

ЛЕКЦИЯ 4 (4 ЧАСА)

РАСТВОРЫ. ВИДЫ КОНЦЕНТРАЦИЙ

Раствором называется гомогенная система, состоящая из растворенных веществ и растворителя.

Растворителем считают тот компонент, который в чистом виде является жидкостью. Если же растворитель и растворенное вещество – две жидкости (например, спирт и вода), то растворителем считается тот компонент, которого больше.

Отличие растворов от химических соединений заключается в том, что состав раствора может изменяться в широких пределах. Другое отличие – в свойствах раствора можно найти свойства отдельных его компонентов. Отличие растворов от механических смесей состоит в том, что растворы однородны.

Процесс растворения кристаллического вещества в жидком растворителе протекает следующим образом.

При погружении кристалла в жидкость благодаря колебательному движению молекул кристалла и их притяжению со стороны молекул растворителя часть молекул отделяется от поверхности кристалла и равномерно распределяется в объеме растворителя. Этот процесс, однако, не бесконечен, поскольку протекает обратный процесс – кристаллизация молекул растворенного вещества. При этом молекулы соударяются с поверхностью кристалла и притягиваются к нему.

Чем меньше количество молекул растворяемого вещества в растворителе, тем быстрее идет процесс растворения. Однако по мере их накопления в растворителе скорость растворения снижается, а скорость кристаллизации возрастает. В какой-то момент наступает динамическое равновесие.

Раствор, находящийся в равновесии с растворяющимся веществом, называется насыщенным.

Если концентрация растворенного вещества в растворителе меньше, чем в насыщенном растворе, то такой раствор называется ненасыщенным.

Концентрация раствора – это количество растворенного вещества, содержащегося в растворе или в растворителе.

В зависимости от того, в каких единицах выражают количества растворенного вещества, раствора и растворителя, различают следующие виды концентраций:

1. Массовая доля (процентная концентрация).

Это число единиц массы (например, граммы) растворенного вещества, содержащихся в 100 единицах массы (например, в 100 граммах) раствора.

$$C = \frac{m_{в-ва}}{m_{р-ра}} - \text{массовая доля};$$

$$C = \frac{m_{\text{в-ва}}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100 \% \text{ - процентная концентрация} \quad (1)$$

Поскольку масса раствора равна сумме масс растворителя и растворенного вещества, то

$$C = \frac{m_{\text{в-ва}}}{m_{\text{в-ва}} + m_{\text{р-ля}}};$$

$$C = \frac{m_{\text{в-ва}}}{m_{\text{в-ва}} + m_{\text{р-ля}}} \cdot 100 \% \quad (2)$$

Например, 10%-ный раствор сахара в воде – это раствор, в 100г которого содержится 10г сахара и 90г воды.

2. Мольная доля

Это отношение числа молей данного вещества к общему числу молей всех веществ, имеющих в растворе.

Если v_1 – число молей растворителя, а v_2 – число молей растворенного вещества, то мольная доля растворителя равна:

$$N_1 = \frac{v_1}{v_1 + v_2}, \quad (3)$$

а мольная доля растворенного вещества

$$N_2 = \frac{v_2}{v_1 + v_2} \quad (4)$$

Поскольку $v = \frac{m}{M}$, где m – масса вещества, г; M – его молярная масса, г/моль, то

$$N_{\text{р-ля}} = \frac{m_{\text{р-ля}}/M_{\text{р-ля}}}{\frac{m_{\text{р-ля}}}{M_{\text{р-ля}}} + \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}}}} \quad (5)$$

$$N_{\text{в-ва}} = \frac{m_{\text{в-ва}}/M_{\text{в-ва}}}{\frac{m_{\text{р-ля}}}{M_{\text{р-ля}}} + \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}}}} \quad (6)$$

При этом всегда $N_1 + N_2 = 1$.

Задача 1

В радиатор автомобиля залили 6кг воды и 5,6кг этиленгликоля (CH_2OH)₂. Определить мольные доли воды и этиленгликоля в растворе.

