

Задача 6

Оксид **A** массой 25,2 г растворили в горячей воде (*реакция 1*). При этом образовалась раствор, содержащий равные количества двух кислот **B** и **C**. При нейтрализации этой смеси избытком известковой воды образуется осадок (*реакции 2, 3*).

Если такую же массу оксида **A** окислить избытком кислорода (*реакция 4*), то образуется соединение **D**. Вещество **D** растворили в горячей воде с образованием **C** (*реакция 5*), нейтрализовали стехиометрическим количеством раствора гидроксида натрия (в растворе образовалась соль **E**). При добавлении к полученному раствору избытка нитрата серебра выпадает 167,6 г осадка **G** (массовая доля серебра равна 77,327%).

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

Вопросы и задания

1) Установите формулы веществ **A – G**. Формула вещества **G** должна быть выведена при помощи расчетов, а не угадана; если верность угаданной формулы будет проверена расчетом массовых долей элементов, то это не будет засчитано как расчет. Учтите, что молярная масса **A** находится в пределах от 230 до 270 г/моль.

2) Напишите уравнения *реакций 1-5*.

3) Определите массовый состав (в %) осадка, полученного при нейтрализации смеси кислот известковой водой.

4) Изобразите структурные формулы кислот **B** и **C**, если известно, что в этих кислотах атом элемента, образующий указанные соединения, имеет тетраэдрическое окружение.

Решение

1) Определим, что такое вещество **G**. Это вещество скорее всего является средней солью серебра, судя по описанию.

I способ (метод эквивалентов)

Можно записать выражение для определения молярной массы эквивалента кислотного остатка (обозначим его X):

$$\frac{M_X^{\text{ЭКВ}}}{M_{\text{Ag}}^{\text{ЭКВ}}} = \frac{22,673}{77,327}$$

Отсюда, молярная масса эквивалента кислотного остатка равна 31,667 г/моль. Перебирая валентности, получаем значение молярной массы кислотного остатка равное 95 г/моль (для валентности кислотного остатка равной трём). Следовательно, кислотный остаток – ортофосфат, соль **G** – ортофосфат серебра Ag_3PO_4 .

II способ (перебор по числу атомов серебра)

Пусть в формульной единице соли **G** содержится 1 атом серебра, тогда можно рассчитать молярную массу соли **G**:

$$M_G = \frac{1 \cdot M_{\text{Ag}}}{\omega_{\text{Ag}}} = \frac{108}{0,77327} = 139,667 \text{ (г/моль)}$$

Теперь можно посчитать молярную массу кислотного остатка в соли **G**:

$$M_{\text{кисл.ост.}} = M_G - 1 \cdot M_{\text{Ag}} = 139,667 - 108 = 31,667 \text{ г/моль}$$

Повторив аналогичный расчет для двух, трёх и четырёх атомов серебра в формульной единице (вряд ли будет иное число атомов серебра), может получить следующее:

Число атомов серебра в формульной единице	Молярная масса кислотного остатка, г/моль	Кислотный остаток
1	31,667	—
2	63,333	—
3	95,001	PO_4^-
4	126,668	—

Делаем вывод, что соль **G** – ортофосфат серебра Ag_3PO_4 .

2) Выведем формулу вещества **A**. Для этого сделаем следующие расчеты:

$$n(\text{Ag}_3\text{PO}_4) = 167,6 \text{ г} : 419 \text{ г/моль} = 0,4 \text{ моль} = n(\text{P})$$

$$m(\text{P}) = 0,4 \text{ моль} \cdot 31 \text{ г/моль} = 12,4 \text{ г}$$

$$m(\text{O})^{\text{из A}} = 25,2 \text{ г} - 12,4 \text{ г} = 12,8 \text{ г}$$

$$n(\text{O})^{\text{из A}} = 12,8 \text{ г} : 16 \text{ г/моль} = 0,8 \text{ моль}$$

Следовательно, простейшая формула оксида **A** – P_2O_5 . С учетом указанного интервала допустимых значений молярной массы оксида **A**, можно сделать вывод, что молекулярная формула оксида **A** – P_4O_{10} . Может показаться, что степень окисления фосфора в этом оксиде равна +4, что не характерно для фосфора. При его окислении кислородом образуется P_4O_{10} (P_2O_5) – вещество **D**.

3) Кислота **C** – ортофосфорная, судя по тому, что после образуется ортофосфат серебра. При растворении **A** в воде образуется ортофосфорная кислота, т.е. в этом оксиде есть фосфор со степенью окисления +5. С учетом того, что образуется равное количество другой кислоты **B**, и оксид **A** способен окисляться, то можно сделать вывод, то в оксиде **A** есть также фосфор со степенью окисления +3, причем его столько же, сколько и фосфора со степенью окисления +5. Следовательно, вещество **B** – фосфористая кислота H_3PO_3 .

4) При взаимодействии раствора кислот с гидроксидом кальция образуются осадок, состоящий из средних солей фосфористой и ортофосфорной кислот, CaHPO_3 и $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ соответственно.

Количества веществ солей:

$$n(\text{CaHPO}_3) = 0,2 \text{ моль}$$

$$n(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 0,1 \text{ моль}$$

Массы солей:

$$m(\text{CaHPO}_3) = 0,2 \text{ моль} \cdot 120 \text{ г/моль} = 24 \text{ г}$$

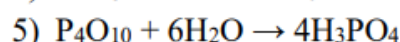
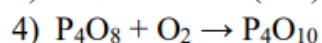
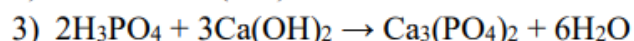
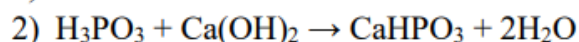
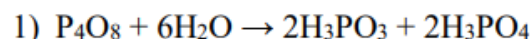
$$m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 0,1 \text{ моль} \cdot 310 \text{ г/моль} = 31 \text{ г}$$

Массовые доли солей:

$$\omega(\text{CaHPO}_3) = 24 \text{ г} : (24 \text{ г} + 31 \text{ г}) \cdot 100\% \approx 43,64\%$$

$$\omega(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 100\% - \omega(\text{CaHPO}_3) \approx 56,36\%$$

5) Уравнения реакций:



6) Вещества:

A	B	C	D	E	G
P_4O_8	H_3PO_3	H_3PO_4	P_4O_{10}	Na_3PO_4	Ag_3PO_4

7) Структурные формулы:

Вещество B	Вещество C
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{OH} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{P} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{O} \quad \text{OH} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H}-\text{O} \quad \text{O} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{P} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{H}-\text{O} \quad \text{O}-\text{H} \end{array}$

Критерии оценивания

- 1) Определение формул веществ **A** – **G** – по 2 балла. Для вещества **G** должны быть приведены расчеты, иначе – 0 баллов.
- 2) Уравнения реакций 1-5 – по одному баллу, при отсутствии хотя бы одного коэффициента (неправильно выставленном коэффициенте) – 0,5 балла за реакцию.
- 3) Состав осадка – по 1 баллу за массовую долю каждого из компонентов, в сумме 2 балла.
- 4) Структурные формулы **B** и **C** – по 0,5 балла, в сумме 1 балл.