

## Олимпиада «Ломоносов». 5-9 классы. Заключительный тур

Указание к оформлению решения. Во всех задачах, требующих численного ответа, должны быть приведены расчеты. Все качественные вопросы требуют обоснования. Только ответы без расчетов и/или обоснований не оцениваются.

1. Массовые доли металла в его оксиде и хлориде отличаются в 1.585 раза (в оксиде больше), а степени окисления – в 2 раза. Определите металл и формулы соединений. (8 баллов)

*Решение.* Оксидов металлов в высоких степенях окисления больше, чем хлоридов, поэтому предположим, что более высокая степень окисления соответствует оксиду. Пусть формула оксида  $MO_n$ , тогда формула хлорида  $MCl_n$  (при равном числе атомов хлора и кислорода степени окисления металла в оксиде и хлориде отличаются ровно в 2 раза). В каждой формульной единице – по одному атому металла, поэтому отношение массовых долей металла обратно пропорционально отношению молярных масс соединений:

$$\frac{M(M) + 35.5n}{M(M) + 16n} = 1.585,$$
$$M(M) = 17.33n.$$

Перебором значений находим, что

$$n = 3, :$$

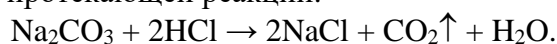
$$M(M) = 52.0 \text{ г/моль.}$$

Металл **M** – это хром, Cr. Формулы соединений хрома –  $CrO_3$  и  $CrCl_3$ .

*Ответ:* Cr;  $CrO_3$ ,  $CrCl_3$ .

2. К 100 г слегка нагретого насыщенного раствора карбоната натрия добавляли концентрированную соляную кислоту (36.5% HCl) до прекращения выделения газа. Рассчитайте массовую долю соли в полученном растворе. Выпадет ли осадок? Растворимости веществ при температуре опыта (на 100 г воды): 48.5 г  $Na_2CO_3$ , 36.4 г NaCl. (14 баллов)

*Решение.* Уравнение протекающей реакции:



Массовая доля карбоната натрия в насыщенном растворе

$$\omega(Na_2CO_3)_{нас.} = 48.5 / 148.5 = 0.327,$$

масса и количество вещества соли в растворе составляют

$$m(Na_2CO_3) = 100 \cdot 0.327 = 32.7 \text{ г,}$$

$$\nu(Na_2CO_3) = 32.7 / 106 = 0.308 \text{ моль} = \nu(CO_2).$$

Необходимое количество HCl

$$\nu(HCl) = 2 \cdot 0.308 = 0.616 \text{ моль,}$$

$$m(p\text{-ра HCl}) = 0.616 \cdot 36.5 / 0.365 = 61.6 \text{ г.}$$

Масса конечного раствора:

$$m(p\text{-ра NaCl}) = m(p\text{-ра Na}_2CO_3) + m(p\text{-ра HCl}) - m(CO_2) = 100 + 61.6 - 0.308 \cdot 44 = 148.05 \text{ г,}$$

$$\nu(NaCl) = \nu(HCl) = 0.616 \text{ моль,}$$

$$m(NaCl) = 0.616 \cdot 58.5 = 36.04 \text{ г,}$$

$$\omega(NaCl) = 36.04 / 148.05 = 0.243 \text{ (24.3\%).}$$

Массовая доля хлорида натрия в насыщенном растворе составляет

$$\omega(NaCl)_{нас.} = 36.4 / 136.4 = 0.267.$$

Поскольку концентрация NaCl в конечном растворе оказалась меньше, чем концентрация насыщенного раствора, осадок соли не выпадет.

*Ответ:* 24.3% NaCl. Осадок не выпадет.

3. При нагревании выше 100 °С хлорат аммония полностью разлагается, образуя газовую смесь из 4 компонентов, плотность которой равна плотности воздуха. При охлаждении до комнатной температуры один из компонентов конденсируется, оставшаяся газовая смесь тяжелее воздуха в 1.5 раза. Напишите уравнение разложения и подтвердите его расчетом.

