

## Способы выражения концентрации раствора

Концентрацией раствора называется содержание растворенного вещества в определенной массе или известном объеме раствора или растворителя.

**Пример 1.** Вычислите: а) массовую (процентную) ( $c$ , %); б) молярную концентрацию ( $c_M$ ); в) молярную концентрацию эквивалента ( $c_H$ ); г) моляльную ( $c_m$ ) концентрацию раствора  $H_3PO_4$ , полученного при растворении 18 г кислоты в  $282 \text{ см}^3$  воды, если плотность его  $1,031 \text{ г/см}^3$ . Чему равен титр  $T$  этого раствора?

*Решение:* а) Массовая концентрация показывает число граммов (единиц массы) вещества, содержащееся в 100 г (единиц массы) раствора. Так как массу 282 см<sup>3</sup> воды можно принять равной 282 г, то масса полученного раствора 18 + 282 = 300 г и, следовательно:

$$c, \% = \frac{100 \cdot 18}{300} = 6\%$$

$$100 - c, \%$$

б) молярная (мольно-объемная) концентрация показывает число молей растворенного вещества, содержащихся в 1 л раствора. Масса 1 л раствора 1031 г. Массу кислоты в литре раствора находим из соотношения

$$x = \frac{1031 \cdot 18}{300} = 61,86$$

$$1031 - x$$

Молярную концентрацию раствора получим делением числа граммов Н<sub>3</sub>РO<sub>4</sub> в 1 л раствора на молярную массу Н<sub>3</sub>РO<sub>4</sub> (97,99 г/моль):

$$c_m = 61,86/97,99 = 0,63 \text{ М.}$$

в) молярная концентрация эквивалента (или нормальность) показывает число эквивалентов растворенного вещества, содержащихся в 1 л раствора.

Так как эквивалентная масса Н<sub>3</sub>РO<sub>4</sub> =  $M/3 = 97,99/3 = 32,66$  г/моль, то

$$c_n = 61,86/32,66 = 1,89 \text{ н.};$$

г) моляльная концентрация (или моляльность) показывает число молей растворенного вещества, содержащихся в 1000 г растворителя. Массу Н<sub>3</sub>РO<sub>4</sub> в 1000 г растворителя находим из соотношения

$$x = \frac{1000 \cdot 18}{282} = 68,83$$

$$1000 - x$$

Отсюда  $c_m = 68,83/97,99 = 0,70$  м.

Титром раствора называют число граммов растворенного вещества в 1 см<sup>3</sup> (мл) раствора. Так как в 1 л раствора содержится 61,86 г кислоты, то  $T = 61,86/1000 = 0,06186$  г/см<sup>3</sup>.

Зная молярную концентрацию эквивалента и молярную массу эквивалента ( $m_3$ ) растворенного вещества, титр легко найти по формуле

$$T = c_n m_3 / 1000.$$

**Пример 2.** На нейтрализацию 50 см<sup>3</sup> раствора кислоты израсходовано 25 см<sup>3</sup> 0,5 н. раствора щелочи. Чему равна молярная концентрация эквивалентов кислоты?

*Решение.* Так как вещества взаимодействуют между собой в эквивалентных соотношениях, то растворы равной молярной концентрации эквивалентов реагируют в равных объемах. При разных молярных концентрациях эквивалентов объемы растворов реагирующих веществ обратно пропорциональны их нормальностям, т.е.

$$V_1 \cdot V_2 = c_{n_2} : c_{n_1} \quad \text{или} \quad V_1 c_{n_1} = V_2 \cdot c_{n_2}$$
$$30 c_{n_1} = 25 \cdot 0,5, \text{откуда } c_{n_1} = 25 \cdot 0,5 / 50 = 0,25_n.$$

**Пример 3.** К 1 л 10%-ного раствора КОН (пл. 1,092 г/см<sup>3</sup>) прибавили 0,5 л 5%-ного раствора КОН (пл. 1,045 г/см<sup>3</sup>). Объем смеси довели до 2 л. Вычислите молярную концентрацию полученного раствора.

