



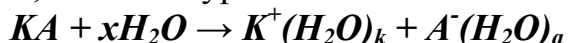
РАСТВОРЫ. СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАСТВОРОВ.

Раствор есть однородная (гомогенная) жидкая система непрочных соединений растворителя с растворенным веществом.
Д.И. Менделеев

Жидкие растворы играли и играют важнейшую роль как в возникновении и развитии живой природы, так и в различных технологических процессах, изобретенных человеком.

Прежде всего отметим, что **растворами** являются гомогенные термодинамически устойчивые системы, состоящие из двух и более компонентов. Если система - раствор двухкомпонентен, то одним из компонентов будет растворитель, другим **растворенное вещество**. Причем **растворителем** будет являться тот компонент, агрегатное состояние которого не меняется при образовании раствора. Наиболее распространенные растворители – это H_2O , бензол, спирты, ацетон и пр.

Образование растворов представляет собой сложное физико-химическое явление, при котором наблюдается взаимодействие между молекулами растворенного вещества и воды (как растворителя). Согласно химической теории растворения, разработанной М.В. Ломоносовым и Д.И.Менделеевым, ионы растворенной в воде соли гидратированы, т.е. окружены гидратной оболочкой, согласно уравнению:



где **KA** – условное обозначение средней соли,

K^+ A^- - катион и анион соответственно,

k, a – координационные числа полной гидратации, показывающие число молекул воды координированных вокруг катиона и аниона.

Важной характеристикой раствора является его концентрация. Существует несколько способов выражения концентрации растворенного вещества.

Массовая доля растворенного вещества В

Массовая доля (символ **ω** , безразмерная величина) – равна отношению массы данного компонента в растворе к общей массе этого раствора. Выражают как в долях единицы, так и в процентах и рассчитывают по формулам:

$$\omega = \frac{m_{\text{в-ва}}}{m_{\text{р-ра}}} = \frac{m_{\text{в-ва}}}{V \cdot \rho} \quad (1)$$

$$\omega\% = \frac{m_{\text{в-ва}}}{m_{\text{р-ра}}} \cdot 100\% = \frac{m_{\text{в-ва}}}{V \cdot \rho} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где $\omega\%$ - массовая доля вещества в растворе выражена в %,
 $m_{\text{в-ва}}$ - масса вещества (единица – кг или г),
 $m_{\text{р-ра}}$ - масса раствора (кг или г),
 V - объем раствора (л или мл),
 ρ - плотность раствора (кг/л или г/мл).

Молярная концентрация вещества В

Моль – это такое **количество вещества**, которое содержит столько формульных единиц (ФЕ), сколько атомов содержится в 12 г изотопа углерода ^{12}C . Символ количества вещества **n** ; количество вещества В записывается как $n(\text{X})$, например, $n(\text{KMnO}_4) = 0,1$ моль. Это понятие относится к любым реальным частицам (моль атомов, моль молекул, моль электронов и т.д.) и к любым условным частицам, участвующим в химических реакциях.

Молярная масса вещества В обозначается символом $M(\text{B})$ – это масса одного моля вещества. Молярную массу находят как отношение массы вещества **m** к количеству вещества **n** в молях:

$$M(\text{B}) = \frac{m}{n(\text{B})} \quad (3)$$

Единицей молярной массы в СИ является кг/кмоль, на практике чаще используют г/моль, например, $M(\text{Fe}) = 55.847$ г/моль, $M(\text{Cl}_2) = 70.91$ г/моль, $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98$ г/моль.

Молярная концентрация $C_{\text{В}}$ – это отношение количества вещества В в молях – $n(\text{B})$ к объему $V_{\text{раствора}}$ в литрах, т.е. количество вещества в молях, находящееся в 1 литре раствора:

$$C_{\text{В}} = \frac{n(\text{X})}{V} = \frac{m}{M(\text{X}) \cdot V} \quad (4)$$

Например, $C(\text{HBr}) = 0,1$ моль/л, $C(\text{H}^+) = 0.25 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

Если объем измеряется в миллилитрах, то

$$C_{\text{В}} = \frac{m \cdot 1000}{M(\text{X}) \cdot V} \quad (5)$$

где $C_{\text{В}}$ – молярная концентрация вещества (моль/л),

m – масса вещества (г),

$M(\text{B})$ – молярная масса вещества В (г/моль),

V – объем раствора (мл).