**(12 баллов)**

*Решение.* Равенство плотностей газов означает равенство молярных масс, значит, средняя молярная масса первой смеси составляет

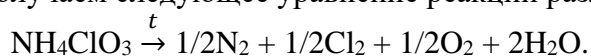
$$M_{\text{ср}}(\text{смеси 1}) = 29 \text{ г/моль.}$$

Тогда

$$M_{\text{ср}}(\text{смеси 2}) = 29 \cdot 1.5 = 43.5 \text{ г/моль.}$$

$$M(\text{NH}_4\text{ClO}_3) = 101.5 \text{ г/моль.}$$

Из одного моля соли образуется  $101.5 / 29 = 3.5$  моль газов, при охлаждении конденсируется вода и остается смесь с молярной массой 43.5 г/моль. Можно предположить, что весь водород в составе соли перешел при разложении в воду, а остальные продукты разложения – это простые вещества. Получаем следующее уравнение реакции разложения:



$$M_{\text{ср}}(\text{N}_2, \text{Cl}_2, \text{O}_2) = (0.5 \cdot 28 + 0.5 \cdot 71 + 0.5 \cdot 32) / 1.5 = 43.7 \text{ г/моль.}$$

$$D_{\text{возд}} = 43.7 / 29 \approx 1.5 - \text{все сходится.}$$

*Ответ:*  $\text{NH}_4\text{ClO}_3 \rightarrow 1/2\text{N}_2 + 1/2\text{Cl}_2 + 1/2\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O.}$

4. Неорганический пигмент очень красивого цвета, от лимонного до ярко-желтого, содержит в своем составе хромат свинца и еще один компонент белого цвета, содержание которого в пигменте составляет 48.4% по массе и 50% по количеству вещества. Оба компонента пигмента можно получить из раствора нитрата свинца. Определите формулу пигмента. Напишите уравнения реакций получения белого компонента из раствора нитрата свинца и растворения пигмента в концентрированной щелочи. **(16 баллов)**

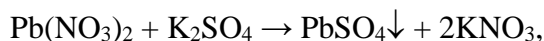
*Решение.* Формула пигмента –  $\text{PbCrO}_4 \cdot \text{PbX}$  (по условию, компоненты в равных количествах). Молярная масса пигмента составляет

$$M(\text{пигмента}) = M(\text{PbCrO}_4) / \omega(\text{PbCrO}_4) = 323 / (1 - 0.484) = 626 \text{ г/моль.}$$

Найдем массу аниона второго компонента:

$$M(\text{X}) = 626 - 323 - 207 = 96 \text{ г/моль,}$$

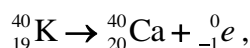
что соответствует сульфат-иону ( $\text{X} - \text{SO}_4$ ). Итак, искомая формула пигмента –  $\text{PbCrO}_4 \cdot \text{PbSO}_4$ . Уравнения реакций:

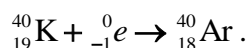


*Ответ:*  $\text{PbCrO}_4 \cdot \text{PbSO}_4$ , пигмент крон лимонный.

**Задача 5.** Некоторый природный радиоактивный нуклид распадается одновременно по двум направлениям – с образованием инертного газа и щелочноземельного металла. Оба продукта распада имеют одинаковое массовое число и являются наиболее распространенными изотопами для своих элементов. Установите формулу радиоактивного нуклида и напишите уравнения реакций его радиоактивного распада. **(12 баллов)**

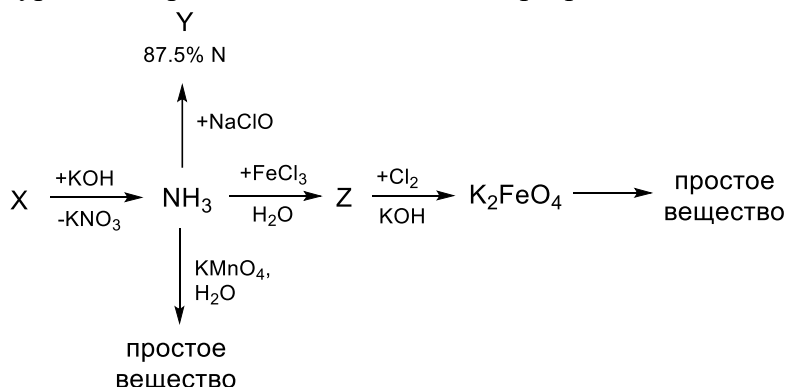
*Решение.* Инертный газ и щелочноземельный металл отличаются по порядковому номеру на 2 и имеют одинаковое массовое число. Это возможно, только если исходный нуклид – щелочной металл, который одновременно испытывает  $\beta$ -распад и электронный захват. Среди устойчивых изотопов щелочноземельных металлов и инертных газов одинаковое массовое число имеют только аргон-40 и кальций-40, это и есть продукты распада, а исходный изотоп – это  $^{40}\text{K}$ . Уравнения распада:





Ответ:  ${}^{40}\text{K}$ .

6. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



(18 баллов)

Решение.

