

5.1 РАСТВОРЫ. КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ

Теоретическое введение

Раствором называют гомогенную смесь веществ переменного состава (однофазную, но многокомпонентную). Различают газовые, жидкие и твердые растворы. Однако, чаще всего применяют жидкие водные растворы, в которых *растворителем* является вода, а другие компоненты называют *растворенными веществами*.

Величина, определяющая содержание растворенного вещества в растворе, называется концентрацией. Наиболее распространены следующие способы выражения концентрации раствора.

1. *Массовая доля растворенного вещества:*

$$\omega = \frac{m_{\text{в}}}{m_{\text{р}}} \cdot 100 \%, \quad (5.1)$$

где $m_{\text{в}}$ – масса растворенного вещества, г;

$m_{\text{р}}$ – масса раствора, г.

Если известны плотность $\rho_{\text{р}}$ и объем раствора $V_{\text{р}}$, то массовую долю растворенного вещества вычисляют по формуле

$$\omega = \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{р}} V_{\text{р}}} \cdot 100 \, \text{\%}.$$

2. *Молярная концентрация или молярность C* (моль/л или М) – это количество вещества (моль), содержащееся в 1 л раствора:

$$C = \frac{m_{\text{в}}}{M_{\text{в}} \cdot V_{\text{р}}}, \quad (5.2)$$

где $M_{\text{в}}$ – молярная масса растворенного вещества (г/моль);

$V_{\text{р}}$ – объем раствора **в литрах**.

Раствор, в одном литре которого содержится 1 моль растворенного вещества, называют **одномолярным** и обозначают 1М.

3. *Молярная концентрация эквивалента* (нормальная концентрация или нормальность) N (моль/л или н.) – это количество эквивалентов вещества (моль-экв), содержащееся в 1 л раствора:

$$N = \frac{m_{\text{в}}}{M_{\text{ЭКВ(В)}} \cdot V_{\text{р}}}, \quad (5.3)$$

где $M_{\text{экв(в)}} = M/z$ – молярная масса эквивалента растворенного вещества (z – эквивалентное число);

V_p – объем раствора **в литрах**.

Раствор, один литр которого содержит 1 моль эквивалентов (моль-экв) растворенного вещества, называют **однонормальным** и обозначают 1н.

4. *Молярная концентрация* C_m (моль/кг) – количество вещества, растворенного в 1 кг растворителя:

$$C_m = \frac{m_{\text{в}}}{M_{\text{в}} \cdot m_{\text{воды}}}, \quad (5.4)$$

где $m_{\text{воды}}$ – масса растворителя, **кг**.

5. *Титр раствора* T (г/см³) – масса растворенного вещества, содержащаяся в 1 см³ (или 1 мл) раствора:

$$T = \frac{m_{\text{в}}}{V_p}. \quad (5.5)$$

где $m_{\text{в}}$ – масса растворенного вещества, **г**;

V_p – объем раствора **в мл** (см³).

6. *Молярная доля* X – отношение количества растворенного вещества к общему количеству всех компонентов раствора, включая растворитель. Для раствора, состоящего из растворенного вещества, количество которого равно $n_{\text{в}}$, и растворителя, количество которого равно $n_{\text{воды}}$, молярная доля растворенного вещества равна

$$X = \frac{n_{\text{в}}}{n_{\text{в}} + n_{\text{воды}}}, \quad (5.6)$$

где $n_{\text{в}}$ и $n_{\text{воды}}$ – количество вещества растворенного и воды, соответственно, моль; количество рассчитывается по формуле $n = \frac{m}{M}$.

Сумма молярных долей всех веществ в растворе равна 1.

Пример 1. Какой объем (см³) раствора с массовой долей хлорида натрия NaCl 20 % ($\rho = 1,15$ г/см³) и воды ($\rho = 1$ г/см³) потребуется для приготовления 200 г раствора с массовой долей NaCl 6 %?

