

15. Решение расчетных задач

15.1. Массовая доля растворенного вещества. Разбавление, концентрирование и смешивание растворов

Массовая доля растворенного вещества В

(ω_B) – это отношение массы вещества В (m_B) к массе раствора ($m_{(p)}$):

$$\omega_B = m_B / m_{(p)} [\text{доля 1 или в \%}]$$

При решении ω_B выражается всегда в долях единицы (например, $\omega_B = 0,01$), в ответе – часто в процентах ($\omega_B = 1\%$).

Величина, численно равная ω_B (в %), характеризует раствор в целом, например, при $\omega_B = 1\%$ раствор будет *однопроцентным* (1 %-ный раствор вещества В).

Соотношения для *массы раствора*:

$$m_{(p)} = m_B + m(\text{H}_2\text{O}),$$

$$m_{(p)} = \rho_{(p)} V_{(p)},$$

где $\rho_{(p)}$ – плотность и $V_{(p)}$ – объем раствора.

Для воды условно считается, что ее масса и объем **численно** равны, т. е. плотность принимается равной 1 г/мл или 1000 г/л.

Если для приготовления раствора берется кристаллогидрат некоторой соли (а не сама безводная соль), то используются соотношения:

а) *масса кристаллогидрата В xH₂O*

$$m_{\text{кр}} = m_B + m(\text{кр. H}_2\text{O})$$

где $m(\text{кр. H}_2\text{O})$ – масса воды, которая содержится в данной массе кристаллогидрата;

б) *масса безводной соли В в кристаллогидрате*

$$m_B / M_B = m_{\text{кр}} / M_{\text{кр}}$$

так как $n_B = n_{\text{кр}}$;

б) *масса добавляемой воды*

$$m(\text{доб. H}_2\text{O}) = m_{(p)} - m_{\text{кр}}$$

$$m(\text{доб. H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) - m(\text{кр. H}_2\text{O})$$

где $m(\text{H}_2\text{O})$ – суммарная масса воды в приготовленном растворе.

В лабораторной практике часто приходится готовить **разбавленный** раствор вещества (величины с индексом ') из **концентрированного** раствора того же вещества (величины с индексом ") путем разбавления водой.

Масса растворенного вещества при разбавлении не изменяется:

$$m = w' m'_{(p)} = w'' m''_{(p)} = \text{const}$$

Масса добавляемой воды определяется соотношением:

$$m(\text{доб. H}_2\text{O}) = m'_{(p)} - m''_{(p)}.$$

Для приготовления концентрированного раствора вещества В из разбавленного раствора применяют два способа.

а) *Выпаривание* некоторой порции воды из начального раствора. При этом *масса растворенного вещества* не меняется.

$$m_B = w'_B m'_{(p)} = w''_B m''_{(p)} = \text{const}$$

а масса воды, которую удаляют из раствора, определяется соотношением:

$$m(\text{вып. H}_2\text{O}) = m'_{(p)} - m''_{(p)}$$

б) *Добавление* некоторой порции вещества В в начальный раствор. При этом *масса воды* не изменяется:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = m'_{(p)} - m'_B = m''_{(p)} - m''_B = \text{const},$$

а масса добавленного вещества определяется соотношением

$$m(\text{доб. В}) = m''_B - m'_B = m''_{(p)} - m'_{(p)}$$

Для приготовления раствора с **промежуточным составом** (величины без индексов) проводят **смешивание концентрированного и разбавленного** растворов вещества В. При этом все величины связаны соотношениями:

$$n_B = n'_B + n''_B, m_B = m'_B + m''_B, m_{(p)} = m'_{(p)} + m''_{(p)} \\ w_B m_{(p)} = w'_B m'_{(p)} + w''_B m''_{(p)}.$$

Примеры решения задач

1. Вычислите объем (в литрах, н.у.) аммиака, который полностью поглощается водой с образованием 500 г 20 %-ного раствора.

$$\text{NH}_3 = \text{В}, V_B = n_B V_M = \frac{m_B}{M_B} V_M = \frac{w_B m_{(p)}}{M_B} V_M = \frac{0,2 \cdot 500 \cdot 22,4}{17} = \\ = 132 \text{ л NH}_3.$$

2. Какую массу (в граммах) кристаллогидрата $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ следует использовать для приготовления 250 г 15 %-ного раствора безводной соли?

$$\text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{В}, m_{\text{кр}} = m_B \frac{M_{\text{кр}}}{M_B} = w_B m_{(p)} \frac{M_{\text{кр}}}{M_B} = \frac{0,15 \cdot 250 \cdot 286}{106} = \\ = 101,18 \text{ г Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}.$$

3. До какого объема (в литрах) надо разбавить водой 250 мл 30 %-ного раствора нитрата аммония (плотность раствора 1,13 г/мл), чтобы приготовить 10 %-ный раствор (плотность 1,04 г/мл)?

