

Растворы

Под раствором понимается термодинамически устойчивая многокомпонентная однородная (гомогенная) система переменного состава. Компоненты раствора – *растворенное вещество* и *растворитель*.

Растворитель – это компонент раствора, находящийся в том же агрегатном состоянии, что и раствор. Если растворитель и растворенные вещества находятся в одинаковой фазе (спирт, вода), то растворителем является компонент с наибольшим содержанием в системе.

Растворы подразделяют на жидкие (например, раствор соли в воде), газовые (воздух), твердые (сплавы металлов).

Растворение любого вещества сопровождается выделением или поглощением теплоты, что характерно для химических реакций, поэтому растворение – это сложный физико-химический процесс, при котором происходит взаимодействие (электростатическое, донорно-акцепторное, образование водородной связи) между частицами растворителя и растворенных веществ.

Растворимостью некоторого вещества называется его концентрация в насыщенном при данных условиях растворе. *Коэффициент растворимости* – масса растворенного вещества (в граммах) в насыщенном растворе, приходящаяся на 100 г растворителя. С увеличением температуры растворимость твердых веществ и жидкостей возрастает, растворимость газов уменьшается.

Количественной характеристикой растворов является концентрация.

Способы выражения концентрации растворов

В общем случае *концентрация* вещества – физическая величина (размерная или безразмерная), определяющая количественный состав раствора, расплава или любой смеси. Наряду с температурой и давлением концентрация является основным термодинамическим параметром состояния системы.

На практике при приготовлении растворов чаще всего используют два вида концентрации, рекомендуемые ИЮПАК:

– весовые – массовая доля (процентная концентрация) и моляльная концентрация, мольная доля;

– объемные – молярная концентрация, молярная концентрация эквивалентов и титр.

Массовая доля растворенного вещества (ω) равна отношению массы растворенного вещества к массе раствора:

$$\omega(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{m(\text{р-ра})} \cdot 100\% ,$$

где $\omega(\text{в-ва})$ – массовая доля, растворенного вещества, %; $m(\text{в-ва})$ – масса растворенного вещества, г; $m(\text{р-ра})$ – масса раствора, г.

Массовая доля $\omega(\text{в-ва})$ показывает, сколько единиц массы растворенного вещества X содержится в 100 единицах массы раствора. Это безразмерная величина, ее выражают обычно в долях единицы или процентах.

Например, запись $\omega(\text{HNO}_3) = 0,2$ означает, что массовая доля азотной кислоты равна 20 % или в 100 г раствора содержится 20 г HNO_3 .

Масса раствора равна произведению объема раствора $V(\text{р-ра})$ на его плотность ρ : $m(\text{р-ра}) = \rho \cdot V(\text{р-ра})$. Следовательно:

$$\omega(\text{в-ва}) = \frac{m(\text{в-ва})}{\rho V(\text{р-ра})} \cdot 100\% .$$

Молярная концентрация раствора (C_M или M , моль/л) показывает, какое количество растворенного вещества содержится в 1 литре раствора, т.е. представляет собой отношение количества растворенного вещества к объему раствора:

$$C_M = \frac{n(\text{в-ва})}{V(\text{р-ра})} = \frac{m(\text{в-ва})}{M \cdot V(\text{р-ра})} ,$$

где $m(\text{в-ва})$ – масса растворенного вещества, г; M – молярная масса растворенного вещества, г/моль; $V(\text{р-ра})$ – объем раствора, л.

Записи 0,1 моль/л KBr или 0,1М KBr означают децимолярный раствор бромида калия.

Моляльность вещества, или моляльная концентрация (C_m или m , моль/кг) показывает содержание числа молей растворенного вещества в 1 кг (или 1000 г) растворителя:

$$C_m = \frac{m(\text{в} - \text{ва}) \cdot 1000}{M \cdot m(\text{р} - \text{ля})},$$

где C_m – моляльная концентрация, моль/кг р-ля; $m(\text{в} - \text{ва})$ – масса растворенного вещества, г; M – молярная масса растворенного вещества, г/моль; $m(\text{р} - \text{ля})$ – масса растворителя, г.

