

## 5.1 РАСТВОРЫ. КОНЦЕНТРАЦИИ РАСТВОРОВ

### Теоретическое введение

*Раствором* называют гомогенную смесь веществ переменного состава (однофазную, но многокомпонентную). Различают газовые, жидкые 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

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

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 однородным 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/см<sup>3</sup>) – масса растворенного вещества, содержащаяся в 1 см<sup>3</sup> (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 (см<sup>3</sup>).

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 (см<sup>3</sup>) раствора с массовой долей хлорида натрия NaCl 20 % ( $\rho = 1,15$  г/см<sup>3</sup>) и воды ( $\rho = 1$  г/см<sup>3</sup>) 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»:

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

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  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  5 %.

*Решение.* Определим массу  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  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  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  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  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,

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

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