$$\begin{aligned} \text{NH}_4\text{NO}_3 = \text{B}, V_{(\text{p})} &= \frac{m'_{(\text{p})}}{\rho'_{(\text{p})}} = \frac{m_{\text{B}}/w'_{\text{B}}}{\rho'_{(\text{p})}} = \frac{w''_{\text{B}} m''_{(\text{p})}/w'_{\text{B}}}{\rho'_{(\text{p})}} = \\ &= \frac{(w''_{\text{B}} V''_{(\text{p})} \rho''_{(\text{p})})/w'_{\text{B}}}{\rho'_{(\text{p})}} = \frac{0,3 \cdot 0,2 \cdot 1,13/0,1}{1,04} = \\ &= 6,52 \text{ л раствора } \text{NH}_4\text{NO}_3. \end{aligned}$$

4. Установите массу (в граммах) выпаренной воды из 300 мл 4%-ного раствора хлорида бария (плотность раствора 1033 г/л), если приготовлен 10 %-ный раствор.

$$\begin{aligned} \text{BaCl}_2 = \text{B}, m(\text{вып. H}_2\text{O}) &= m'_{(\text{p})} - m''_{(\text{p})} = m'_{(\text{p})} - \frac{w'_{\text{B}} m'_{(\text{p})}}{w''_{\text{B}}} = \\ &= m'_{(\text{p})} \left(\frac{w''_{\text{B}} - w'_{\text{B}}}{w''_{\text{B}}} \right) = \frac{V_{(\text{p})} \rho'_{(\text{p})} (w''_{\text{B}} - w'_{\text{B}})}{w''_{\text{B}}} = \\ &= \frac{300 \cdot 1,033 (0,1 - 0,04)}{0,1} = 186 \text{ г H}_2\text{O}. \end{aligned}$$

5. Вычислите массу (в граммах) порции гидроксида калия, которую добавили в 400 г 5%-ного раствора этого вещества и довели массовую долю до 40 %.

$$\begin{aligned} \text{KOH} = \text{B}, m(\text{доб. B}) &= m''_{\text{B}} - m'_{\text{B}} = w''_{\text{B}} m''_{(\text{p})} - w'_{\text{B}} m'_{(\text{p})} = \\ &= w''_{\text{B}} [m'_{(\text{p})} + m(\text{доб. B})] - w'_{\text{B}} m'_{(\text{p})}, \\ m(\text{доб. B}) &= w''_{\text{B}} m'_{(\text{p})} + w''_{\text{B}} m(\text{доб. B}) - w'_{\text{B}} m'_{(\text{p})}, \\ m(\text{доб. B}) &= \frac{m'_{(\text{p})} (w''_{\text{B}} - w'_{\text{B}})}{1 - w''_{\text{B}}} = \frac{400 (0,4 - 0,05)}{1 - 0,4} = \\ &= 233,3 \text{ г KOH}. \end{aligned}$$

6. Определите массовую долю (в %) серной кислоты в конечном растворе, приготовленным смешиванием 90 г 5%-ного и 120 г 40 %-ного растворов этого вещества.

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{B}, w_{\text{B}} &= \frac{m_{\text{B}}}{m_{(\text{p})}} = \frac{m'_{\text{B}} + m''_{\text{B}}}{m'_{(\text{p})} + m''_{(\text{p})}} = \frac{(w'_{\text{B}} m'_{(\text{p})} + w''_{\text{B}} m''_{(\text{p})})}{m'_{(\text{p})} + m''_{(\text{p})}} = \\ &= \frac{0,05 \cdot 90 + 0,4 \cdot 120}{90 + 120} = 25\% \text{ H}_2\text{SO}_4. \end{aligned}$$

Задания для самостоятельного решения части В

1. Установите массовую долю (в %) хлорида калия в растворе, приготовленным из 0,65 моль соли и 300 мл воды.

2. Приготовлено 300 г 5%-ного раствора иода в этаноле. Рассчитайте массу (в граммах) использованного спирта.

3. Какой объем (в литрах, н. у.) метаналя необходимо растворить в 500 мл воды, чтобы приготовить 30 %-ный *формалин*.

4. Рассчитайте массовую долю (в %) сульфата цинка (II), если раствор приготовлен из 0,75 моль кристаллогидрата $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и 600 г воды.

5. Найдите массу (в граммах) кристаллогидрата $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, которую необходимо взять

для приготовления 160 г 10 %-ного раствора безводной соли.

6. Бромоводород объемом 5,4 л (н. у.) затрачен на приготовление 8 %-ного раствора (плотность равна 1056,8 г/л). Вычислите объем (в литрах) этого раствора.

