

### Задача 9-1

Эта занимательная история произошла на одной из химических образовательных программ в одном очень популярном образовательном центре.

Юный химик Сергей привез с Урала минерал **A** в подарок своему другу Максиму. Максим решил помыть минерал водой, но чуть не лишился подарка, так как он растворялся в воде с образованием бесцветного раствора. Для очистки куска минерала Максим просто протер его сухой тряпкой. А раствор **A** в воде Максим использовал для проведения качественного анализа. При внесении в пламя раствор окрашивал его в фиолетовый цвет, а при добавлении нитрата серебра выпал белый творожистый осадок (*р-ция 1*).

Для проведения количественного анализа Максим отколол от подарка небольшой кусочек, взвесил ( $m = 0.578$  г) и растворил в 25 мл воды. К 5 мл этого раствора он добавил избыток нитрата серебра, отфильтровал, промыл, высушил осадок, а затем взвесил ( $m = 0.222$  г).

При действии на другой кусочек минерала концентрированной серной кислотой выделился газ (*р-ция 2*). Твердый остаток реакции Максим растворил в воде и добавил магний (*р-ция 3*) – подарок еще одного своего знакомого. При медленном упаривании этого раствора выпали кристаллы вещества **X**. Масса вещества **X** при умеренном нагревании уменьшается на 26.84%.

#### **Вопросы:**

1. Запишите химическую формулу **A**, состав подтвердите расчётом. Приведите название минерала.
2. В природе встречается окрашенный минерал **A**, не содержащий примесей. Объясните причину окраски.
3. Определите формулу вещества **X**, подтвердите расчётом.
4. Запишите уравнения реакций **1 – 3**.
5. Приведите пример соединения родственного веществу **X**, используемого в перманганотометрии в качестве стандарта.
6. Какую максимальную массу сульфата бария можно получить взаимодействием 1.00 г **X** с хлоридом бария?

### Решение задачи 9-1 (автор: Птицын А.Д.)

1. Окрашивание пламени в фиолетовый цвет – это свойство атомов калия. А образование белого творожистого осадка при действии нитрата серебра – это качественная реакция на хлорид-анион. Получается, что минерал **A** содержит хлорид-ионы и катионы калия. Количественный анализ необходим для того, чтобы убедиться, что другие элементы не входят в состав этого минерала.

$$\nu(\text{AgCl}) = \frac{0.222}{107.87 + 35.453} = 0.001549 \text{ моль}$$

Навеску **A** растворили в 25 мл воды, а для осаждения хлорида серебра использовали только 5 мл этого раствора. Следовательно,

$$\nu(\text{AgCl}) = 5 \cdot \nu(\text{A}) = 0.007745 \text{ моль}$$

Исходя из этого в расчете на 1 атом хлора молярная масса **A**:

$$M(\text{A}) = \frac{0.578}{0.007745} \approx 74.629 \text{ г/моль}$$

Если вычесть молярную массу хлора, остается молярная масса калия:

$$M(\text{A}) - 35.453 \approx 39.2 \text{ г/моль},$$

Значит **A** – это хлорид калия (**KCl**). Название минерала – *сильвин*.

2. Окраска природного хлорида калия возникает из-за дефектов в кристаллической решетке.

3. При взаимодействии **KCl** с концентрированной серной кислотой образуется газообразный **HCl** и **KHSO<sub>4</sub>**, который и является твердым остатком реакции. Гидросульфат калия имеет кислую среду и в его растворе магний должен растворяться. Значит в растворе, из которого осаждается **X**, присутствуют сульфаты калия и магния, которые могут входить в состав **X**. При умеренном нагревании разложение сульфатов не происходит, они разлагаются при высокой температуре, следовательно, потеря массы связана с отщеплением воды. Предположим, что в состав соединения входит целое число молекул воды, тогда **X** = **X'**·*n*H<sub>2</sub>O.

