

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ СПбГУ ПО ХИМИИ.

ЗАДАНИЯ ОТБОРОЧНОГО ЭТАПА

9 класс

Задача 1. 20 баллов



35.5



45.2



19.3

В приведенном ребусе зашифрован химический состав некоторого минерала. Цифрами указано содержание соответствующих элементов в массовых долях. Определите химическую формулу вещества и напишите уравнение реакции его взаимодействия с концентрированной азотной кислотой.

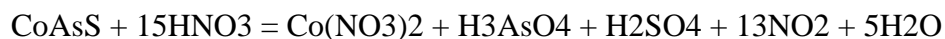
Решение

Вне всякого сомнения последний элемент – сера.

Пусть в состав соединения входит 1 атом серы. Тогда 1 моль этого соединения содержит 32 г серы. На первый из приведенных в ребусе элементов приходится 59 г, что соответствует, скорее всего, кобальту или никелю. Изображенный в ребусе мифический персонаж позволяет сделать выбор в пользу кобальта («кобольд»).

На второй элемент приходится 75 г, что может соответствовать мышьяку. Приведенная картинка подтверждает высказанное предположение.

Минерал – CoAsS (кобальтин или кобальтит). Уравнение реакции:



Оценивание

Определение элементов – по 4 балла за элемент

Определение формулы вещества – 4 баллов

Уравнение реакции – 4 баллов

Задача 2. 20 баллов

Элемент **X** при определенных условиях образует с иодом и кислородом соединения **A** и **Б**, соответственно. Массовая доля **X** в этих соединениях составляет 7,52% и 43,67%. Определите вещества **A** и **Б**. Напишите уравнение взаимодействия вещества **A** с водным раствором едкого кали. (**A** – PI_3)

Решение

Выразим массовую долю элемента **X** в иодиде. Справедливо соотношение:

$M/(M + 127x) = 0,0752$, где M – молярная масса искомого элемента, x – его валентность

При $x = 3$ $M = 31$ г/моль, что соответствует фосфору.

Тогда оксид **Б** – либо P_4O_6 , либо P_4O_{10} . Массовая доля фосфора указывает на P_4O_{10}

Уравнение реакции:



Оценивание:

Определение элемента **X** – 5 баллов

Определение соединений **A** и **Б** – по 5 баллов

Уравнение реакции – 5 баллов

Задача №3. 20 баллов

Плотность по водороду эквимольной смеси газов при 100 °С равна 44.5, а при охлаждении до 100 К плотность газовой фазы по водороду составила 16. Определите молярную массу каждого газа, приведите их названия и химические формулы. Какую среду будет иметь вода после пропускания через неё смеси газов?

Напишите уравнения реакций каждого газа с металлическим калием.

Решения с разбалловкой.

SF_6 и O_2 (20 баллов)

Плотность смеси по водороду: $D(\text{H}_2) = M(\text{смеси})/M(\text{H}_2)$ (1 балл).

Тогда средняя молекулярная масса смеси при 100 °С равна $44.5 \cdot 2$ г/моль = 89 г/моль (1 балл).

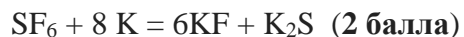
Средняя молекулярная масса при 100 К равна $16 \cdot 2$ г/моль = 32 г/моль (1 балл).

Изменение плотности смеси по водороду при охлаждении до 100 К связано с конденсацией одного из газов (3 балла).

Тогда несконденсировавшийся при 100 К газ имеет $M = 32$ г/моль (1 балл), этот газ – молекулярный кислород (1 балл) O_2 (1 балл).

Поскольку смесь эквимолярная, количества газов в смеси равны (1 балл), тогда молекулярная масса второго газа M_2 может быть найдена из уравнения: $0.5M_2 + 0.5 \cdot 32 = 89$ (1 балл), откуда $M_2 = 146$ (1 балл). Этот газ – гексафторид серы (1 балл) SF_6 (1 балл).

При пропускании смеси газов через водный раствор среда останется нейтральной, так как SF_6 и кислород не реагируют с водой (2 балла).



Задача №4. 20 баллов

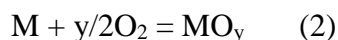
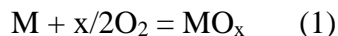
Навеску неизвестного г металла массой 9,6г нагрели в атмосфере кислорода. В результате масса твердого остатка увеличилась в 1,167 раза. Остаток обработали 200 г раствора, содержащего стехиометрическое количество серной кислоты. В результате выпало 3,2 г осадка, нерастворимого в щелочах и кислотах, не являющихся окислителями, а массовая доля соли в полученном растворе составила 7,7%. Установить металл, определить концентрацию раствора серной кислоты и написать уравнения проведенных реакций.

Решение

При взаимодействии металла с кислородом образуется оксид или другое бинарное соединение (например, пероксид). При обработке полученного вещества раствором серной

кислоты должна получиться соль. Однако в условии задачи кроме соли образуется еще и осадок. Таким образом, во-первых, можно предположить, что при взаимодействии металла с кислородом образуется смесь соединений, то есть металл способен проявлять разные степени окисления.