7. Определите массу (в граммах) добавленной воды, необходимой для приготовления 10 %-ного раствора из 1 моль дигидрата гидроксида калия.

8. Установите массу (в граммах) 4 % – ного раствора нитрата калия, приготовленного путем разбавления водой из 20 г 15 %-ного раствора.

9. Рассчитайте, до какого объема (в литрах) надо разбавить водой 700 г 50,5 %-ного раствора ацетата калия, чтобы приготовить 7,7 %-ный раствор с плотностью 1038 г/л.

10. Какой объем (в литрах) воды необходим для разбавления 200 мл 96 %-ного этанола (плотность 0,8 г/мл) до 10 %-ного спирта?

11. К 100 г 35 %-ного водного раствора метанола добавили 50 г того же вещества. Найдите массовую долю (в %) спирта в конечном растворе.

12. К 250 мл 8% – ного раствора нитрата серебра (I) добавили еще соли и приготовили 16 %-ный раствор. Установите добавленное количество соли (моль).

13. Какой объем (в литрах, н. у.) аммиака надо растворить в 1 л 10 %-ного раствора (плотность 0,96 г/мл) того же вещества для приготовления 15 %-ного раствора?

14. Определите массовую долю (в %) нитрата натрия в конечном растворе, приготовленным смешиванием 90 г 5%-ного и 120 г 40 %-ного растворов.

15. Какую массу в граммах 96 %-ный серной кислоты надо смешать с 200 г 5%-ный кислоты, чтобы приготовить 20 %-ный раствор?

16. Смешали 250 мл 30 %-ного водного раствора метанола (плотность раствора 0,954 г/мл) и 300 г 40 %-ного раствора того же спирта. Какой станет массовая доля (в %) вещества в конечном растворе?

17. Заполнили колбу вначале хлороводородом (н. у.), затем водой. Какова массовая доля (в %) вещества в приготовленном растворе?

18. Гидроортофосфат кальция образует 0,02 %-ный насыщенный раствор в комнатных условиях. Найдите минимальный объем (в литрах) воды, требующийся для растворения 100 г соли.

19. Приготовлен раствор из 219 г кристаллогидрата $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ и 1 л воды. Рассчитайте массовую долю (в %) безводной соли в этом растворе.

20. Определите количество гидроксида калия (моль), содержащееся в 3 л 25 %-ного раствора (плотность 1,24 г/мл).

21. Найдите объем (мл) воды, в котором надо растворить 70 г $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ для приготовления 12 %-ного раствора.

22. Каким количеством воды (моль) надо разбавить 500 мл 20 %-ный азотной кислоты (плотность 1,12 г/мл), чтобы приготовить 8 %-ный раствор?

23. Разбавлением водой приготовлен 1 кг 3,5 %-ный уксусной кислоты из 70 %-ной (плотность 1,069 г/мл). Найдите объем (мл) исходного раствора кислоты.

24. Приготовили раствор 10 г сахарозы в 200 г воды. Затем раствор упарили вдвое (по объему). Определите массовую долю (в %) углевода в конечном растворе.

25. К 1 л 25 %-ного раствора едкого натра (плотность раствора 1,28 г/мл) добавляют порцию той же щелочи и готовят 35 %-ный раствор. Рассчитайте массу (в граммах) этой порции.

26. Смешали 300 мл 10 %-ный хлороводородной кислоты (плотность 1,05 г/мл) и 100 г 5%-ной кислоты. Определите массовую долю (в %) растворенного вещества в конечном растворе.

27. Водный 5 %-ный раствор нитрата стронция массой 320 г смешали с 45 г 38 %-ного раствора того же вещества. Рассчитайте конечную массовую долю (в %) растворенного вещества.

Отвeты

1. 13,9 % KCl. **2.** 291 г C₂H₅OH. **3.** 160 л HC(H)O. **4.** 14,8 % ZnSO₄. **5.** 25 г CuSO₄ 5H₂O. **6.** 0,231 л HBr. **7.** 468 г H₂O. **8.** 75 г раствора KNO₃. **9.** 4,42 л раствора K(CH₃COO). **10.** 1,376 л H₂O. **11.** 56,7 % CH₃OH. **12.** 0,14 моль AgNO₃. **13.** 74,41 л NH₃. **14.** 25 % NaNO₃. **15.** 39,47 г H₂SO₄ (конц.). **16.** 35,6 % CH₃OH. **17.** 0,163 % HCl. **18.** 499 л H₂O. **19.** 9,11 % CaCl₂. **20.** 16,61 моль KOH. **21.** 279,4 мл H₂O. **22.** 46,67 моль H₂O. **23.** 46,77 мл CH₃COOH (конц.). **24.** 9,09 % Cl₂H₂₂O₁₁. **25.** 196,92 г NaOH. **26.** 8,8 % HCl. 27.9,1 % Sr(NO₃)₂.