Решение

Растворителем является вода. По формуле (5):

$$N_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}/M_{\text{H}_2\text{O}}}{\frac{m_{\text{ЭТИЛ.}}}{M_{\text{ЭТИЛ.}}} + \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}}} = \frac{6000/18}{\frac{5600}{62} + \frac{6000}{18}} = \frac{333,3}{90,3+333,3} = 0,787$$

Растворяемым веществом является этиленгликоль. По формуле (6):

$$N_{\text{ЭТИЛ.}} = \frac{m_{\text{ЭТИЛ.}}/M_{\text{ЭТИЛ.}}}{\frac{m_{\text{ЭТИЛ.}}}{M_{\text{ЭТИЛ.}}} + \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}}} = \frac{5600/62}{\frac{5600}{62} + \frac{6000}{18}} = \frac{90,3}{90,3+333,3} = 0,213$$

или $N_{\text{этил.}} = 1 - N_{\text{H}_2\text{O}} = 1,000 - 0,787 = 0,213$

3. Молярная концентрация (молярность)

Это число молей растворенного вещества в 1л раствора.

Если, например, молярность раствора H_2SO_4 равна 1М, то это означает, что в 1л раствора содержится один моль серной кислоты, т.е. 98г H_2SO_4 .

Молярность раствора H_2SO_4 , равная 0,5М (0,5М H_2SO_4), означает, что в 1л раствора содержится 0,5 моль серной кислоты, т.е. 49г H_2SO_4 .

По определению молярности

$$C_M = \frac{V_{\text{в-ва}}}{V_{\text{р-ра}}} = \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}} \cdot V_{\text{р-ра}}}, \text{ моль/л} \quad (7)$$

где: $V_{\text{в-ва}}$ - количество растворенного вещества, моль; $m_{\text{в-ва}}$ - масса растворенного вещества, г; $M_{\text{в-ва}}$ - молярная масса растворенного вещества, г/моль; $V_{\text{р-ра}}$ - объем раствора, л.

Задача 2

Определить молярную концентрацию раствора, в 100мл которого содержится 315мг азотной кислоты.

Решение

$$C_M = \frac{m_{\text{HNO}_3}}{M_{\text{HNO}_3} \cdot V_{\text{р-ра}}} = \frac{0,315}{63 \cdot 0,1} = 0,05 \text{ моль/л}$$

4. Моляльная концентрация (моляльность)

Это число молей растворенного вещества в 1кг растворителя.

Если, например, моляльность водного раствора H_2SO_4 равна 2м, то это означает, что в 1кг воды растворено два моля серной кислоты, т.е. 196г H_2SO_4 .

По определению моляльности

$$C_m = \frac{V_{\text{в-ва}}}{m_{\text{р-ля}} (\text{кг})} = \frac{m_{\text{в-ва}}}{M_{\text{в-ва}} \cdot m_{\text{р-ля}} (\text{кг})}, \text{ моль/кг H}_2\text{O} \quad (8)$$

где $m_{\text{р-ля}}$ —масса растворителя, кг; $m_{\text{в-ва}}$ —масса растворенного вещества, г.

Задача 3

В 0,6л воды растворили 0,5л этиленгликоля $(\text{CH}_2\text{OH})_2$. Определить моляльную концентрацию раствора, приняв плотность этиленгликоля $\rho_{\text{в-ва}} - 1,12\text{кг/л}$.

Определим массы растворителя (воды) и растворенного вещества (этиленгликоля):

$$m_{\text{р-ля}} = V_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} = 0,6 \cdot 1 = 0,6\text{кг}$$

$$m_{\text{в-ва}} = V_{\text{в-ва}} \cdot \rho_{\text{в-ва}} = 0,5 \cdot 1,12 = 0,56\text{кг} = 560\text{г}$$

По формуле (8):

$$C_m = \frac{560}{62 \cdot 0,6} = 9 \text{ моль/кг } H_2O$$

5. Эквивалентная концентрация (нормальность)

Это число эквивалентов растворенного вещества, содержащегося в 1л раствора.

Если, например, нормальность раствора H_2SO_4 равна 1н, то это означает, что в 1л раствора содержится один эквивалент H_2SO_4 (т.е. 49г H_2SO_4).

