

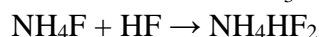
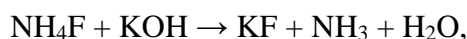
Решение заданий олимпиады «Ломоносов» по химии
2020/2021 учебный год
5-9 классы

1. Вещество ионного строения **X** состоит из трех элементов. В положительном и отрицательном ионах число электронов одинаково. Вещество **X** образуется при взаимодействии газа **A** и жидкости (при н.у.) **B**, молекулы которых также содержат одинаковое число электронов. Определите формулы **X**, **A**, **B** и найдите число электронов в каждом ионе и каждой молекуле. Напишите уравнение взаимодействия **X** со щелочью и превращения **X** в кислую соль, состоящую из трех элементов. **(16 баллов)**

Решение. Соединение **X** образуется из веществ молекулярного строения, поэтому, наиболее вероятно, не содержит металлов. В таблице растворимости есть только два катиона, состоящих из неметаллов – H^+ и NH_4^+ , но первый не образует веществ ионного строения. В катионе NH_4^+ – 10 электронов, столько же – в анионах N^{3-} , O^{2-} , F^- . Только последний дает соль с ионом аммония. Итак, **X** – это фторид аммония NH_4F . Эта соль образуется при взаимодействии NH_3 (газ, вещество **A**) с HF (жидкость при н. у., вещество **B**).

Числа электронов: NH_4^+ и F^- – по 10, NH_3 и HF – по 10.

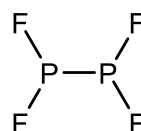
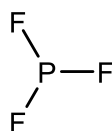
Уравнения реакций:



Ответ: **X** – NH_4F , **A** – NH_3 , **B** – HF .

2. Фосфор образует с фтором два газообразных соединения, в которых атомы фосфора имеют валентность III. Установите молекулярные формулы и запишите структурные формулы этих соединений. При какой температуре плотность более тяжелого газа будет равна 5.00 г/л, если давление равно 1 атм? **(12 баллов)**

Решение. Формулы низших фторидов фосфора – PF_3 и P_2F_4 , их структуры:



Более тяжелый газ – P_2F_4 , его молярная масса $M = 138$ г/моль.

$$\rho = \frac{M}{V_m} = \frac{PM}{RT},$$

$$T = \frac{PM}{R\rho} = \frac{101.3 \cdot 138}{8.314 \cdot 5.00} = 336 \text{ K} = 63^\circ\text{C}.$$

Ответ: PF_3 и P_2F_4 , 63°C .

3. Электрические средства передвижения не загрязняют атмосферу города. Однако, электроэнергия не является совершенно «чистой», так как при ее производстве путем сжигания топлива в атмосферу выделяется углекислый газ. Энергоемкость аккумулятора в электросамокате равна 0.51 кВт·ч, этого хватает на 45 км пробега. Электроэнергию получают при сгорании метана, КПД преобразования теплоты в электроэнергию – 30%. Теплоты образования метана, воды и углекислого газа равны 75, 286 и 394 кДж/моль, соответственно. Сколько граммов CO_2 выделяется в атмосферу при производстве электроэнергии, необходимой для того, чтобы самокат проехал 1 км? (1 кВт·ч = 3600 кДж). **(13 баллов)**

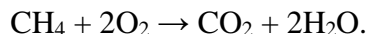
Решение. На 1 км поездки на электросамокате расходуется электроэнергии

$$0.51 \cdot 3600 / 45 = 40.8 \text{ кДж.}$$

Для производства этой энергии требуется теплоты

$$40.8 / 30\% \cdot 100\% = 136 \text{ кДж.}$$

Реакция горения метана:



При сжигании 1 моль CH_4 и образовании 1 моль CO_2 выделяется

$$Q = 2 \cdot 286 + 394 - 75 = 891 \text{ кДж/моль } \text{CO}_2.$$

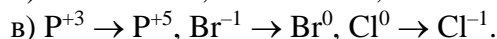
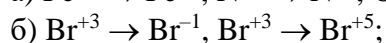
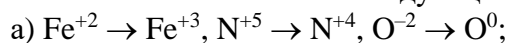
Значит, при производстве 136 кДж энергии образуется углекислого газа

$$\nu(\text{CO}_2) = 136 / 891 = 0.153 \text{ моль,}$$

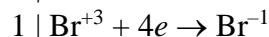
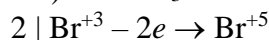
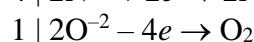
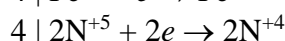
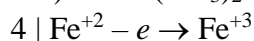
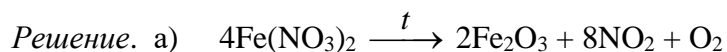
$$m(\text{CO}_2) = 0.153 \cdot 44 = 6.7 \text{ г.}$$

Ответ: 6.7 г/км.