Обозначение $C_m(\text{HCl}, \text{H}_2\text{O}) = 2,0$ моль/кг свидетельствует о том, что в растворе или в смеси на каждый килограмм воды как растворителя приходится 2 моль хлороводорода.

Молярная доля (N) равна отношению числа молей растворенного вещества к общему числу молей растворенного вещества и растворителя:

$$N(\text{в} - \text{ва}) = \frac{n(\text{в} - \text{ва})}{n(\text{в} - \text{ва}) + n(\text{р} - \text{ля})} \cdot 100\%,$$

где $n(\text{в} - \text{ва})$ и $n(\text{р} - \text{ля})$ – количество растворенного вещества и растворителя соответственно. Это безразмерная величина, выражается в долях единицы или процентах.

Задача 1. В 200 г воды растворили 50 г CuSO_4 . Найдите массовую долю и процентную концентрацию.

Решение. $\omega = \frac{m_{\text{в-ва}}}{m_{\text{р-ра}}} = \frac{50}{200 + 50} = \frac{50}{250} = 0,2$ или 20%.

Задача 2. Найдите массы воды и медного купороса $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, необходимые для приготовления 1 л раствора, содержащего 8% (мас.) безводной соли. Плотность раствора равна 1,084 г/мл.

Решение. 1. Найдем массу раствора:

$$m_{\text{р-ра}} = V \cdot \rho = 1000 \cdot 1,084 = 1084 \text{ г}.$$

2. Найдем массу безводной соли:

$$m_{\text{CuSO}_4} = m_{\text{p-ра}} \cdot \omega = 1084 \cdot 0,08 = 86,7 \text{ г}.$$

3. Найдем молярные массы CuSO_4 и $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$:

$$M(\text{CuSO}_4) = 160 \text{ г/моль}; \quad M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 250 \text{ г/моль}$$

4. Из пропорции найдем массу $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, содержащую 86,7 г безводной соли:

$$250:160 = x:86,7;$$

$$x = 250 \cdot 86,7 / 160 = 135,5 \text{ г}.$$

5. Найдем массу воды:

$$m_{(\text{H}_2\text{O})} = m_{\text{p-ра}} - m_{\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}} = 1084 - 135,5 = 948,5 \text{ г}.$$

Задача 3. Найти мольную долю растворенного вещества в 30% - ном (по массе) растворе NaNO_3 .

Решение. В 100 г раствора содержится 30 г NaNO_3 и 70 г H_2O .

Следовательно,

$$n_{\text{NaNO}_3} = \frac{m_{\text{NaNO}_3}}{M(\text{NaNO}_3)}; \quad n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M(\text{H}_2\text{O})}.$$

Найдем: $M(\text{NaNO}_3) = 85 \text{ г/моль}$; $M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль}$.

$$n_{\text{NaNO}_3} = \frac{30}{85} = 0,353 \text{ моль}; \quad n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{70}{18} = 3,89 \text{ моль}.$$

Тогда мольная доля NaNO_3

$$N_{\text{NaNO}_3} = \frac{n_{\text{NaNO}_3}}{n_{\text{NaNO}_3} + n_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{0,353}{0,353 + 3,89} = 0,083 \text{ или } 8,3\%.$$

Задача 4. Массовая доля хлорида меди (II) в насыщенном растворе при температуре 20°C равна 42,7 %. Определите коэффициент растворимости хлорида меди (II) при данной температуре.

Решение. Найдем массу CuCl_2 и H_2O . Они равны соответственно:

$$m_{\text{CuCl}_2} = 42,7 \text{ г}; \quad m_{\text{H}_2\text{O}} = 100 - 42,7 = 57,3 \text{ г}$$

По определению, растворимость – масса вещества, растворяющегося в 100 г H_2O . Составим пропорцию:

$$42,7:x = 57,3:100. \text{ Отсюда } x = \frac{42,7 \cdot 100}{57,3} = 74,5 \text{ г.}$$

Следовательно, растворимость CuCl_2 в 100 г воды составляет 74,5г.

