

СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ

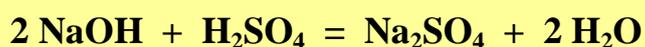
1. Виды концентраций, используемые в аналитической химии

Основной единицей измерения **количества вещества** является **моль**.

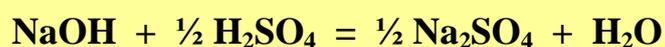
Эквивалентом называется такая часть атома, иона или молекулы, которая химически равноценна (эквивалентна):

- одному **иону водорода** в данной **кислотно-основной** реакции
- одному **электрону** в данной **окислительно-восстановительной** реакции.

Единицей количества эквивалента вещества является **моль-экв.** Вещества реагируют между собой в эквивалентных количествах.



или



Данную реакцию можно прочесть: «на 1 моль щелочи приходится $\frac{1}{2}$ моль кислоты»

Эквивалент серной кислоты будет равен $\frac{1}{2} \text{H}_2\text{SO}_4$, где $\frac{1}{2}$ – фактор эквивалентности

Фактор эквивалентности (f) – это число, показывающее, какая часть моля вещества равноценна:

- одному **иону водорода** в данной **кислотно-основной** реакции

$$f_{\text{к/о}} = \frac{1}{[H^+]} \quad (1)$$

где $[H^+]$ - число ионов водорода, отдаваемое или присоединяемое одной молекулой или одним ионом в данной *реакции*.

- одному **электрону** в данной **окислительно-восстановительной** реакции.

$$f_{\text{овр}} = \frac{1}{z} \quad (2)$$

где z – число электронов, отдаваемое или присоединяемое одной молекулой или одним ионом в данной *полуреакции*.

Молярная масса вещества (M) – масса одного моль вещества .

Молярная масса эквивалента вещества ($M_{\text{э}}$) – масса одного моль эквивалента вещества.

$$M = \frac{m}{n} \text{ (г/моль)} ; \quad M_{\text{э}} = M \cdot f \text{ (г экв/моль)}$$

Внимание! Фактор эквивалентности не может больше 1. Для нахождения фактора эквивалентности вещества необходимо не только *определить реакцию*, в которой данное вещество участвует, но и *знать какие продукты образуются* в данной реакции (полуреакции).

Пример 1. Рассчитать фактор эквивалентности и молярную массу эквивалента реагирующих веществ

К/О



$$f_{\text{HCl}} = \frac{1}{[H^+]} = \frac{1}{1} = 1; \quad M_{\text{эHCl}} = 36,5 \text{ гЭКВ/моль};$$

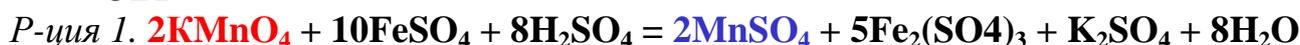
$$f_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{1}{[H^+]} = \frac{1}{1} = 1; \quad M_{\text{эNa}_2\text{CO}_3} = 106 \text{ гЭКВ/моль}$$



$$f_{\text{HCl}} = \frac{1}{[H^+]} = \frac{1}{1} = 1; \quad M_{\text{эHCl}} = 36,5 \text{ гЭКВ/моль};$$

$$f_{\text{Na}_2\text{CO}_3} = \frac{1}{[H^+]} = \frac{1}{2}; \quad M_{\text{эNa}_2\text{CO}_3} = 53 \text{ гЭКВ/моль}$$

ОВР



$$f_{\text{KMnO}_4} = \frac{1}{z} = \frac{1}{5}; \quad M_{\text{эKMnO}_4} = 31,6 \text{ гЭКВ/моль}$$



$$f_{\text{Fe}^{2+}} = \frac{1}{z} = \frac{1}{1} = 1; \quad M_{\text{эMnO}_4^-} = 56 \text{ гЭКВ/моль}$$



$$f_{\text{KMnO}_4} = \frac{1}{z} = \frac{1}{3}; \quad M_{\text{эKMnO}_4} = 52,7 \text{ гЭКВ/моль}$$



$$f_{\text{K}_2\text{SO}_3} = \frac{1}{z} = \frac{1}{2}; \quad M_{\text{эK}_2\text{SO}_3} = 79 \text{ гЭКВ/моль}$$



$$f_{\text{J}_2} = \frac{1}{2}; \quad \text{но } f_{\text{J}^-} = \frac{1}{1} = 1 \text{ тк два иодид иона отдают два электрона}$$

Концентрация раствора (C) – это отношение количества растворенного вещества к объему раствора, показывает количество вещества в единице объема раствора.

В системе **СИ** основной единицей выражения концентрации растворов является **молярная концентрации** (моль/м³), на практике - моль/дм³, допускается моль/л или М.