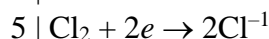
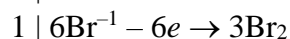
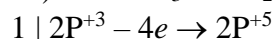
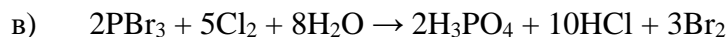
4. Напишите уравнение окислительно-восстановительной реакции, в которой степени окисления элементов меняются следующим образом:



Для каждого из пунктов а) – в) напишите одно уравнение реакции и составьте схему электронного баланса. **(18 баллов)**

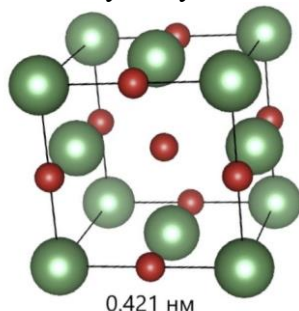


(принимаются и другие разумные реакции диспропорционирования Br^{+3}).



(принимается и уравнение окисления PBr_3 в отсутствие воды).

5. Низший оксид некоторого переходного металла имеет кристаллическую структуру типа NaCl, в которой некоторые атомы отсутствуют:



Длина ребра кубической элементарной ячейки равна 0.421 нм, а плотность оксида – 7.29 г/см³. Установите формулу оксида и предложите способ его получения из высшего оксида. (20 баллов)

Решение. Атомы металла **М** (большие кружки) находятся во всех вершинах куба и в серединах четырех граней из шести. Всего в одной элементарной ячейке атомов **М** содержится:

$$8 \cdot 1/8 + 4 \cdot 1/2 = 3.$$

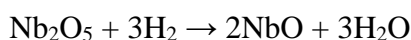
Атомы кислорода (маленькие кружки) находятся в серединах восьми ребер из двенадцати и один атом – в центре куба. Всего в одной элементарной ячейке атомов **О** содержится:

$$8 \cdot 1/4 + 1 = 3.$$

Таким образом, на одну ячейку приходится 3 формульные единицы оксида **МО**.

$$M(\text{МО}) = \rho V_{\text{м}} = \rho V_{\text{ячейки}} \frac{N_{\text{А}}}{3} = 7.29 \cdot (0.421 \cdot 10^{-7})^3 \cdot \frac{6.02 \cdot 10^{23}}{3} = 109 \text{ г/моль}$$

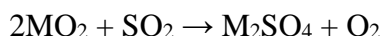
Это оксид ниобия NbO. Получение NbO из высшего оксида путем восстановления:



Ответ: NbO.

6. Бинарное вещество **X** выдержали в атмосфере сернистого газа в течение длительного времени, в результате масса твердого вещества увеличилась на 22.5%, а давление в закрытом сосуде не изменилось. Установите формулу вещества **X** (подтвердите расчетом) и напишите уравнения его реакций с H₂, HCl, NH₃, S (образуется единственный продукт). Как изменилось бы давление в сосуде, если бы вместо сернистого газа в этом опыте использовали углекислый газ? Ответ подтвердите уравнением реакции. (21 балл)

Решение. Вещество **X** поглощает SO₂ и выделяет другой газ, скорее всего – кислород. Следовательно, оно принадлежит к классу пероксидов, надпероксидов или озонидов. Давление в ходе реакции не меняется, следовательно $\nu(\text{SO}_2) = \nu(\text{O}_2)$. Такому условию отвечают только надпероксиды, поскольку

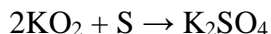
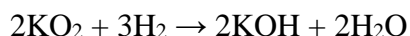


Металл **М** найдем из условия на увеличение массы:

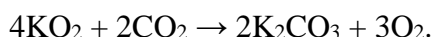
$$\frac{m(\text{M}_2\text{SO}_4)}{m(\text{MO}_2)} = \frac{2M(\text{М}) + 96}{2(M(\text{М}) + 32)} = 1.225,$$

$$M(\text{М}) = 39 \text{ г/моль} - \text{это калий К.}$$

Вещество **X** – надпероксид калия KO₂. Уравнения реакций:



В результате реакции с CO₂ давление в сосуде увеличилось бы, так как $\nu(\text{O}_2) > \nu(\text{CO}_2)$:



Ответ: KO₂.