Задача 5. Смешаны растворы массой 200 и 100 г с массовой долей гидроксида калия 15 и 45%. Вычислите массовую долю гидроксида калия в полученном растворе.

Решение.

$$\omega_{\text{см.}} = \frac{\omega_1 \cdot m_1 + \omega_2 \cdot m_2}{m_1 + m_2};$$

$$\omega_{\text{кон}} = \frac{200 \cdot 0,15 + 100 \cdot 0,45}{200 + 100} = 0,25 \text{ или } 25\%.$$

Массовая доля КОН в растворе составляет 0,25 или 25%.

Задача 6. Какие массы растворов с массовыми долями азотной кислоты 15 и 30% надо взять, чтобы приготовить раствор с массовой долей кислоты 25% массой 600 г?

Решение. Задачу можно решить, используя правило смешения – «правило креста». Для этого запишем друг под другом массовые доли исходных растворов, а между ними – массовую долю раствора, который надо приготовить:

$$\begin{array}{ccc} 0,30 & \searrow & \\ & & 0,25 \\ 0,15 & \nearrow & \end{array}$$

Из большей массовой доли вычитаем заданную. Результат запишем справа внизу. Из заданной вычитаем меньшую массовую долю и записываем результат справа сверху:

$$\begin{array}{ccccc} 0,30 & \searrow & & \nearrow & 0,10 \\ & & 0,25 & & \\ 0,15 & \nearrow & & \searrow & 0,05 \end{array}$$

Числа 0,10 и 0,05 показывают, в каком массовом соотношении нужно взять растворы с $\omega_{1(\text{HNO}_3)} = 0,15$ (15%) и $\omega_{2(\text{HNO}_3)} = 0,3$ (30%).

Таким образом, масса раствора с $\omega_{1(\text{HNO}_3)} = 0,15$ составляет

$$m_1 = \frac{m \cdot 0,1}{0,1 + 0,05} = \frac{600 \cdot 0,1}{0,15} = 400,0 \text{ г.}$$

Масса раствора с $\omega_{2(\text{HNO}_3)} = 0,3$ составляет

$$m_2 = \frac{m \cdot 0,05}{0,1 + 0,05} = \frac{600 \cdot 0,05}{0,15} = 200,0 \text{ г.}$$

Способы приготовления растворов

Приготовление раствора по навеске. Отвешивается рассчитанное количество вещества (в г) и растворяется в определенном весовом или объемном количестве растворителя.

Разбавление – разбавление водой до определенной массы или объема более концентрированных растворов, чем заданная концентрация.

Смешивание. Растворы готовятся из двух растворов: одного более разбавленного, второго – более концентрированного, чем заданная концентрация.

Задачи для самостоятельного решения

1. Как меняется растворимость веществ в ряду $\text{AgCl} \rightarrow \text{AgBr} \rightarrow \text{AgI}$?
2. Составьте схему ступенчатой диссоциации соединений: H_3PO_4 , $\text{La}(\text{OH})_3$, KHCO_3 .
3. Чему равно суммарное число молей ионов Mg^{2+} и NO_3^- в растворе объемом 1 л, содержащем 0,25 моль $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$?
4. Сколько г хлорида калия содержится в 750 мл 10%-ного раствора, плотность которого равна 1,067 г/мл?

Ответ: 79,7 г KCl.

5. К 150 г 20%-ного раствора сахарозы добавили 15 г глюкозы. Рассчитайте массовые доли углеводов в новом растворе.

Ответ: 18,2% $C_{12}H_{22}O_{11}$; 9,1% $C_6H_{12}O_6$.

6. Смешали 250 г 10%-ного и 750 г 15%-ного растворов глюкозы. Вычислите массовую долю глюкозы в полученном растворе.

Ответ: 13,75%.