*Решение.* Масса одного литра 10%-ного раствора КОН равна 1092 г. В этом растворе содержится  $1092 \cdot 10/100 = 109,2$  г КОН. Масса 0,5 л 5%-ного раствора  $1045 \cdot 0,5 = 522,5$  г. В этом растворе содержится  $522,5 \cdot 5/100 = 26,125$  г КОН.

В общем объеме полученного раствора (2 л) содержание КОН составляет  $109,2 + 26,125 = 135,325$  г. Отсюда молярная концентрация раствора  $c_M = 135,325 / (2 \cdot 56,1) = 1,2$  М, где 56,1 г/моль — молярная масса КОН.

**Пример 4.** Какой объем 96%-ной кислоты плотностью 1,84 г/см<sup>3</sup> потребуется для приготовления 3 л 0,4 н. раствора?

*Решение.* Эквивалентная масса  $H_2SO_4 = M/2 = 98,08/2 = 49,04$  г/моль. Для приготовления 3 л 0,4 н. раствора требуется  $49,04 \cdot 0,4 \cdot 3 = 58,848$  г  $H_2SO_4$ . Масса 1 см<sup>3</sup> 96%-ной кислоты 1,84 г. В этом растворе содержится  $1,84 \cdot 96/100 = 1,766$  г  $H_2SO_4$ .

Следовательно, для приготовления 3 л 0,4 н. раствора надо взять  $58,848 : 1,766 = 33,32$  см<sup>3</sup> этой кислоты.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**141.** Вычислите молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалента 20%-ного раствора хлорида кальция плотностью 1,178 г/см<sup>3</sup>. *Ответ:* 2,1 М; 4,2 н.

142. Чему равна молярная концентрация эквивалента 30%-ного раствора NaOH плотностью  $1,328 \text{ г/см}^3$ ? К 1 л этого раствора прибавили 5 л воды. Вычислите массовую (процентную) долю полученного раствора. *Ответ:* 9,96 н.; 6,3%.

143. К 3 л 10%-ного раствора  $\text{HNO}_3$  плотностью  $1,054 \text{ г/см}^3$  прибавили 5 л 2%-ного раствора той же кислоты плотностью  $1,009 \text{ г/см}^3$ . Вычислите массовую (процентную) и молярную концентрации полученного раствора, объем которого равен 8 л. *Ответ:* 5,0%; 0,82 М.

144. Вычислите молярную концентрацию эквивалента и моляльную концентрацию 20,8%-ного раствора  $\text{HNO}_3$  плотностью  $1,12 \text{ г/см}^3$ . Сколько граммов кислоты содержится в 4 л этого раствора? *Ответ:* 3,70 н.; 4,17 М; 931,8 г.

145. Вычислите молярную концентрацию эквивалента, молярную и моляльную концентрации 16%-ного раствора хлорида алюминия плотностью  $1,149 \text{ г/см}^3$ . *Ответ:* 4,14 н.; 1,38 М; 1,43 М.

146. Сколько и какого вещества останется в избытке, если к  $75 \text{ см}^3$  0,3 н. раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  прибавить  $125 \text{ см}^3$  0,2 н. раствора KOH? *Ответ:* 0,14 г KOH.

147. Для осаждения в виде AgCl всего серебра, содержащегося в  $100 \text{ см}^3$  раствора  $\text{AgNO}_3$ , потребуется  $50 \text{ см}^3$  0,2 н. раствора HCl. Какова молярная концентрация эквивалента раствора  $\text{AgNO}_3$ ? Какая масса AgCl выпала в осадок? *Ответ:* 0,1 н.; 1,433 г.

148. Какой объем 20,01%-ного раствора HCl (пл.  $1,100 \text{ г/см}^3$ ) требуется для приготовления 1 л 10,17%-ного раствора (пл.  $1,050 \text{ г/см}^3$ )? *Ответ:*  $485,38 \text{ см}^3$ .

149. Смешали  $10 \text{ см}^3$  10%-ного раствора  $\text{HNO}_3$  (пл.  $1,056 \text{ г/см}^3$ ) и  $100 \text{ см}^3$  30%-ного раствора  $\text{HNO}_3$  (пл.  $1,184 \text{ г/см}^3$ ). Вычислите массовую (процентную) долю полученного раствора. *Ответ:* 28,38%.