Молярная концентрация эквивалента

Эквивалент – это реальная или условная частица, которая может присоединять или высвобождать один ион водорода в кислотно-основных реакциях или один электрон в окислительно-восстановительных реакциях. Единицей количества вещества эквивалента является моль – **$n_{\text{экв}}(\text{B})$** .

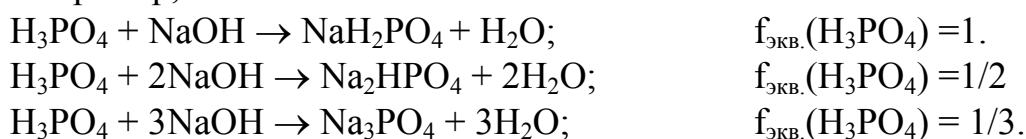
Фактор эквивалентности $f_{\text{экв.}}(B)$ – число, показывающее, какая доля реальной частицы вещества В эквивалентна одному иону H^+ в данной кислотно-основной реакции или одному электрону в окислительно-восстановительной реакции. Фактор эквивалентности – безразмерная величина, $f_{\text{экв.}} \leq 1$. Его рассчитывают из формулы кислоты, основания, соли, кристаллогидрата или по стехиометрии указанной реакции.

Для кислоты:

$$f_{\text{экв.}} = \frac{1}{\text{основность кислоты}} \quad (6)$$

Например, $f_{\text{экв.}}(HCl) = 1$, $f_{\text{экв.}}(H_2SO_4) = 1/2$, $f_{\text{экв.}}(H_3PO_4) = 1/3$. Но если многоосновная кислота в конкретной реакции проявляет себя как одноосновная кислота или двухосновная, то $f_{\text{экв.}}$ ее будет меняться.

Например,



Для основания:

$$f_{\text{экв.}} = \frac{1}{\text{кислотность основания}}. \quad (7)$$

Например, $f_{\text{экв.}}(NaOH) = 1$; $f_{\text{экв.}}(Al(OH)_3) = 1/3$.

Для соли:

$$f_{\text{экв.}} = \frac{1}{\text{число атомов металла} \times \text{валентность металла}}. \quad (8)$$

Например,

$$f_{\text{экв.}}(KBr) = 1$$

$$f_{\text{экв.}}(Al_2(SO_4)_3) = \frac{1}{2 \cdot 3} = \frac{1}{6}$$

$$f_{\text{экв.}}(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = \frac{1}{1 \cdot 2} = \frac{1}{2}$$

Молярная масса эквивалентов вещества $M_{\text{экв.}}(B)$ – это масса моля эквивалентов вещества В. Она равна произведению фактора эквивалентности на молярную массу вещества В:

$$M_{\text{экв.}}(B) = f_{\text{экв.}} \cdot M(B), \text{ г/моль} \quad (9)$$

Например: $M_{\text{экв.}}(H_2SO_4) = 98 \text{ г/моль} \times 1/2 = 49 \text{ г/моль}$.

Молярная концентрация эквивалента $C_{\text{экв.}}(B)$ или упрощенно $C_{\text{экв}}$ – это отношение количества вещества эквивалента $n_{\text{экв.}}(B)$ к объему раствора V в литрах, т.е. количество вещества эквивалента, находящееся в 1 литре раствора:

$$C_{\text{экв.}} = \frac{n_{\text{экв.}}(B)}{V} = \frac{m}{M_{\text{экв.}}(B) \cdot V} = \frac{m}{M(B) \cdot f_{\text{экв.}} \cdot V}, \frac{\text{моль}}{\text{л}}. \quad (10)$$

Если объем раствора измеряется в миллилитрах, то

$$C_{\text{экв}} = \frac{m \cdot 1000}{M_{\text{э}}(B) \cdot V} = \frac{m \cdot 1000}{M(B) \cdot f_{\text{экв.}} \cdot V} \quad (11)$$

Сравнивая формулы (5) и (11), получим: $C_B = C_{\text{экв}} \cdot f_{\text{экв.}}(B)$.

