

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 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 см³ 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 Н₃Р₀₄ в 1 л раствора на молярную массу Н₃Р₀₄ (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 Н₃Р₀₄ = $M/3 = 97,99/3 = 32,66$ 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 Н₃Р₀₄ в 1000 г растворителя находим из соотношения

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

$$1000 - x$$

Отсюда $c_m = 68,83/97,99 = 0,703 \text{ м.}$

Титром раствора называют число граммов растворенного вещества в 1 см³ (мл) раствора. Так как в 1 л раствора содержится 61,86 г кислоты, то $T = 61,86/1000 = 0,06186 \text{ г/см}^3$.

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 см³ раствора кислоты израсходовано 25 см³ 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.

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

Пример 3. К 1 л 10%-ного раствора КОН (пл. 1,092 г/см³) прибавили 0,5 л 5%-ного раствора КОН (пл. 1,045 г/см³). 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/см³ 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 см³ 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 $58,848 : 1,766 = 33,32$ см³ этой кислоты.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

141. Вычислите молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалента 20%-ного раствора хлорида кальция плотностью 1,178 г/см³. *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 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 молярную концентрацию 20,8%-ного раствора 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 молярную 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 см^3 0,3 н. раствора H_2SO_4 прибавить 125 см^3 0,2 н. раствора KOH? *Ответ:* 0,14 г KOH.

147. Для осаждения в виде AgCl всего серебра, содержащегося в 100 см^3 раствора AgNO_3 , потребуется 50 см^3 0,2 н. раствора HCl. Какова молярная концентрация эквивалента раствора 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 см^3 10%-ного раствора HNO_3 (пл. $1,056 \text{ г/см}^3$) и 100 см^3 30%-ного раствора 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 см³ 0,16 н. раствора щелочи требуется 217 см³ раствора H₂SO₄? Чему равны молярная концентрация эквивалента и титр раствора H₂SO₄? *Ответ:* 0,023 н.; 1,127 · 10⁻³ г/см³.

153. Какой объем 0,3 н. раствора кислоты требуется для нейтрализации раствора, содержащего 0,32 г NaOH в 40 см³? *Ответ:* 26,6 см³.

154. На нейтрализацию 1 л раствора, содержащего 1,4 г KOH, требуется 50 см³ раствора кислоты. Вычислите молярную концентрацию эквивалента раствора кислоты. *Ответ:* 0,5 н.

155. Какая масса HNO₃ содержалась в растворе, если на нейтрализацию его потребовалось 35 см³ 0,4 н. раствора NaOH? Каков титр раствора NaOH? *Ответ:* 0,882 г; 0,016 г/см³.

156. Какую массу NaNO₃ 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 (ΔT) 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°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 $100,39^\circ C$. 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 $-0,279^\circ C$. 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 $80,2^\circ C$. Эбулиоскопическая константа его $2,57^\circ$. *Ответ:* $81,25^\circ C$.

168. Раствор, содержащий 25,65 г некоторого неэлектролита в 300 г воды, кристаллизуется при $-0,465^\circ C$. 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 $15,718^\circ C$. Температура кристаллизации уксусной кислоты $16,65^\circ C$. *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 $-0,558^\circ C$. 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:* $-0,82^\circ C$.

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 $100,26^\circ C$. 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%.