

Задача*

В 400 мл раствора плотностью 1,25 г/мл, содержащего нитрат меди(II) с массовой долей 18,8% и нитрат серебра с массовой долей 10,2% насыпали 100 г железных опилок. Через некоторое время раствор профильтровали. Масса твёрдых веществ составила 128,4 г. Определите массовые доли веществ в полученном растворе. Примите во внимание, что в реакции с ионами меди образуются ионы Fe^{+2} , а в реакции с ионами серебра – ионы Fe^{+3} .

* - Негребецкий В. В., Бесова Е. А., Белавин И. Ю. 100 баллов по химии. Теория и практика. Задачи и упражнения. Учебное пособие. Лаборатория знаний, 2021 г.

Анализ условий задачи

Для успешного решения задачи необходимо проанализировать её условия. На основании исходных данных мы можем найти количество железа, массу раствора солей (известны его объём и плотность), массу каждой соли (известны их массовые доли), количество каждой соли (речь идёт о солях известного состава).

Далее составляем уравнения реакций, причем сначала железо будет реагировать с нитратом серебра (**более сильный окислитель**), а затем с нитратом меди. Твёрдые вещества, образовавшиеся в ходе реакции – это Ag, Cu и Fe (если железо взято в избытке или если реакция прошла не до конца). В растворе после реакции будут присутствовать нитраты железа. Присутствие нитрата меди возможно, но это необходимо установить путём расчёта. Далее определяем массу полученного раствора и массовые доли веществ в его составе.

Решение

1. Находим количество вещества Fe, внесённого в раствор:

$$n(\text{Fe}) = \frac{m(\text{Fe})}{M(\text{Fe})} = \frac{100\text{г}}{56\text{г / моль}} = 1,786 \text{ моль}$$

2. Находим массу исходного раствора:

$$m_{\text{р-ра}} = V_{\text{р-ра}} * \rho_{\text{р-ра}} = 400 \text{ мл} * 1,25 \text{ г/мл} = 500 \text{ г}$$

3. Находим массу и количество каждой из солей в исходном растворе:

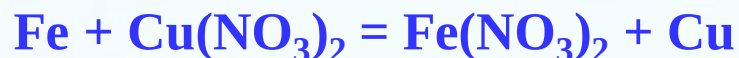
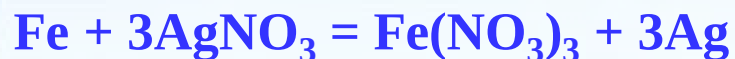
$$m(\text{AgNO}_3) = \frac{m_{\text{раствора}}}{100\%} \times \omega(\text{AgNO}_3) = \frac{500\text{г}}{100\%} \times 10,2\% = 51\text{г}$$

$$n(\text{AgNO}_3) = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{M(\text{AgNO}_3)} = \frac{51\text{г}}{170\text{г / моль}} = 0,3 \text{ моль}$$

$$m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = \frac{m_{\text{раствора}}}{100\%} \times \omega(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = \frac{500\text{г}}{100\%} \times 18,8\% = 94\text{г}$$

$$n(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = \frac{m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)}{M(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)} = \frac{94\text{г}}{188\text{г / моль}} = 0,5 \text{ моль}$$

4. Составляем уравнения реакций:



5. Используя уравнения реакций, находим количества и массы восстановившихся металлов. Одновременно находим количество и массу железа, расходуемого на восстановление каждого металла:

$$n(\text{Ag}) = n(\text{AgNO}_3) = 0,3 \text{ моль}$$

$$m(\text{Ag}) = M(\text{Ag}) \cdot n(\text{Ag}) = 108 \text{ г/моль} \cdot 0,3 \text{ моль} = 32,4 \text{ г}$$

$$n_1(\text{Fe}) = \frac{1}{3} \cdot n(\text{AgNO}_3) = 0,1 \text{ моль}$$

$$m_1(\text{Fe}) = M(\text{Fe}) \cdot n_1(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль} \cdot 0,1 \text{ моль} = 5,6 \text{ г}$$

$$n(\text{Cu}) = n(\text{Cu(NO}_3)_2) = 0,5 \text{ моль}$$

$$m(\text{Cu}) = M(\text{Cu}) \cdot n(\text{Cu}) = 64 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ моль} = 32 \text{ г}$$

$$n_2(\text{Fe}) = n(\text{Cu(NO}_3)_2) = 0,5 \text{ моль}$$

$$m_2(\text{Fe}) = M(\text{Fe}) \cdot n_2(\text{Fe}) = 56 \text{ г/моль} \cdot 0,5 \text{ моль} = 28 \text{ г}$$

6. Из уравнений реакций следует, что для полного восстановления серебра и меди требуется 0,6 моль железа. В раствор внесён избыток железа, следовательно, полное восстановление серебра и меди возможно. Для проверки этой гипотезы находим массу твёрдого остатка в случае полного восстановления Ag и Cu:

$$m_{\text{тв. в-в}} = 100 \text{ г} - 5,6 \text{ г} - 28 \text{ г} + 32,4 \text{ г} + 32 \text{ г} = 130,8 \text{ г}$$

7. По условию масса твёрдых веществ меньше, следовательно, полного восстановления не происходит. В растворе должен остаться $\text{Cu(NO}_3)_2$.

8. Обозначим количество Fe, вступившего в реакцию с $\text{Cu(NO}_3)_2$, через x . Согласно уравнению реакции, количество восстановленной меди тоже будет равно x моль.

9. Запишем уравнение нахождения массы твёрдых веществ в виде:

$$m_{\text{ТВ. в-в}} = 100 - 5,6 - 56x + 32,4 + 64x = 128,4$$

$$x = 0,2 \text{ моль}$$

10. Находим массу и количество каждой из солей в полученном растворе:

$$n(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = \frac{1}{3} \cdot n(\text{AgNO}_3) = 0,1 \text{ моль}$$

$$m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 242 \text{ г/моль} \cdot 0,1 \text{ моль} = 24,2 \text{ г}$$

$$n(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 0,5 \text{ моль} - 0,2 \text{ моль} = 0,3 \text{ моль}$$

$$m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 188 \text{ г/моль} \cdot 0,3 \text{ моль} = 56,4 \text{ г}$$

$$n(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = 0,2 \text{ моль}$$

$$m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = 180 \text{ г/моль} \cdot 0,2 \text{ моль} = 36 \text{ г}$$

11. Находим массу полученного раствора:

$$m_{2 \text{ р-ра}} = 500 + 100 - 128,4 = 471,6 \text{ г}$$

12. Находим массовую долю каждой из солей в полученном растворе:

$$\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = \frac{m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3)}{m_{\text{раствора}}} \times 100\% = \frac{24,2}{471,6} \times 100\% = 5,13\%$$

$$\omega(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = \frac{m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2)}{m_{\text{раствора}}} \times 100\% = \frac{56,4}{471,6} \times 100\% = 11,96\%$$

$$\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = \frac{m(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2)}{m_{\text{раствора}}} \times 100\% = \frac{36}{471,6} \times 100\% = 7,63\%$$

Ответ: $\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_3) = 5,13\%$; $\omega(\text{AgNO}_3) = 11,96\%$; $\omega(\text{Fe}(\text{NO}_3)_2) = 7,63\%$