Другие способы выражения концентраций растворов

Титр раствора вещества B (символ T , единица г/мл) – это отношение массы вещества к объему раствора, т.е. это масса вещества в граммах, содержащаяся в 1 мл раствора:

$$T = \frac{m_{\text{вещества}}}{V_{\text{раствора}}} \quad (12)$$

Все виды концентраций пропорциональны друг другу, следовательно, можно от одного способа выражения концентрации перейти к другому. Так, например:

$$\begin{aligned} C_B &= \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{M(B)} = f_{\text{экв.}} \cdot C_{\text{экв.}} = \frac{T \cdot 1000}{M(B)}; \\ C_{\text{экв.}} &= \frac{\omega\% \cdot \rho \cdot 10}{f_{\text{экв.}} \cdot M(B)} = \frac{C_B}{f_{\text{экв.}}} = \frac{T \cdot 1000}{f_{\text{экв.}} \cdot M(B)}; \\ \omega\% &= \frac{C_B \cdot M(B)}{\rho \cdot 10} = \frac{f_{\text{экв.}} \cdot C_{\text{экв.}} \cdot M(B)}{\rho \cdot 10} \end{aligned}$$

Обучающие задачи

Задача 1. Навеску 5,63 г KBr растворили в 150 г воды, плотность полученного раствора $\rho = 1,14$ г/мл. Рассчитайте C_B , $C_{\text{экв.}}$, T , $\omega\%$ полученного раствора.

Решение:

$$f_{\text{экв.}}(KBr) = 1,$$

$$m_{\text{воды}} = 150 \text{ г}, m_{\text{р-ра}} = 150 + 5.63 = 155.63 \text{ г}.$$

$$V_{\text{р-ра}} = \frac{m}{\rho} = \frac{155.63}{1.14} = 136.52 \text{ мл}.$$

$$1) C(B) = \frac{m \cdot 1000}{V \cdot M(KBr)} = \frac{5.63 \cdot 1.14 \cdot 1000}{136.52 \cdot 120} = 0.3918 \text{ г / моль}$$

$$2) C_{\text{экв.}} = \frac{C(B)}{1} = 0.3918 \text{ моль / л}$$

$$3) T = \frac{C_{\text{экв.}} \cdot f_{\text{экв.}} \cdot M(KBr)}{1000} = \frac{0.3918 \cdot 120}{1000} = 0.0470 \text{ г / мл}$$

$$4) \omega\% = \frac{C_B \cdot M(KBr)}{10 \cdot \rho} = \frac{0.3918 \cdot 120}{10 \cdot 1.14} = 4.12\%$$

Задача 2. Определите навеску соли и массу воды, необходимые для приготовления 500 мл 0,85% раствора NaCl ($\rho = 1,005$ г/мл).

Решение.

1. Находим массу раствора:

$$m_{p-pa} = 1,005 \text{ г/мл} \cdot 500 \text{ мл} = 502,5 \text{ г.}$$

2. Определяем массу NaCl, необходимую для приготовления 502,5 г раствора:

$$m(\text{NaCl}) = \frac{m_{p-pa} \cdot C_{\%}}{100}$$
$$m(\text{NaCl}) = \frac{502,5 \cdot 0,85}{100} = 4,27 \text{ г}$$

Находим массу воды, необходимую для приготовления раствора:

$$m_{\text{воды}} = 502,5 - 4,27 = 498,23 \text{ г.}$$

Задача 3. Сколько миллилитров 36%-ного HCl с $\rho = 1,18$ г/мл нужно взять, чтобы приготовить 200 мл раствора с $C_{\text{экв}} = 0,1$ моль/л?

Решение.

