

Задача 10-3

Две соли

200 г 20% водного раствора индивидуальной соли **X**, имеющей щелочную реакцию среды и окрашивающей пламя горелки в жёлтый цвет, прокипятили в течение некоторого времени и охладили до 20 °С. В результате из раствора выпало 40.0 г кристаллов **Y**, при прокаливании до 120 °С уменьшающих свою массу на 25.2 г в результате полной потери кристаллизационной воды. При последующем охлаждении оставшегося раствора до 0 °С может быть получено ещё 21.3 г **Y**.

Известно, что растворимость **Y** (г/100 г воды) *в расчёте на безводную соль* при 20 °С втрое превышает растворимость при 0 °С.

1. Установите формулы солей **X** и **Y**. Ответ подтвердите расчётами.
2. Чему равна массовая доля соли в растворе после кипячения при 100 °С и после охлаждения раствора до 0 °С и выпадения осадка?
3. Какая масса **Y** могла бы выпасть в осадок, если сразу после кипячения раствор охладили бы до 10 °С? Считайте, что растворимость при 10 °С равна среднему арифметическому растворимостей при 20 и 0 °С.
4. Приведите тривиальные названия солей **X** и **Y**.

Решение задачи 10-3 (автор: Болматенков Д.Н.)

Из условия известно, что Y – кристаллогидрат. При наличии n молекул воды на формульную единицу безводной Y получим следующее соотношение: $25.2/40 = 18 \cdot n/M(Y)$, откуда $M(Y) = 28.6 n$ г/моль, а масса безводной части Y равна $M(\text{безв. } Y) = M(Y) - 18 n = 10.6 n$ г/моль.

Найдём значения молярной массы безводной Y при разных значениях n и определим возможный состав соли, полагая, что она содержит натрий (на что указывает окрашивание пламени горелки в жёлтый цвет):

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$M(\text{безв. } Y)$	10.6	21.2	31.8	42.4	53	63.6	74.2	84.8	95.4	106
Соль	-	-	-	NaF	-	-	NaClO	NaNO ₃	-	Na ₂ CO ₃

NaNO₃ не даёт щелочную реакцию среды, а соль NaClO неустойчива при кипячении, поэтому среди найденных солей условию пока что соответствуют NaF·4H₂O и Na₂CO₃·10H₂O. Раз в последнем вопросе задачи просят привести тривиальные названия солей, значит, эта соль имеет широкое применение и известна достаточно давно. Тогда можно предположить, что речь идёт о соде, т.е. декагидрате карбоната натрия. Кроме того, фторид натрия несколько хуже подходит по молярной массе.

Итак, Y - Na₂CO₃·10H₂O

В результате охлаждения раствора со 100 °С до 20 °С образовалось $n = 40/286 = 0.14$ моль осадка, что соответствует уменьшению содержания соли в растворе на $0.14 \cdot 106 = 14.84$ г и уменьшению содержания воды на $0.14 \cdot 10 \cdot 18 = 25.2$ г.

В результате охлаждения раствора с 20 °С до 0 °С образовалось $21.3/286 = 0.074$ моль осадка, что соответствует уменьшению содержания соли в растворе на $0.074 \cdot 106 = 7.84$ г и уменьшению содержания воды на $0.074 \cdot 10 \cdot 18 = 13.32$ г.

Обозначим начальное содержание соли и воды в растворе после кипячения при 100 °С как m_c° и m_v° соответственно. Тогда растворимость может быть выражена следующим образом:

$$S(20^{\circ}\text{C})/100 = \frac{m_c^0 - 14.84}{m_g^0 - 25.2}$$

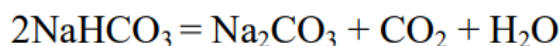
$$S(0^{\circ}\text{C})/100 = \frac{m_c^0 - 14.84 - 7.84}{m_g^0 - 25.2 - 13.32} = \frac{m_c^0 - 22.68}{m_g^0 - 38.52}$$

Предположим, что исходная соль **X** – карбонат. Тогда её масса составляет $m_c^0 = 200 \cdot 0.2 = 40$ г. С учётом отличия растворимости в три раза можно записать:

$$\frac{S(20^{\circ}\text{C})}{S(0^{\circ}\text{C})} = \frac{(40 - 14.84)(m_g^0 - 38.52)}{(m_g^0 - 25.2)(40 - 22.68)} = \frac{25.16(m_g^0 - 38.52)}{17.32(m_g^0 - 25.2)} = 3$$

Данное уравнение имеет единственное решение $m_g^0 = 12.7$ г, которое, очевидно, не имеет смысла.

Тогда логично предположить, что карбонат натрия образовался в результате разложения другой соли. Этой солью может быть гидрокарбонат натрия:



В этом случае из 40 г NaHCO_3 (0.476 моль) может быть получено 0.238 моль, или 25.2 г, среднего карбоната. Решим аналогичное уравнение с $m_c^0 = 25.2$ г:

$$\frac{S(20^{\circ}\text{C})}{S(0^{\circ}\text{C})} = \frac{(25.2 - 14.84)(m_g^0 - 38.52)}{(m_g^0 - 25.2)(25.2 - 22.68)} = \frac{10.36(m_g^0 - 38.52)}{2.52(m_g^0 - 25.2)} = 3$$

Уравнение имеет решение при $m_g^0 = 74.5$ г.

Таким образом, исходной солью **X** может быть гидрокарбонат натрия.

2. Сразу после кипячения раствор содержал 25.2 г Na_2CO_3 и 74.5 г воды. Массовая доля соли равна:

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 25.2 / (25.2 + 74.5) = 0.253 \text{ или } 25.3 \%$$

После охлаждения до 0°C в растворе осталось $25.2 - 22.68 = 2.52$ г соли и $74.5 - 38.52 = 35.98$ г воды. Массовая доля соли равна:

$$\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 2.52 / (2.52 + 35.98) = 0.065 \text{ или } 6.5 \%$$

3. Рассчитаем растворимость при 20 °С:

$$S(20^{\circ}\text{C})/100 = \frac{m_c^0 - 14.84}{m_g^0 - 25.2} = \frac{25.2 - 14.84}{74.5 - 25.2} = 0.21 \text{ или } 21 \text{ г соли на } 100 \text{ г воды}$$

При 0 °С растворимость будет в 3 раза ниже, тогда при 10 °С она составит $(7+21)/2 = 14$ г соли на 100 г воды.

Пусть при охлаждении из раствора выпадет x моль соли. Тогда масса соли в растворе уменьшится на $106 \cdot x$, а масса воды – на $180 \cdot x$:

$$S(10^{\circ}\text{C})/100 = \frac{m_c^0 - 106x}{m_g^0 - 180x} = \frac{25.2 - 106x}{74.5 - 180x} = 0.14$$

Откуда $x = 0.183$ моль, что соответствует $0.183 \cdot 286 = 52.3$ г $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

4. Гидрокарбонат натрия имеет тривиальное название питьевая (пищевая) сода, декагидрат карбоната натрия – натрит, или кристаллическая сода.

Система оценивания:

1	Формулы солей X и Y по 3 балла	6 баллов
2	Расчёт массовых долей при 100 и 0 °С по 2 балла	4 балла
3	Растворимость при 10 °С Масса осадка	1 балл 3 балла
4	Тривиальные названия X и Y по 0.5 балла	1 балл
		Итого 15 баллов