



Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 6. Перспективный состав

1. Из условия известно, что вещество может взаимодействовать с азотной кислотой с выделением бурой жидкости, экстрагируемой в неполярный растворитель, например, в CCl_4 , и образованием бурого осадка, который при прокаливании при низких температурах приобретает постоянный вес.

Экстрагирующимся в неполярную среду компонентом могут быть иод или бром, которые могут выделиться при окислении иодида или бромида азотной кислотой. Действительно, иодиды и бромиды являются перспективными материалами для перовскитной солнечной энергетики. В то же время, известно, что вещество не содержит свинец, так как, по мнению ученого, может составить конкуренцию свинец-содержащим перовскитам. Так как в дальнейшем, для синтеза нанокристаллов химик использовал водный раствор кислоты, обладающей восстановительными свойствами, предположим, что это бромоводородная или иодоводородная кислоты, соответственно.

Попробуем понять, какие еще элементы входят в состав соединения. Известно, что образовавшийся при растворении в горячей концентрированной азотной кислоте осадок имеет светлый цвет и при прокаливании образует желтый продукт. Немногие элементы образуют осадок при кипячении в азотной кислоте. Продуктом такого процесса может быть продукт окисления и гидролиза – высший оксид, обладающий кислотными свойствами.

Такое поведение характерно для сурьмы, именно она образует при действии концентрированной азотной кислоты гидратированный оксид – осадок $Sb_2O_5(aq)$ или $Sb_2O_5 \cdot nH_2O$, который при аккуратном прокаливании может перейти в безводную форму – светло-желтый Sb_2O_5 .

Сурьму добывают путем обжига с последующим восстановлением ее сульфидов, в том числе, минерала антимонита Sb_2S_3 . Антимонит имеет черный цвет и применялся в древние времена в Европе и северной Африке в косметике.

Предположив, что в состав соединения входит бром, рассчитаем стехиометрическое соотношение сурьмы и брома:

$$\frac{2,37 \text{ г}}{323,5 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} : \frac{5,28 \text{ г}}{160 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 1 : 4,50 = 2 : 9$$

Таким образом, целочисленное соотношение Sb к Br в соединении 2 : 9, что может соответствовать формуле соединения $M_3Sb_2Br_9$, где M – неизвестный металл с зарядом +1.

Предположим, что соединение содержит только один тип металла M. Его молекулярную массу можно рассчитать следующим образом.

$$n(Br) = \frac{5,28 \text{ г}}{80 \frac{\text{г}}{\text{моль}}} = 0,066 \text{ моль}, n(Sb) = 0,0147 \text{ моль}$$

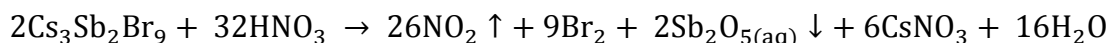
$$n(M) = 0,022 \text{ моль},$$

$$M(M) = \frac{(10 \text{ г} - 5,28 \text{ г} - 0,0147 \text{ моль} * 121,8 \frac{\text{г}}{\text{моль}})}{0,022 \text{ моль}} = 133 \text{ г/моль}$$

Это – цезий.

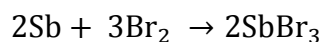
При выборе иода в качестве галогена, входящего в состав неизвестного соединения, расчет не позволит найти удовлетворяющий условию второй металл.

Процесс растворения $\text{Cs}_3\text{Sb}_2\text{Br}_9$ в концентрированной азотной кислоте можно записать следующим образом:



2. В условии сказано, что при синтезе нанокристаллов химик использовал белое ионное соединение, водный раствор кислоты, обладающей восстановительными свойствами, и желтоватое гигроскопичное вещество. Белым веществом с ионным типом связи может быть кристаллический CsBr. Кислота, обладающая восстановительными свойствами, – HBr. Бромид-ион обладает восстановительными свойствами (см. реакцию выше) и увеличивает растворимость других бромидов.

Про третий компонент известно очень мало, за исключением того, что он гигроскопичен и может быть синтезирован из простых веществ. Очевидно, что этот реагент содержит сурьму. Тогда реакция синтеза данного вещества из простых веществ может быть следующей:



Бромид сурьмы(III) легко гидролизуется на воздухе, образуя оксобромиды, например, SbOBr и др.

Альтернативным вариантом третьего компонента может быть иодид сурьмы(III) SbI_3 , который в избытке HBr может вступить в обменную реакцию.

В заключение, стоит отметить, что нанокристаллы найденного соединения $\text{Cs}_3\text{Sb}_2\text{Br}_9$, действительно, демонстрируют высокую фотокаталитическую активность в процессе восстановления CO_2 , в 10 раз превышающую таковую у фазы CsPbBr_3 .