150. Какой объем 50%-ного раствора KOH (пл.  $1,538 \text{ г/см}^3$ ) требуется для приготовления 3 л 6%-ного раствора (пл.  $1,048 \text{ г/см}^3$ ). *Ответ:*  $245,5 \text{ см}^3$ .

151. Какой объем 10%-ного раствора карбоната натрия (пл.  $1,105 \text{ г/см}^3$ ) требуется для приготовления 5 л 2%-ного раствора (пл.  $1,02 \text{ г/см}^3$ ). *Ответ:*  $923,1 \text{ см}^3$ .

152. На нейтрализацию 31 см<sup>3</sup> 0,16 н. раствора щелочи требуется 217 см<sup>3</sup> раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>? Чему равны молярная концентрация эквивалента и титр раствора H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>? *Ответ:* 0,023 н.; 1,127 · 10<sup>-3</sup> г/см<sup>3</sup>.

153. Какой объем 0,3 н. раствора кислоты требуется для нейтрализации раствора, содержащего 0,32 г NaOH в 40 см<sup>3</sup>? *Ответ:* 26,6 см<sup>3</sup>.

154. На нейтрализацию 1 л раствора, содержащего 1,4 г KOH, требуется 50 см<sup>3</sup> раствора кислоты. Вычислите молярную концентрацию эквивалента раствора кислоты. *Ответ:* 0,5 н.

155. Какая масса HNO<sub>3</sub> содержалась в растворе, если на нейтрализацию его потребовалось 35 см<sup>3</sup> 0,4 н. раствора NaOH? Каков титр раствора NaOH? *Ответ:* 0,882 г; 0,016 г/см<sup>3</sup>.

156. Какую массу NaNO<sub>3</sub> нужно растворить в 400 г воды, чтобы приготовить 20%-ный раствор? *Ответ:* 100 г.

157. Смешали 300 г 20%-ного раствора и 500 г 40%-ного раствора NaCl. Чему равна массовая доля полученного раствора? *Ответ:* 32,5%.

158. Смешали 247 г 62%-ного и 145 г 18%-ного раствора серной кислоты. Какова массовая доля полученного раствора? *Ответ:* 45,72%.

159. Из 700 г 60%-ной серной кислоты выпариванием удалили 200 г воды. Чему равна массовая доля оставшегося раствора? *Ответ:* 84%.

160. Из 10 кг 20%-ного раствора при охлаждении выделилось 400 г соли. Чему равна массовая доля охлажденного раствора? *Ответ:* 16,7%.

## Свойства растворов

**Пример 1.** Вычислите температуры кристаллизации и кипения 2%-ного водного раствора глюкозы.

*Решение.* По закону Рауля понижение температуры кристаллизации и повышение температуры кипения раствора ( $\Delta T$ ) по сравнению с температурами кристаллизации и кипения растворителя выражаются уравнением

$$\Delta T = K \frac{m 1000}{M m_1}, \quad (1)$$

где  $K$  — криоскопическая или эбулиоскопическая константа. Для воды они соответственно равны  $1,86$  и  $0,52^\circ$ ;  $m$  и  $M$  — соответственно масса растворенного вещества и его молярная масса;  $m_1$  — масса растворителя.

Понижение температуры кристаллизации 2%-ного раствора  $C_6H_{12}O_6$  находим по формуле (1):

$$\Delta T = 1,86 \frac{2 \cdot 1000}{180 \cdot 98} = 0,21^\circ$$

Вода кристаллизуется при  $0^\circ C$ , следовательно, температура кристаллизации раствора  $0 - 0,21 = -0,21^\circ C$ .

По формуле (1) находим и повышение температуры кипения 2%-ного раствора:

$$\Delta T = 0,52 \frac{2 \cdot 1000}{180 \cdot 98} = 0,06^\circ$$

Вода кипит при  $100^\circ C$ , следовательно, температура кипения этого раствора  $100 + 0,06 = 100,06^\circ C$ .

