

Задача 4

При полном окислении на воздухе (*реакции 1 и 2*) твердого образца **А** массой 10,000 г образовались только твердое вещество **Б** массой 14,000 г и газ **В** (плотность газа при н.у. равна 1,9643 г/л) объемом 0,374 л (н.у.). Вещество **Б** растворили в стехиометрическом количестве разбавленной серной кислоты (*реакция 3*), образовавшийся раствор смешали с избытком раствора аммиака (*реакция 4*), при этом выпал осадок **Г** массой 18,725 г.

Если провести аналогичные операции с 10,000 г твердого образца **Ж** такого же качественного состава что и **А**, то также образуется газ **В** объемом 0,748 л (н.у.).

При растворении образца **А** в концентрированной азотной кислоте (*реакции 5 и 6*) образуется раствор соли **С₁**, если же растворение проводить в очень разбавленной азотной кислоте (2-3% по массе), то, как ни странно, образуется раствор соли **С₂**. Обе соли содержат катионы одного металла.

При расчетах значения атомных масс следует округлять до целых значений, кроме хлора ($A_r(\text{Cl}) = 35,5$).

1) Установите формулы веществ **Б**, **В**, **Г**, **С₁**, **С₂**. Для веществ **Б** – **Г** нужно привести соответствующие расчеты.

2) Как называются **А** и **Ж**? Приведите соответствующие расчеты. Напишите название романа Николая Островского, в котором упоминается **А**?

3) Напишите уравнения *реакций 1-6*.

4) Почему при растворении **А** в очень разбавленной азотной кислоте образуется соль **С₂**, а не **С₁**?

Решение

1) Определим газ **В**, для этого рассчитаем его молярную массу:

$M_B = 1,9643 \text{ г/л} \cdot 22,4 \text{ л/моль} \approx 44 \text{ г/моль}$. Следовательно, газ **В** – оксид углерода(IV), т.к. другие газы (N_2O , C_3H_8) с такой молярной массой не могут образоваться при сжигании.

$$n(CO_2) = 0,374 \text{ л} : 22,4 \text{ л/моль} \approx 0,0167 \text{ моль} = n(C)^{\text{из A}}$$

$$m(C)^{\text{из A}} = 0,0167 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} \approx 0,2 \text{ г}$$

2) Вещество **А** содержит атомы какого-то металла, поэтому, скорее всего, **Б** – оксид металла, **Г** – гидроксид этого металла.

I способ (метод эквивалентов)

Используя метод эквивалента (с учетом того, что реакции 3 и 4 являются не окислительно-восстановительными) можно записать выражение для определения молярной массы эквивалента металла в оксиде **Б** и гидроксиде **Г**:

$$\frac{M_{Me}^{\text{ЭКВ}} + 17}{M_{Me}^{\text{ЭКВ}} + 8} = \frac{18,725}{14,000}$$

Отсюда находим, что молярная масса эквивалента металла равна 18,667 г/моль. Чтобы получить молярную массу металла, необходимо умножить полученное значение на валентность металла. Перебирая валентности от I до VIII, получаем одно подходящее значение молярной массы металла, равное 56 г/моль. Следовательно, металл – железо. Вещество **Б** – Fe_2O_3 , вещество **Г** – $Fe(OH)_3$.

II способ (составление и решение уравнения с параметром)

Если обозначить валентность металла за «х», тогда можно записать формулу оксида металла, как Me_2O_x или $MeO_{0,5x}$, формула гидроксида будет – $Me(OH)_x$. Если мы записываем формулу оксид металла, как $MeO_{0,5x}$, то можем использовать соображение, что количество вещества таких формульных единиц оксида металла равно количеству вещества гидроксида металла. Тогда отношение масс оксида металла и гидроксида металла будет равно отношению молярных масс $MeO_{0,5x}$ и $Me(OH)_x$. Можно записать:

$$\frac{M_{Me(OH)_x}}{M_{MeO_{0,5x}}} = \frac{m_{Me(OH)_x}}{m_{MeO_{0,5x}}}$$

Подставим численные данные и выразим значения молярных масс веществ через молярную массу металла и валентность металла, равную «х»:

$$\frac{M_{Me} + x \cdot 17}{M_{Me} + 0,5x \cdot 16} = \frac{18,725}{14,000}$$

Выражая молярную массу металла через валентность металла, получаем выражение с параметром:

$$M_{Me} = 18,667 \cdot x$$

Перебирая валентности от I до VIII, получаем одно подходящее значение молярной массы металла, равное 56 г/моль. Следовательно, металл – железо. Вещество **Б** – Fe_2O_3 , вещество **Г** – $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

3) Найдем массу железа в образце **А**:

$$n(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 18,725 \text{ г} : 107 \text{ г/моль} = 0,175 \text{ моль} = n(\text{Fe})$$

$$m(\text{Fe})^{\text{из А}} = 0,175 \text{ моль} \cdot 56 \text{ г/моль} \approx 9,8 \text{ г}$$

Можно сделать вывод, что в веществе **А** содержатся только углерод и железо, причем массовая доля углерода составляет 2%. Следовательно, **А** – сталь.

4) При сгорании **Ж** образуется в два раза больше диоксида углерода, следовательно, массовая доля углерода в **Ж** в два раза больше, чем в **А**, и составляет 4%. Следовательно, **Ж** – чугун.

5) Название романа Николая Островского – «Как закалялась сталь».

6) При растворении стали в концентрированной азотной кислоте образуется нитрат железа(III) (соль **С₁**), другой солью, содержащей железо, может быть только нитрат железа(II) (соль **С₂**). В очень разбавленной азотной кислоте образуется нитрат железа(II), т.к. при очень низкой концентрации азотной кислоты восстановление азота идёт до конца, т.е. до аммиака. Поэтому в растворе формируется восстановительная среда, следовательно, железо не окисляется до степени окисления +3, а только до +2.

7) Уравнения реакций:

Критерии оценивания:

1) Определение формул веществ **Б, В, Г, С₁, С₂** – по 2 балла. Для веществ **Б – Г** должны быть приведены расчеты, иначе – 0 баллов.

2) Названия **А и Ж** – по 1 баллу при наличии соответствующих расчетов, иначе – 0 баллов. Название романа – 1 балл.

3) Уравнения реакций 1-6 – по одному баллу, при отсутствии хотя бы одного коэффициента (неправильно выставленном коэффициенте) – 0,5 балла за реакцию.

4) Объяснение, почему образуется соль **С₂**, а не **С₁**, – 1 балл.

А	Б	В	Г	Ж	С₁	С₂
сталь	Fe_2O_3	CO_2	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	чугун	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_2$