Запишем в общем виде уравнения реакций:



Из условий задачи можно найти количество кислорода, вступившего в реакцию и массу соли, образовавшейся в растворе.

$$n(O_2) = \frac{m(M) \cdot 1,167 - m(M)}{32} = 0,05 \text{ моль,}$$

поскольку увеличение массы происходит за счет кислорода, вступающего в реакцию.

$$m(\text{соли}) = m(\text{кон. ра} - \text{ра}) \cdot \omega = (200 + 9,6 + 1,6 - 3,2) \cdot 0,077 = 16 \text{ г}$$

Можно предположить, что эта соль получается при взаимодействии одного из образующихся оксидов с серной кислотой:



при этом второй оксид не растворяется. Однако в этом случае решения нет.

Следовательно, оба оксида при взаимодействии с серной кислотой образуют одну и ту же соль, но при этом при взаимодействии одного из оксидов образуется еще и осадок. Этим осадком может быть только металл, образующийся при диспропорционировании неустойчивой степени окисления в растворе.

Тогда можно записать реакцию второго оксида с серной кислотой:



Уравнять эту реакции. Не представляя степени окисления металла крайне сложно, поэтому можно установить металл, опираясь на реакции 1 и 2.

Пусть, a моль металла вступают в первую реакцию, а b моль во вторую, тогда можно составить систему уравнений:

$$a + b = \frac{9,6}{M}$$

– общее количество металла в смеси, M – его молярная масса.

$$a \cdot \frac{x}{2} + b \cdot \frac{y}{2} = 0,05$$

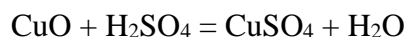
– общее количество кислорода, вступившего в реакцию

$$\frac{3,2}{M} + \frac{16}{2M + 96 \cdot 2 \cdot x} = a + b$$

– материальный баланс по металлу, часть из которого выпала в осадок, а часть находится в растворе в виде соли. Таким образом, мы имеем систему трех уравнений с пятью неизвестными. Честно эту систему решить невозможно, но среди этих неизвестных x и y связаны со степенями окисления металла (например, если степень окисления металла +1, то $x=0,5$, а если +2, то 1 и т.д.; тоже самое касается и y)

Перебирая возможные варианты пар степеней окисления металла (а их не так много, +1, +2 или +3), можно найти решение. Для +1 и +2 $M = 64$ г/моль – это медь, $a = b = 0,05$ моль.

Уравнения реакций:



Массовая доля серной кислоты в растворе:

$$\omega(\text{кислоты}) = \frac{(0,05 + 0,05) \cdot 96}{200} \cdot 100\% = 4,8\%$$

Разбалловка

Определение количества кислорода – 2 балла

Определение массы образовавшейся соли – 2 балла

Установление металла – 6 баллов

Уравнения реакции – по 2 балла за реакцию, всего 8 баллов

Определение массовой доли серной кислоты в растворе – 2 балла

Задача №5, 20 баллов

При пропускании смеси газов одинаковой молекулярной массы через раствор щелочи получили смесь трех солей с одинаковой молярной концентрацией. Если к исходной смеси добавить кислород, таким образом, чтобы молекулярная масса смеси стала равной 42,5, а затем снова пропустить через щелочь, то образуется смесь двух солей причем молярная концентрация одной соли вдвое больше другой. Определить качественный и

количественный состав смеси. Известно, что при пропускании исходной газовой смеси через известковую воду, образуется осадок.

Решение:

Поскольку при пропускании исходной смеси газов через известковую воду образуется осадок, то смесь содержит углекислый газ (2 балла). Такую же молекулярную массу имеет оксид азота (I), но он не реагирует со щелочью. Если допустить, что второй газ в смеси NO_2 (2 балла), то первая часть задачи также становится легко решаемой. В самом деле, при пропускании смеси NO_2 и CO_2 через щелочь образуется смесь трех солей (нитрата, нитрита и карбоната) в равных концентрациях, при условии, что объемное соотношение газов в исходной смеси 2:1 в пользу оксида азота (2 балла). При добавлении к смеси кислорода при реакции с щелочью образуется только нитрат и карбонат в мольном соотношении 2:1 (2 балла). Если взять мольное соотношение $\text{NO}_2:\text{CO}_2$ как 2:1 и учесть, что кислорода добавлено стехиометрическое количество для реакции:



т.е. в два раза меньше, чем исходное число моль NO_2 получаем для средней молекулярной массы смеси:

$$M = 44 \cdot 0,5 + 44 \cdot 0,25 + 32 \cdot 0,25 = 41 \text{ г/моль}$$

если оба газа имеют молекулярную массу 44 г/моль (не подходит по условию)

$$M = 46 \cdot 0,5 + 46 \cdot 0,25 + 32 \cdot 0,25 = 42,5 \text{ г/моль}$$

если оба газа имеют молекулярную массу 46 г/моль (подходит под условие) (6 баллов)

Таким образом молекулярная масса и NO_2 и CO_2 должна быть равна 46, что достигается использованием более тяжелого изотопа углерода (^{14}C) или кислорода (^{18}O) (6 баллов)

Ответ 33.3% $^{14}\text{C}^{16}\text{O}_2$ 66.6% NO_2 или 33.3% $\text{C}^{18}\text{O}^{16}\text{O}$ 66.6% NO_2 или 33.3% $^{13}\text{C}^{17}\text{O}^{16}\text{O}$ 66.6% NO_2 по объему.