**Пример 2.** Раствор, содержащий  $1,22$  г бензойной кислоты  $C_6H_5COOH$  в  $100$  г сероуглерода, кипит при  $46,529^\circ C$ . Температура кипения сероуглерода  $46,3^\circ C$ . Вычислите эбулиоскопическую константу сероуглерода.

*Решение* Повышение температуры кипения  $\Delta T = 46,529 - 46,3 = 0,229^\circ$ . Молярная масса бензойной кислоты  $122$  г/моль. По формуле (1) находим эбулиоскопическую константу:

$$K_{эб} = \frac{\Delta T M m_1}{m 1000} = \frac{0,229 \cdot 122 \cdot 100}{1,22 \cdot 1000} = 2,29^\circ$$

**Пример 3.** Раствор, содержащий  $11,04$  г глицерина в  $800$  г воды, кристаллизуется при  $-0,279^\circ C$ . Вычислите молярную массу глицерина.

*Решение* Температура кристаллизации чистой воды  $0^\circ C$ , следовательно, понижение температуры кристаллизации  $\Delta T = 0 - (-0,279) = 0,279^\circ$ . Масса глицерина  $m$  (г), приходящаяся на  $1000$  г воды, равна:

$$m = \frac{11,04 \cdot 1000}{800} = 13,8$$

Подставляя в уравнение

$$M = K \frac{m}{\Delta T} \quad (2)$$

числовые значения, вычисляем молярную массу глицерина:

$$M = \frac{1,86 \cdot 13,8}{0,279} = 92 \text{ г / моль.}$$

**Пример 4.** Вычислите массовую долю (%) водного раствора мочевины  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , зная, что температура кристаллизации этого раствора равна  $-0,465^\circ\text{C}$ .

*Решение:* Температура кристаллизации чистой воды  $0^\circ\text{C}$ , следовательно  $\Delta T = 0 - (-0,465) = + 0,465^\circ$ . Молярная масса мочевины 60 г/моль. Находим массу  $m$  (г) растворенного вещества, приходящуюся на 1000 г воды, по формуле (2):

$$m = \frac{\Delta T M}{K} = \frac{0,465 \cdot 60}{1,86} = 15.$$

Общая масса раствора, содержащего 15 г мочевины, составляет  $1000 + 15 = 1015$  г. Процентное содержание мочевины в данном растворе находим из соотношения

$$\begin{array}{rcl} \text{в } 1015 \text{ г раствора} & \text{— } 15 \text{ г вещества} & \\ \gg 100 \gg & \gg & - x \gg \end{array} \quad x = 1,48\%.$$

#### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

**161.** Раствор, содержащий 0,512 г неэлектролита в 100 г бензола, кристаллизуется при  $5,296^\circ\text{C}$ . Температура кристаллизации бензола  $5,5^\circ\text{C}$ . Криоскопическая константа  $5,1^\circ$ . Вычислите молярную массу растворенного вещества. *Ответ:* 128 г/моль.

**162.** Вычислите массовую долю (%) водного раствора сахара  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ , зная, что температура кристаллизации раствора  $-0,93^\circ\text{C}$ . Криоскопическая константа воды  $1,86^\circ$ . *Ответ:* 14,6%.

**163.** Вычислите температуру кристаллизации раствора мочевины  $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ , содержащего 5 г мочевины в 150 г воды. Криоскопическая константа воды  $1,86^\circ$ . *Ответ:*  $-1,03^\circ\text{C}$ .

**164.** Раствор, содержащий 3,04 г камфоры  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$  в 100 г бензола, кипит при  $80,714^\circ\text{C}$ . Температура кипения бензола  $80,2^\circ\text{C}$ . Вычислите эбулиоскопическую константу бензола. *Ответ:*  $2,57^\circ$ .

165. Вычислите массовую долю (%) водного раствора глицерина  $C_3H_5(OH)_3$ , зная, что этот раствор кипит при  $100,39^\circ\text{C}$ . Эбулиоскопическая константа воды  $0,52^\circ$ . *Ответ:* 6,45%.