По определению нормальности:

$$C_H = \frac{n_{в-ва}}{V_{р-ра}} = \frac{m_{в-ва}}{m_{э(в-ва)} \cdot V_{р-ра}}, \text{ экв./л,} \quad (9)$$

где $V_{р-ра}$ – объем раствора в литрах;

$n_{в-ва}$ – число эквивалентов растворенного вещества;

$m_{э(в-ва)}$ – эквивалентная масса вещества.

Задача 4

В 600мл воды растворено 5г хлорида кальция. Определить нормальность раствора.

Решение

По формуле (9):

$$C_H = \frac{m_{CaCl_2}}{m_{эCaCl_2} \cdot V_{р-ра}} = \frac{5}{55,5 \cdot 0,6} = 0,15 \text{ экв./л}$$

В аналитической химии часто используют еще один вид концентрации – титр.

6. Титр

Это количество граммов растворенного вещества в одном миллилитре раствора, т.е.:

$$T = \frac{m_{в-ва}}{V_{р-ра}}, \text{ г/мл,} \quad (10)$$

где $V_{р-ра}$ - объем раствора в миллилитрах

Задача 5

Определить массу NaCl, необходимую для приготовления 100мл раствора с титром 0,1г/мл.

Решение

Из формулы (10):

$$m_{в-ва} = T \cdot V_{р-ра} = 0,1 \cdot 100 = 10\text{г}$$

Для пересчета одного вида концентрации в другой можно использовать формулы:

$$C_H = C_M \cdot B \quad (1)$$

Если растворена сильная кислота, то V – основность кислоты, если растворено сильное основание, то V – кислотность основания. Если растворена соль, то V – произведение валентности катиона соли на число катионов в молекуле либо произведение валентности аниона на число анионов в молекуле соли. Поэтому для солей удобно пользоваться следующей таблицей.

Тип соли	$NaCl$	Na_2CO_3 $CaCl_2$	$CaSO_4$	$AlCl_3$ Na_3PO_4	$Al_2(SO_4)_3$
Величина C_H	C_M	$2 C_M$	$2 C_M$	$3 C_M$	$6 C_M$

$$C_M = C \frac{1000 \rho}{M_{B-ва}}, \quad (2)$$

где C – массовая доля растворенного вещества;

M – молярная масса растворенного вещества, г/моль;

ρ – плотность раствора, г/мл

$$C_H = C \frac{1000 \rho}{m_{Э(B-ва)}}, \quad (3)$$

где $m_{Э(B-ва)}$ – эквивалентная масса растворенного вещества, г/экв.

Если растворенным веществом является кристаллогидрат (например, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ и др.), то для приготовления раствора с процентной концентрацией C требуемую массу кристаллогидрата рассчитывают по формуле:

$$m = C \frac{V_{p-ра} \cdot \rho \cdot M_{кр}}{100 \cdot M_{B-ва}}, \quad (4)$$

где $M_{кр}$ – молярная масса кристаллогидрата, г/моль;

$M_{B-ва}$ – молярная масса безводного вещества, г/моль.

$$V_{p-ра} \cdot \rho = m_{p-ра} \quad (5)$$

где ρ – плотность заданного раствора, г/мл;

$V_{p-ра}$ – объем раствора, мл.

Задача 6

36,5г HCl растворили в 100г воды. Определить все виды концентраций.

Решение

$$C = \frac{m_{HCl}}{m_{HCl} + m_{H_2O}} = \frac{36,5}{136,5} = 0,267 \quad (26,7\%)$$

$$C_m = \frac{m_{HCl}}{M_{HCl} \cdot m_{H_2O(\text{кг})}} = \frac{36,5}{36,5 \cdot 0,1} = 10 \text{ моль/кг } H_2O$$

$$C_M = C \frac{1000 \rho}{M_{HCl}} = 0,267 \frac{1000 \cdot 1,135}{36,5} = 8,3 \text{ моль/л}$$

где $\rho = 1,135 \text{ г/мл}$ (справочные данные)

$$C_H = C_M \cdot B = 8,3 \text{ экв/л}$$

$$N_1 = \frac{\frac{100}{18}}{\frac{100}{18} + 1} \approx \frac{5,5}{6,5} \approx 0,85$$

$$N_2 = 1 - N_1 = 0,15$$