Варианты и решения заданий очного тура олимпиады «Ломоносов» по химии для учащихся 5-9 классов

Олимпиада «Ломоносов» по химии
Очный тур
5-9 классы

1. Напишите по одному уравнению реакций соединения и замещения с участием воды. **(4 балла)**

Решение. Примеры реакций соединения и замещения:

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4;$$
$$2Li + 2H_2O \rightarrow 2LiOH + H_2\uparrow.$$

2. Напишите структурную формулу молекулы, состоящей из атомов трех элементов, один из которых имеет валентность VI. **(4 балла)**

Решение. Например, кислоты – серная H_2SO_4 или хромовая H_2CrO_4. Их структурные формулы:

Ионные соединения типа K_2SO_4 нельзя считать правильным ответом, так как они не образуют молекул (они существуют в виде отдельных ионов как в кристаллах, так и в растворах).

3. Определите формулу частицы, в которой содержится 4 атома, 30 протонов и 32 электрона. **(4 балла)**

Решение. Искомая частица не может быть нейтральной молекулой, это отрицательно заряженный ион. Подходящий вариант – ион CO_3^{2-}.

Число протонов: $6 + 3 \cdot 8 = 30$,

Число электронов: $6 + 3 \cdot 8 + 2 = 32$.

Ответ: CO_3^{2-}.

4. Некоторый элемент образует несколько газообразных соединений с водородом. Плотность самого легкого из них по водороду равна 16. Определите формулу этого соединения и приведите формулу любого другого водородного соединения этого элемента. Чему равна плотность второго соединения по водороду? (**8 баллов**)

Решение. Газообразные соединения с водородом могут образовывать разные элементы, например, галогены, азот, фосфор, углерод, кремний. Найдем молярную массу самого легкого соединения:

$$M = D_{H2} \cdot M(H_2) = 16 \cdot 2 = 32 \text{ г/моль – это силан } SiH_4.$$

Силаны, аналогично алканам, образуют гомологический ряд. В качестве второго водородного соединения кремния можно привести, например, Si_2H_6. Его плотность по водороду:

$$D_{H2}(Si_2H_6) = 62 / 2 = 31.$$

Ответ: SiH_4, Si_2H_6, 31.

5. Молекула «тяжелого» углекислого газа в 2.4 раза тяжелее молекулы «тяжелой» воды. В состав обеих молекул входит один и тот же изотоп кислорода. Определите этот изотоп и напишите формулы обоих веществ. (**8 баллов**)

Решение. Обе молекулы являются «тяжелыми» из-за «тяжелого» изотопа кислорода ^{X}O.

$$M(C^{X}O_2) / M(H_2{}^{X}O) = (12 + 2x) / (2 + x) = 2.4,$$

$$x = 18.$$

Искомый изотоп – ^{18}O.

Ответ: ^{18}O, $C^{18}O_2$, $H_2{}^{18}O$.

6. Д.И. Менделеев в учебнике «Основы химии» писал о свойствах оксидов углерода: «*Углекислый газ занимает такой же объем, как кислород, в нем находящийся, а окись углерода объем в два раза больший объема кислорода, в ней заключающегося. CO_2 от действия жара распадается отчасти на $2CO$ и O_2*». Поясните кратко, какие свойства Менделеев имел в виду, и приведите уравнения всех реакций. (**9 баллов**)

Решение. Для иллюстрации выдержки из учебника запишем три реакции:

$C + O_2 \rightarrow CO_2$ $\qquad V(CO_2) = V(O_2)$

$2C + O_2 \rightarrow 2CO$ $\qquad V(CO) = 2V(O_2)$

$2CO_2 \xrightarrow{t^o} 2CO + O_2$ (при сильном нагревании).

7. В вашем распоряжении имеются водные растворы SO_2, Cl_2 и NaOH. Напишите уравнения всех возможных реакций, протекающих попарно между указанными веществами. (**15 баллов**)

Решение. 1) $SO_2 + Cl_2 + 2H_2O \rightarrow H_2SO_4 + 2HCl$;

2) $SO_2 + NaOH \rightarrow NaHSO_3$;

3) $SO_2 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_3 + H_2O$;

4) $Cl_2 + 2NaOH \xrightarrow{хол.} NaCl + NaClO + H_2O$;

5) $3Cl_2 + 6NaOH \xrightarrow{t^o} 5NaCl + NaClO_3 + 3H_2O$.

8. Аммиак лучше всех остальных газов растворим в воде. При нормальных условиях в одном объем воды может раствориться 1200 объемов аммиака. Рассчитайте массовую долю аммиака в насыщенном при этих условиях растворе (плотность воды – 1.0 г/мл). (**10 баллов**)

Решение. Пусть $V(H_2O) = 1$ л, тогда $V(NH_3) = 1200$ л.

$$m(H_2O) = 1000 \cdot 1 = 1000 \text{ г},$$

$$\nu(NH_3) = 1200 / 22.4 = 53.6 \text{ моль},$$

$$m(NH_3) = m \cdot \nu = 53.6 \cdot 17 = 911 \text{ г}.$$

Масса раствора составляет $m = 911 + 1000 = 1911$ г.

$$\omega(NH_3) = 911 / 1911 = 0.48 \text{ (или 48\%)}$$

Ответ: 48%.

9. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно реализовать следующие превращения:

$$NaBr \rightarrow NaCl \rightarrow NaOH \rightarrow H_2 \rightarrow Cu \rightarrow Ag \rightarrow NO.$$

Каждая стрелка – одна реакция. (**18 баллов**)

Решение. 1) $2NaBr + Cl_2 \rightarrow 2NaCl + Br_2$;

2) $2NaCl + 2H_2O \xrightarrow{\lightning} 2NaOH + H_2\uparrow + Cl_2\uparrow$ (электролиз раствора);

3) $2NaOH + 2Al + 6H_2O \rightarrow 2Na[Al(OH)_4] + 3H_2\uparrow$;

4) $H_2 + CuO \xrightarrow{t^o} Cu + H_2O$;

5) $Cu + 2AgNO_3(р\text{-}р) \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2Ag$;

6) $3Ag + 4HNO_3(разб.) \rightarrow 3AgNO_3 + NO\uparrow + 2H_2O$.

10. Элемент **X** образует два оксида – **Y** и **Z**. При разложении 100 г оксида **Y** образуется оксид **Z** и выделяется 16.8 л (н.у.) кислорода. С другой стороны, 100 г оксида **Y** при реакции с простым веществом **X** образует 152 г оксида **Z**. Определите формулы **X**, **Y**, **Z**, если известно что в каждом оксиде элемент **X** имеет единственную валентность. Напишите уравнения взаимодействия оксидов **Y** и **Z** с избытком щелочи. (**20 баллов**)

Решение. Найдем количество и массу кислорода, выделившегося при разложении **Y**.

$$\nu(O_2) = 16.8 / 22.4 = 0.75 \text{ моль.}$$

$$m(O_2) = 0.75 \cdot 32 = 24 \text{ г.}$$

Запишем схемы двух реакций:

$$\overset{100\text{ г}}{\mathbf{Y}} \rightarrow \overset{76\text{ г}}{\mathbf{Z}} + \overset{24\text{ г}}{O_2},$$

$$\overset{100\text{ г}}{\mathbf{Y}} + \overset{52\text{ г}}{\mathbf{X}} \rightarrow \overset{152\text{ г}}{\mathbf{Z}}.$$

Вычтя из второй схемы первую с учетом масс участников реакций, получим:

$$\overset{52\text{ г}}{\mathbf{X}} + \overset{24\text{ г}}{\mathbf{O_2}} \rightarrow \overset{76\text{ г}}{\mathbf{Z}}$$

Таким образом, 52 г элемента **X** могут присоединить 24 г O_2 с образованием оксида постоянной валентности. Далее для определения **X** можно действовать методом подбора, варьируя предполагаемую валентность этого элемента.

Пусть валентность **X** равна единице:

$4\mathbf{X} + O_2 \rightarrow 2\mathbf{X}_2O$,

$$\nu(\mathbf{X}) = 2 \cdot \nu(\mathbf{X}_2O),$$

$$\frac{52}{x} = 2 \cdot \frac{76}{2x+16},$$

x = 17.7 г/моль – не подходит.

Пусть валентность **X** равна двум:

$2\mathbf{X} + O_2 \rightarrow 2\mathbf{X}O$,

$$\nu(\mathbf{X}) = \nu(\mathbf{X}O),$$

$$\frac{52}{x} = \frac{76}{x+16},$$

x = 34.6 г/моль – не подходит.

Пусть валентность **X** равна трем:

$4\mathbf{X} + 3O_2 \rightarrow 2\mathbf{X}_2O_3$,

$$\nu(\mathbf{X}) = 2 \cdot \nu(\mathbf{X}_2O_3),$$

$$\frac{52}{x} = 2 \cdot \frac{76}{2x+48},$$

x = 52 г/моль – это хром.

Тогда оксиды хрома **Z** – это Cr_2O_3, а **Y** – CrO_3. Реакции, описанные в условии задачи:

$4CrO_3 \rightarrow 2Cr_2O_3 + 3O_2\uparrow$,

$CrO_3 + Cr \rightarrow Cr_2O_3$.

Уравнения их реакций со щелочью:

$CrO_3 + 2KOH \rightarrow K_2CrO_4 + H_2O$;

$Cr_2O_3 + 2KOH + 3H_2O \rightarrow 2K[Cr(OH)_4]$

или

$Cr_2O_3 + 6KOH + 3H_2O \rightarrow 2K_3[Cr(OH)_6]$.

Ответ: **X** – Cr, **Y** – CrO_3, **Z** – Cr_2O_3.