166. Вычислите молярную массу неэлектролита, зная, что раствор, содержащий 2,25 г этого вещества в 250 г воды, кристаллизуется при  $-0,279^\circ\text{C}$ . Криоскопическая константа воды  $1,86^\circ$ . *Ответ:* 60 г/моль.

167. Вычислите температуру кипения 5%-ного раствора нафталина  $C_{10}H_8$  в бензоле. Температура кипения бензола  $80,2^\circ\text{C}$ . Эбулиоскопическая константа его  $2,57^\circ$ . *Ответ:*  $81,25^\circ\text{C}$ .

168. Раствор, содержащий 25,65 г некоторого неэлектролита в 300 г воды, кристаллизуется при  $-0,465^\circ\text{C}$ . Вычислите молярную массу растворенного вещества. Криоскопическая константа воды  $1,86^\circ$ . *Ответ:* 342 г/моль.

169. Вычислите криоскопическую константу уксусной кислоты, зная, что раствор, содержащий 4,25 г антрацена  $C_{14}H_{10}$  в 100 г уксусной кислоты, кристаллизуется при  $15,718^\circ\text{C}$ . Температура кристаллизации уксусной кислоты  $16,65^\circ\text{C}$ . *Ответ:*  $3,9^\circ$ .

170. При растворении 4,86 г серы в 60 г бензола температура кипения его повысилась на  $0,81^\circ$ . Сколько атомов содержит молекула серы в этом растворе. Эбулиоскопическая константа бензола  $2,57^\circ$ . *Ответ:* 8.

171. Температура кристаллизации раствора, содержащего 66,3 г некоторого неэлектролита в 500 г воды, равна  $-0,558^\circ\text{C}$ . Вычислите молярную массу растворенного вещества. Криоскопическая константа воды  $1,86^\circ$ . *Ответ:* 442 г/моль.

172. Какую массу анилина  $C_6H_5NH_2$  следует растворить в 50 г этилового эфира, чтобы температура кипения раствора была выше температуры кипения этилового эфира на  $0,53^\circ$ . Эбулиоскопическая константа этилового эфира  $2,12^\circ$ . *Ответ:* 1,16 г.

173. Вычислите температуру кристаллизации 2%-ного раствора этилового спирта  $C_2H_5OH$ . Криоскопическая константа воды  $1,86^\circ$ . *Ответ:*  $-0,82^\circ\text{C}$ .

174. Сколько граммов мочевины  $(NH_2)_2CO$  следует растворить в 75 г воды, чтобы температура кристаллизации понизилась на  $0,465^\circ$ ? Криоскопическая константа воды  $1,86^\circ$ . *Ответ:* 1,12 г.

175. Вычислите массовую долю (%) водного раствора глюкозы  $C_6H_{12}O_6$ , зная, что этот раствор кипит при  $100,26^\circ\text{C}$ . Эбулиоскопическая константа воды  $0,52^\circ$ . *Ответ:* 8,25%.



176. Сколько граммов фенола  $C_6H_5OH$  следует растворить в 125 г бензола, чтобы температура кристаллизации раствора была ниже температуры кристаллизации бензола на  $1,7^\circ$ ? Криоскопическая константа бензола  $5,1^\circ$ . *Ответ:* 3,91 г.

177. Сколько граммов мочевины  $(NH_2)_2CO$  следует растворить в 250 г воды, чтобы температура кипения повысилась на  $0,26^\circ$ ? Эбулиоскопическая константа воды  $0,52^\circ$ . *Ответ:* 7,5 г.

178. При растворении 2,3 г некоторого неэлектролита в 125 г воды температура кристаллизации понижается на  $0,372^\circ$ . Вычислите молярную массу растворенного вещества. Криоскопическая константа воды  $1,86^\circ$ . *Ответ:* 92 г/моль.

179. Вычислите температуру кипения 15%-ного водного раствора пропилового спирта  $C_3H_7OH$ . Эбулиоскопическая константа воды  $0,52^\circ$ . *Ответ:*  $101,52^\circ C$ .

180. Вычислите массовую долю (%) водного раствора метанола  $CH_3OH$ , температура кристаллизации которого  $-2,79^\circ C$ . Криоскопическая константа воды  $1,86^\circ$ . *Ответ:* 4,58%.