- 1)  $\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{KOH} \rightarrow \text{NH}_3\uparrow + \text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 2)  $2\text{NH}_3 + 2\text{KMnO}_4 \xrightarrow{t} \text{N}_2 + 2\text{MnO}_2 + 2\text{KOH} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 3)  $2\text{NH}_3 + \text{NaClO} \rightarrow \text{N}_2\text{H}_4 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
- 4)  $3\text{NH}_3 + \text{FeCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{NH}_4\text{Cl}$
- 5)  $2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{Cl}_2 + 10\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}_2\text{FeO}_4 + 6\text{KCl} + 8\text{H}_2\text{O}$
- 6)  $4\text{K}_2\text{FeO}_4 + 10\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 3\text{O}_2\uparrow + 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 4\text{K}_2\text{SO}_4 + 10\text{H}_2\text{O}$

(принималось также окисление  $\text{HCl}$  с выделением  $\text{Cl}_2$  и любые другие разумные реакции с образованием простых веществ).

Ответ:  $\text{X} - \text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{Y} - \text{N}_2\text{H}_4$ ,  $\text{Z} - \text{Fe}(\text{OH})_3$ .

7. Соль  $\text{X}$ , состоящая из трех элементов, – интересный пример изомерии в мире неорганических соединений. Один из двух изомеров этой соли,  $\text{X1}$ , образуется из оксида натрия при нагревании до  $350^\circ\text{C}$  в атмосфере газа  $\text{Y}$ , который примерно в 1.5 раза тяжелее воздуха (реакция 1). Этот же изомер образуется при пропускании газа  $\text{Z}$  (чуть-чуть тяжелее воздуха) через раствор металлического натрия в жидком аммиаке (реакция 2). Анион соли  $\text{X1}$  – плоский, имеет форму равнобедренной трапеции.

Более устойчивый изомер,  $\text{X2}$ , получают путем восстановления соли  $\text{D}$  (33.3%  $\text{Na}$  по массе) в водном растворе амальгамы натрия (реакция 3).  $\text{X2}$  растворим в воде, раствор имеет щелочную среду. Из растворов можно получить кристаллогидраты, гексагидрат содержит около 50% воды по массе. Под действием соляной кислоты и углекислого газа из раствора  $\text{X2}$  выделяется газ  $\text{Y}$  (реакции 4 и 5).

Установите формулы веществ  $\text{X}$ ,  $\text{Y}$ ,  $\text{Z}$ ,  $\text{D}$  (с расчетом) и напишите уравнения реакций (1–5). Приведите структурную формулу аниона соли  $\text{X}$ . Предположите, чем отличаются анионы солей  $\text{X1}$  и  $\text{X2}$ .

(20 баллов)

Решение. Ключ к решению – газ  $\text{Y}$ :

$$M(\text{Y}) \approx 1.5 \cdot 29 \approx 44 \text{ г/моль.}$$

Это не может быть  $\text{CO}_2$  (у карбоната натрия нет изомеров) или  $\text{C}_3\text{H}_8$ , следовательно,  $\text{Y}$  – это  $\text{N}_2\text{O}$ . При взаимодействии с  $\text{Na}_2\text{O}$  образуется  $\text{Na}_2\text{N}_2\text{O}_2$  (цис-изомер  $\text{X1}$ ). Формула  $\text{X}$  подтверждается составом кристаллогидрата: массовая доля воды в гексагидрате  $\text{Na}_2\text{N}_2\text{O}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  составляет

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = 6 \cdot 18 / 214 = 0.505 \approx 0.5.$$

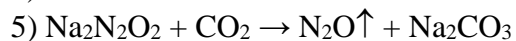
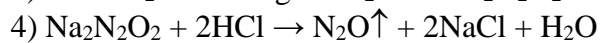
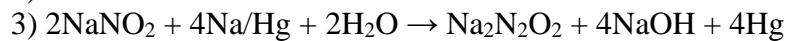
Газ  $\text{Z}$ , очевидно,  $\text{NO}$ :

$$D_{\text{возд}}(\text{NO}) = 30 / 29 = 1.03.$$

Соль **D** – это  $\text{NaNO}_2$ , в котором

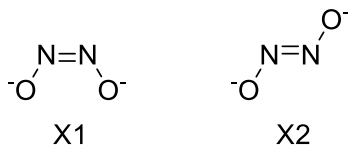
$$\omega(\text{Na}) = 23 / 69 = 0.333.$$

Уравнения реакций:



Структурная формула аниона  $\text{N}_2\text{O}_2^{2-}$ :  $-\text{O}-\text{N}=\text{N}-\text{O}-$

Изомеры **X1** и **X2** – геометрические, *цис-транс*:



Ответ: **X** –  $\text{Na}_2\text{N}_2\text{O}_2$ , **Y** –  $\text{N}_2\text{O}$ , **Z** –  $\text{NO}$ , **D** –  $\text{NaNO}_2$ .