{\text{св}}(\text{N}-\text{N})$$

Отсюда заметна общая часть, мы получили 2 уравнения с

2 переменными:

$$4 \cdot 317 = 945 \cdot 2 - x - y$$

$$3 \cdot 534 = 945 \cdot 3 - x - y$$

$$\text{Откуда } y = 611$$

$$\text{Значит, } E_{\text{св}}(\text{N}-\text{N}) = \frac{611}{3} \approx 204 \text{ кДж/моль.}$$

Ответ: $E_{\text{св}}(\text{N}-\text{N}) = 204 \text{ кДж/моль.}$

Задача № 7

$$n(\text{KOH}) = \frac{112 \cdot 0,15}{39 + 17} = 0,3 \text{ (моль)}. \text{ Скорее всего, мы имеем дело с } \begin{matrix} \text{кислотами (A и B)} \\ \downarrow \\ \text{с целыми} \end{matrix}$$

III. к в-ва реагируют в определенном отношении \downarrow и являются изомерами, то мы можем вычислить $M(A, B)$

Если р-ция протекает 1:1:

$$M = \frac{12,7}{0,3} = 59 \text{ (г/моль)} \Rightarrow \text{формулы } \text{C}_3\text{H}_7\text{COO}, \text{C}_3\text{H}_7\text{O}, \text{C}_4\text{H}_{11} \text{ не имеют смысла.}$$

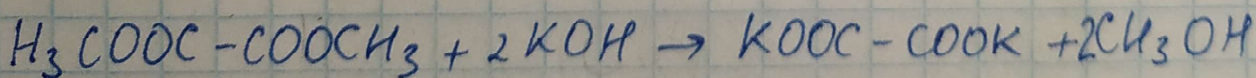
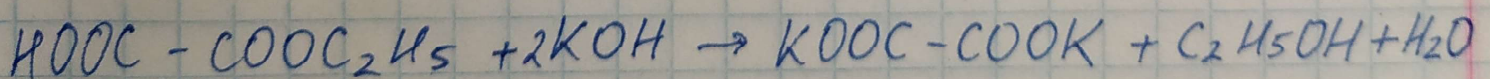
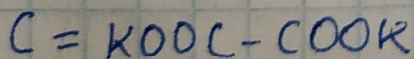
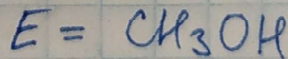
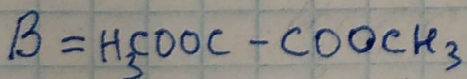
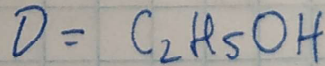
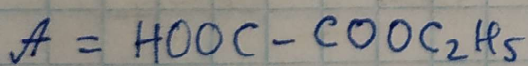
При соотношении 1:2:

$$M = \frac{17,7}{0,3:2} = 118 \text{ (г/моль)} \Rightarrow \text{подходит двухатомная к-та}$$

$\text{HOOC}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$. - янтарная или метилмалоновая к-та.

III также этому составу соответствуют соли \uparrow эфиров
или малоновой к-ты. Как раз так происходит вариант

нам подходит: происходит ионной гидролиз эфиров.



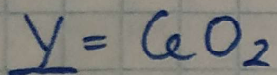
Задача № 8

1) Оксид Y

$$\omega(O) = \frac{1}{4,375 + 1} \cdot 100\% = 18,6\%$$

Из закона эквивалентов: $M_{\text{экв}}(X) = \frac{m(X)}{m(Y)}$

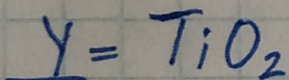
$$\frac{18,6}{16:2} = \frac{100-18,6}{x:4}, \text{ отсюда } x = 140 \text{ г/моль (Ce)}$$



2) Оксид Z

Т.к. с.о не изменяется, то $n(\text{MeCl}_4) = n(\text{MeO}_2)$

$$\frac{237,5}{x + 35,5 \cdot 4} = \frac{100}{x + 16 \cdot 2}, \text{ отсюда } x = 48 \text{ г/моль (Ti)}$$



3) материал X

Судя по описанию, X - простое стекло, в его основу

входят силикат натрия и кальция, т.е. основные

элементы: O, Si, Na, Ca.