1. Определяем массу чистой HCl в 200 мл раствора:

$$m(\text{HCl}) = \frac{C_{\text{экв}}(\text{HCl}) \cdot M(\text{HCl}) \cdot V}{1000}$$
$$m(\text{HCl}) = \frac{0,1 \cdot 36,5 \cdot 200}{1000} = 0,73 \text{ г}$$

$$M_{\text{экв}}(\text{HCl}) = M(\text{HCl}) \cdot f_{\text{экв.}}(\text{HCl}) = 36,5 \text{ г/моль.}$$

2. Рассчитаем массу 36 % раствора HCl, который содержит 0,73 г чистой HCl

$$\omega\% = \frac{m(\text{HCl})}{m(p-pa \text{ HCl})} \cdot 100\%,$$
$$m(p-pa \text{ HCl}) = \frac{m(\text{HCl}) \cdot 100\%}{\omega\%}$$
$$m(p-pa \text{ HCl}) = \frac{0,73 \cdot 100}{36} = 2,028 \text{ г.}$$

3. Определяем объем 36%-ного раствора HCl:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{2,028 \text{ г}}{1,18 \text{ г/мл}} = 1,72 \text{ мл.}$$

Отмеряем цилиндром 1,72 мл 36%-ного раствора HCl, помещаем в мерную колбу на 200 мл и доливаем до метки водой, закрываем колбу и тщательно перемешиваем раствор. Получаем раствор HCl с концентрацией $C_3 = 0,1$ моль/л.

Задача 4. Какой объем 35%-ного раствора H_2SO_4 ($\rho = 1,35$ г/мл) нужно взять, чтобы приготовить 250 мл раствора с $T = 0,005$ г/мл?

Решение:

1. Определяем массу безводной H_2SO_4 в 250 мл раствора:

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = T \cdot V = 0,005 \cdot 250 = 1,25 \text{ г}$$

2. Рассчитываем объем 35%-ного раствора, который содержит 1.25 г безводной H_2SO_4 :

Задача 5. В техническом КОН содержание основного вещества составляет 92%. Сколько граммов технического КОН надо взять для приготовления 250 мл раствора с

$$V = \frac{100\% \cdot m}{\rho \cdot 35\%}; \quad V = \frac{100 \cdot 1.25}{1,35 \cdot 35} = 2.65 \text{ мл}$$

концентрацией $C_{\text{экв}} = 0,1$ моль/л?

Решение:

1. Определяем молярную массу эквивалента КОН:

$$M_{\text{экв}}(KOH) = M(KOH) \cdot f_{\text{экв}}(KOH) = 56 \cdot 1 = 56 \text{ г / моль}$$

2. Определяем массу КОН в 250 мл раствора:

$$m(KOH) = \frac{C_{\text{э}}(KOH) \cdot M_{\text{э}}(KOH) \cdot V}{1000} = \frac{0,1 \cdot 56 \cdot 250}{1000} = 1,4 \text{ г.}$$

3. Определяют навеску КОН (технического):

$$\omega\% = \frac{m(\text{чистого КОН})}{m(\text{навески})} \cdot 100\%, \text{ отсюда}$$
$$m(\text{навески}) = \frac{m(KOH) \cdot 100}{\omega\%} = \frac{1,4 \cdot 100}{92} = 1,5217 \text{ г.}$$

Помещают навеску 1,5217 г КОН в мерную колбу на 250 мл, растворяют, доливают водой до метки и перемешивают раствор. Получают раствор КОН с приблизительной концентрацией $C_{\text{э}} = 0,1$ моль/л.

Домашнее задание №1 по теме

«Способы выражения концентраций растворов».

1. Рассчитайте навеску сульфата калия необходимую для приготовления 50 г 10% раствора. Рассчитайте $C_{\text{в}}$, $C_{\text{экв}}$ и T этого раствора ($\rho = 1.2$ г/мл).
2. Сколько граммов йода и миллилитров этанола ($\rho = 0,8$ г/мл) необходимо для приготовления 50 г 5% спиртового раствора йода?
3. Вычислить молярную концентрацию раствора серной кислоты, если ее $T = 0,00568$ г/мл
4. Рассчитайте, сколько граммов серной кислоты содержится в 50 мл раствора $C_{\text{э}} = 0,025$ моль/л.