$$\omega(\text{H}_2\text{O}) = \frac{n \cdot M(\text{H}_2\text{O})}{M(\text{X}') + n \cdot M(\text{H}_2\text{O})} = 0.2684$$

$$M(X') = n \cdot \left( \frac{M(H_2O)}{\omega(H_2O)} - M(H_2O) \right) = n \cdot M(H_2O) \cdot \left( \frac{1 - \omega(H_2O)}{\omega(H_2O)} \right) = 49.1 \cdot n$$

Вычислим  $M(X')$  для различных значений  $n$ :

| $n$ | $M(X')$ | $n$ | $M(X')$ |
|-----|---------|-----|---------|
| 1   | 49.1    | 7   | 343.7   |
| 2   | 98.2    | 8   | 392.8   |
| 3   | 147.3   | 9   | 441.9   |
| 4   | 196.4   | 10  | 491.0   |
| 5   | 245.5   | 11  | 540.2   |
| 6   | 294.6   | 12  | 589.3   |

Как уже отмечалось, в состав  $X'$  могут входить сульфаты магния и калия. Их молярные массы равны 120.4 г/моль и 174.3 г/моль, соответственно. Ни одно из этих значений не встречается, а их сумма 294.7 г/моль близка к значению, полученному для  $n = 6$ .

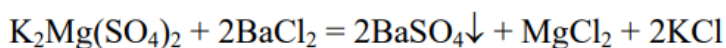
Таким образом,  $X = K_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$

#### 4. Уравнения реакций:

- 1)  $KCl + AgNO_3 \rightarrow AgCl \downarrow + KNO_3$
- 2)  $KCl + H_2SO_4 = KHSO_4 + HCl \uparrow$
- 3)  $2KHSO_4 + Mg = MgSO_4 + H_2 + K_2SO_4$

5.  $K_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  это двойной сульфат калия магния, относящийся к семейству солей – шениты или соли Туттона. Соли Туттона – это двойные сульфаты или селенаты содержащие крупные однозарядные катионы ( $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $Rb^+$ ,  $Cs^+$ ,  $Tl^+$ ) и аквакомплексы двухзарядных катионов ( $[Mg(H_2O)_6]^{2+}$ ,  $[Ni(H_2O)_6]^{2+}$ ,  $[Fe(H_2O)_6]^{2+}$ ,  $[Zn(H_2O)_6]^{2+}$ ,  $[Cd(H_2O)_6]^{2+}$  и др.). Наиболее известная из них это соль Мора – двойной сульфат железа(II) аммония  $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$

#### 6. Расчет массы сульфата бария:



$$\nu(K_2Mg(SO_4)_2) = \nu(K_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O) = 1.00 / 402.7 = 2.483 \text{ ммоль}$$

$$\nu(BaSO_4) = 2 \cdot \nu(K_2Mg(SO_4)_2) = 2 \cdot 2.483 \text{ ммоль} = 4.966 \text{ ммоль}$$

$$m(BaSO_4) = 4.966 \text{ ммоль} \cdot 233.39 \text{ г/моль} \approx 1.16 \text{ г}$$

#### Система оценивания:

|                         |   |                |
|-------------------------|---|----------------|
| <b>1.</b>               | Состав <b>A</b> – 2 балла<br>Название минерала – 1 балл | <b>3 балла</b> |
| <b>2.</b>               | Объясните причины окраски минерала                      | <b>2 балла</b> |
| <b>3.</b>               | Расчет состава <b>X</b>                                 | <b>4 балла</b> |
| <b>4.</b>               | Уравнения реакций по 2 балла                            | <b>6 балла</b> |
| <b>5.</b>               | Пример вещества (оценивается только один пример)        | <b>2 балла</b> |
| <b>6.</b>               | Расчет массы сульфата бария                             | <b>3 балла</b> |
| <b>ИТОГО: 20 баллов</b> |   |                |