Решение. Находим массу 100%-го NaCl, необходимую для приготовления 200 г разбавленного раствора, по следующей схеме:

100 г раствора содержат 6 г NaCl,

200 г раствора содержат x_1 г NaCl,

$$x_1 = 200 \cdot 6 / 100 = 12 \text{ г.}$$

Определяем массу раствора NaCl с массовой долей 20 %, в котором содержится 12 г NaCl:

100 г раствора содержат 20 г NaCl,

x_2 г раствора содержат 12 г NaCl,

$$x_2 = 100 \cdot 12 / 20 = 60 \text{ г.}$$

Находим массу воды, необходимую для приготовления разбавленного раствора:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = m_{\text{раствора}} - m_{\text{вещества}} = 200 \text{ г} - 60 \text{ г} = 140 \text{ г.}$$

Вычисляем объемы исходного раствора и воды:

$$V_P = \frac{60 \text{ г}}{1,15 \text{ г/см}^3} = 52,1 \text{ см}^3 (52,1 \text{ мл}),$$

$$V_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{140 \text{ г}}{1 \text{ г/см}^3} = 140 \text{ см}^3 (140 \text{ мл}).$$

Для приготовления 200 г раствора с массовой долей NaCl 6 % следует взять 52,1 мл раствора с массовой долей NaCl 20 % и 140 мл воды.

Пример 2. В каком отношении по массе и объему необходимо смешать раствор с массовой долей серной кислоты 96 % ($\rho_1 = 1,15 \text{ г/см}^3$) с раствором этой же кислоты с массовой долей 30 % ($\rho_2 = 1,15 \text{ г/см}^3$), чтобы получить раствор с массовой долей серной кислоты 54 %?

Решение. Используем «правило креста»:

$$\begin{array}{ccc} 96 & & 24 \text{ (то есть } 54 \text{ минус } 30) \\ & \diagdown \quad \diagup & \\ & 54 & \\ & \diagup \quad \diagdown & \\ 30 & & 42 \text{ (то есть } 96 \text{ минус } 54) \end{array}$$

В данном случае диагональная схема показывает, что на 24 единицы массы раствора с массовой долей серной кислоты 96 % необходимо взять 42 единицы массы раствора этой же кислоты с массовой долей 30 %, то есть 24 и 42 г соответственно.

Из отношений по массе переходим к отношениям по объему. Так, 24 г раствора с массовой долей серной кислоты 96 % занимают объем

$$V_1 = \frac{24 \text{ г}}{1,84 \text{ г/см}^3} = 13,1 \text{ см}^3 (13,1 \text{ мл}),$$

а 42 г раствора с массовой долей серной кислоты 30 % – объем

$$V_2 = \frac{42 \text{ г}}{1,22 \text{ г/см}^3} = 34,4 \text{ см}^3 (34,4 \text{ мл}).$$

Таким образом, для приготовления раствора с массовой долей серной кислоты 54 % необходимо на каждые 24 г (13,1 мл) раствора с массовой долей серной кислоты 96 % прибавить 42 г (34,4 мл) раствора той же кислоты с массовой долей 30 %.

Пример 3. Какую массу кристаллогидрата сульфата натрия $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ надо взять для приготовления 200 г раствора сульфата натрия с массовой долей Na_2SO_4 5 %.

Решение. Определим массу Na_2SO_4 в 200 г раствора:
 $m_{\text{в}} = m_{\text{р}} \cdot \omega_{\text{в}} / 100 \% = (200 \cdot 5) / 100 = 10 \text{ г}$. Найдем, в какой массе кристаллогидрата содержится 10 г сульфата натрия. Молярные массы Na_2SO_4 и $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ равны 142 и 322 г/моль. Следовательно:

322 г $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ содержит 142 г Na_2SO_4 ,

x г $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ содержат 10 г Na_2SO_4 ,

$x = 322 \cdot 10 / 142 = 22,7 \text{ г}$ (масса кристаллогидрата).