

## Задача 2.

Двойными солями называются соли, которые в кристаллическом состоянии содержат два различных катиона. Примером двойной соли могут служить алюмокалиевые жженые квасцы  $KAl(SO_4)_2$ . Двойные соли существуют только в твердом виде, а при растворении в воде они ведут себя как смеси двух отдельных солей.

Двойная соль **A** содержит два катиона — **G** и **J** — и условно ее формулу можно представить как  $J_xG(SO_4)_y \cdot zH_2O$ . При проведении различных реакций с солью **A** установлено следующее.

1) Соль **A** массой 2,5 г взаимодействует с 12,7 мл подкисленного раствора перманганата калия (молярная концентрация 0,1 моль/л), в мольном соотношении 5 : 1.

2) При кипячении раствора, содержащего 1 г соли **A**, с 20 мл раствора гидроксида натрия (молярная концентрация 1 моль/л), взятого в избытке, образуется газ с резким запахом и осадок. Газ образуется при участии в реакции катиона **J**, а осадок — при участии катиона **G**. Осадок быстро отделили фильтрованием и прокалили без доступа воздуха. Масса твердого остатка после прокаливания составила 0,184 г. На полную нейтрализацию оставшегося фильтрата потребовалось 9,80 мл раствора серной кислоты с концентрацией 0,5 моль/л.

3) При обработке раствора, содержащего 1 моль соли **A**, избытком раствора хлорида бария образуется осадок, масса которого на 18,9 % превышает массу соли **A**, взятую для реакции.

1) Определите молекулярную массу соли **A**

2) Определите катионы **G** и **J**, входящие в состав соли **A**.

3) Определите значения  $x$ ,  $y$  и  $z$ , запишите формулу соли **A** и её тривиальное название.

Приведите расчеты, необходимые для ответов на вопросы 1)–3).

4) Напишите уравнения реакций в ионной форме: а) катиона **G** с перманганат-ионом в кислой среде, б) соли **A** с гидроксидом натрия, в) соли **A** с хлоридом бария.

5) Почему осадок, образовавшийся при обработке соли **A** раствором щелочи, необходимо быстро выделить из раствора и прокалить без доступа воздуха? Что произойдет, если эти условия не выполнить?

*Решение: 1) В 12,75 мл 0,1 М раствора перманганата калия содержится 1,275 ммоль  $KMnO_4$ . Так как реагенты взаимодействуют в соотношении 5 : 1 по молям, то это количество может окислить 6,375 ммоль катиона **G**, что соответствует 6,375 ммоль соли **A**. Так как взято было 2,50 г соли, то ее молекулярная масса составляет:  $2,50 : 0,006375 = 392$  а.е.м.*

*2) При осаждении катиона **G** щелочью с последующим прокаливанием осадка без доступа воздуха был получен оксид металла. Так как было взято 1 : 392 моль соли **A**, то следовательно получено такое же количество оксида. Так как его масса известна, определяем, что молекулярная масса оксида составляет  $0,184 : (1 : 392) = 71,7 \approx 72$ . С учетом данных по окислению катиона (с увеличением степени окисления на 1) можно не производить перебор разных степеней окисления, а сразу сделать вывод, что катион **G** =  $Fe^{2+}$ , а оксид  $FeO$ .*

*Катион **J** =  $NH_4^+$ , так как в реакции со щелочью образуется газ.*

3) 20,00 мл 1 М раствора гидроксида натрия содержат 0,02 моль NaOH

Для осаждения взятого количества  $Fe^{2+}$  нужно 0,0051 моль щелочи

На нейтрализацию избытка потребовалось 0,0049 моль серной кислоты, следовательно, избыток щелочи составил 0,0098 моль

Таким образом, на реакцию с ионами аммония ушло:

$0,02 - (0,0051 + 0,0098) = 0,051$  моль щелочи. Это в два раза больше, чем количество взятой соли, т.е.  $x = 2$

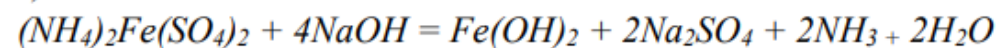
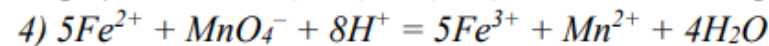
Количество сульфат-ионов в молекуле (y) можно рассчитать исходя из того, что молекула соли должна быть электронейтральной: суммарный заряд катионов составляет +4, значит суммарный заряд анионов тоже +4,  $y = 2$ .

Можно воспользоваться и массой осадка: если взято 392 г, то выпадет  $BaSO_4$  массой 233 г при  $y = 1$  (не подходит) и 466 г при  $y = 2$  (подходит)

Также можно посчитать y по массе осадка, а x по заряду соли, это быстрее, так как количество щелочи не потребуется совсем.

Таким образом молекулярная масса безводной соли составляет 284. Так как молекулярная масса кристаллогидрата 392, то  $z = 6$ .

Формула соли А:  $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ , соль Мора



5)  $Fe^{2+}$  окислится до  $Fe^{3+}$  и получится не тот оксид или смесь оксидов

Критерии:

Определение молекулярной массы соли А – 2 балла

Определение катиона G – 4 балла (без обоснования – 1 балл) и J – 2 балла (итого 6 баллов).

Определение никеля вместо железа – 2 балла

Определение соли А – 5 баллов (из которых: определение x – 1 балл; определение y – 2 балла; определение z – 2 балла; без расчета: x – 0 баллов; y – 1 балл; z – 1 балл), ее название – 1 балл

2 реакции по 2 балла – итого 4 балла

Объяснение необходимости быстрого выделения осадка – 2 балла

Суммарно 20 баллов