7. Имеется 30%-ный раствор азотной кислоты (плотность 1,2 г/мл). Какова молярная концентрация раствора?

Ответ: 5,71 моль/л HNO_3 .

8. Упарили вдвое (по объему) 2 л 10%-ного раствора $NaCl$ (плотность 1,07 г/мл). Определите молярную концентрацию полученного раствора.

Ответ: 3,66 М $NaCl$.

9. Какую массу медного купороса $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и воды надо взять для приготовления 40 кг 20%-ного раствора сульфата меди (II)?

Ответ: 12,5 кг $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 27,5 кг H_2O .

10. Сколько граммов сульфата калия выпадает в осадок из 400 г раствора, насыщенного при $80^{\circ}C$, при охлаждении его до $20^{\circ}C$? Растворимость K_2SO_4 составляет 21,4 г при $80^{\circ}C$ и 11,1 г при $20^{\circ}C$.

Ответ: 33,9 г K_2SO_4 .

11. К раствору, содержащему смесь сульфита калия и хлорида натрия, сначала добавили избыток соляной кислоты, а затем нитрата серебра. Какие ионы остались в растворе? Ответ подтвердите уравнениями реакций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хомченко Г.П. Пособие по химии для поступающих в вузы. 4-е изд., испр. и доп. – М.: Новая волна, 2002. – 480с. – ISBN 5-7864-0142-1.
2. Кузьменко Н.Е., Еремин В.В., Попков А.В. Химия. Для школьников старших классов и поступающих в вузы: Учеб. пособ. – М.: МГУ, ЛКИ, 2015. – 472с. – ISBN 978-5-19-010989-4.
3. Хомченко Г.П., Хомченко И.Г. Задачи по химии для поступающих в вузы. 4-е изд., испр. и доп. – М.: Новая волна, 2002. – 272с. – ISBN 5-7864-0143-X, 5-94368-004-7.
4. Кузьменко Н.Е., Еремин В.В. Химия. 2400 задач для школьников и поступающих в вузы. – М.: Дрофа, 1999. – 560. – ISBN 5-7107-2553-6.
5. Шиманович И.Е., Павлович М.Л. и др. Общая химия в формулах, определениях, схемах. – Минск: «Полымя», 1996. – 528с.
6. Егоров А.С. и др. Химия. Пособие-репетитор. 29-е изд. – Ростов-н/Д: Феникс, 2010. – 762с.
7. Слета Л.А. Химия: Справочник для студентов и абитуриентов. – Харьков: Фолио, 2000. – 496с. – ISBN 966-03-0769-1; ISBN 5-17000016-2.
8. Пенина В.И., Афанасьева О.Ю., Лаврентьева О.В. Общая химия для поступающих в вузы: Учеб. пособ. – Самара: СамГТУ, 2015. – 116с.
9. Глинка Н.Л. Задачи и упражнения по общей химии: учеб. пособ. для вузов / Под ред. В.А. Рабиновича и Х.М. Рубиной. – 24-е стереотипное – М.: Интеграл-Пресс, 2009. – 240 с.
10. Романцева Л.М. и др. Сборник задач по общей химии. – М.: Высш. шк., 1997.
11. Самоучитель решения задач по общей химии: учеб. пособ. / О.В. Лаврентьева, И.К. Гаркушин, И.Б. Костылева, Л.А. Медовщикова. – Самара: СамГТУ, 2010. – 260 с.
12. Химия для технических вузов: учеб. пособие. В 2-х частях / И.К. Гаркушин, Н.И. Лисов, О.В. Лаврентьева, А.В. Немков; 3-е изд., перераб. и доп. Ч. 1. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – 404 с.: ил. – ISBN 978-5-7964-1495-8.
13. Химия для технических вузов: учеб. пособие. В 2-х частях / И.К. Гаркушин, Н.И. Лисов, О.В. Лаврентьева, А.В. Немков; 3-е изд., перераб. и доп. Ч. 2. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – 234 с.: ил. – ISBN 978-5-7964-1479-2.