Молярная концентрация, C_М (моль/л, М) – это количество моль вещества, содержащегося в 1 л раствора:

$$C_M = \frac{n}{V} = \frac{m \cdot 1000}{M \cdot V} \quad (3)$$

Молярная концентрация эквивалента, C_Н (моль-эвк/л, Н) – это количество моль эквивалентов вещества, содержащегося в 1 л раствора:

$$C_H = \frac{n_{\text{ЭКВ}}}{V} = \frac{m \cdot 1000}{M_{\text{ЭКВ}} \cdot V} = \frac{m \cdot 1000}{M \cdot f \cdot V} \quad (4)$$

m – масса вещества, г

M – молярная масса вещества, г/моль

V – объем раствора, мл

f – фактор эквивалентности

Взаимосвязь между концентрациями

$$C_M = C_H \cdot f \quad (5)$$

Таким образом, зная массу навески вещества и объем, в котором растворили эту навеску можно рассчитать концентрацию полученного раствора. И, наоборот, можно рассчитать массу навески вещества, которую необходимо взять для приготовления известного раствора с заданной концентрацией

Пример 2. Рассчитать молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалента при растворении 2,5000 г Na₂CO₃ в 500 мл дистиллированной воды.

Решение: Для расчета используем формулы (3) и (5)

$$C_M = \frac{m \cdot 1000}{M \cdot V} = \frac{2,5 \cdot 1000}{106 \cdot 500} = 0,0472 \text{ моль/л}$$

$$C_H = \frac{C_M}{f} = \frac{0,0472}{1/2} = 0,0944 \text{ моль – эвк/л}$$

Пример 3. Рассчитать навеску $H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$, необходимую для приготовления 200 см^3 0,1 Н раствора.

Решение: Для расчета используем формулу (4). Взвешиваемое вещество является кристаллогидратом, поэтому при расчете молярной массы вещества учитываем молярную массу воды.

$$m = \frac{C_H \cdot M \cdot f \cdot V}{1000} = \frac{0,1 \cdot 126 \cdot \frac{1}{2} \cdot 200}{1000} = 1,2600 \text{ г}$$

Массовая концентрация, C_m —отношение массы растворенного вещества к объему раствора.

Численное значение этой концентрации выражается в *г/л, мг/мл, ppm* и тд. В титриметрическом анализе применяют **титр раствора, T** (*г/мл*).

$$T_A = \frac{m_A}{V} \quad (6)$$

Зная титр раствора, можно вычислить молярную концентрацию и молярную концентрацию эквивалента раствора вещества (A) и наоборот:

$$C_{M(A)} = \frac{T_A \cdot 1000}{M_A} \quad (7)$$

$$C_{H(A)} = \frac{T_A \cdot 1000}{M_{\text{ЭКВ}(A)}} \quad (8)$$

Массовая доля вещества, ω_A – это отношение массы вещества к общей массе раствора, навески или смеси веществ. В количественном анализе массовую долю измеряют в процентах:

$$\omega_A = \frac{m_A}{m_{\text{общ}}} \cdot 100 \% \quad (12)$$

В справочных таблицах [Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии] для растворов кислот, оснований и некоторых солей приведены значения плотностей этих растворов ρ (г/см^3) и соответствующие массовые доли ω (%) веществ. Используя эти величины, можно рассчитать C_m , C_H и T вещества в растворе выполнив определенные преобразования, учитывая, что

$$m_{\text{раствора}} = \rho \cdot V$$
, где объем раствора указан в мл.

$$\omega_A = \frac{T}{\rho} \cdot 100 \quad (13)$$

$$\omega_A = \frac{C_M \cdot M}{\rho \cdot 10} \quad (14)$$

$$\omega_A = \frac{C_H \cdot M \cdot f}{\rho \cdot 10} \quad (15)$$

Пример 4. Сколько грамм, молей, молей эквивалентов соляной кислоты содержится в 10 мл раствора с концентрацией равной 10,56%? Рассчитать титр соляной кислоты и молярную концентрацию эквивалента раствора HCl .

Решение: Для расчета используем формулы (12), (15) и (8).

Из таблицы плотностей и концентрация для HCl [Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии] данной концентрации соответствует $\rho = 1,050 \text{ г/см}^3$.

Учитывая, что $m_{\text{раствора}} = \rho \cdot V$ из выражения (12) находим

$$m_{HCl} = \frac{\omega \cdot \rho \cdot V}{100} = \frac{10,56 \cdot 1,050 \cdot 10}{100} = 1,1088 \text{ г.}$$

$$n_{HCl} = \frac{m_{HCl}}{M_{HCl}} = \frac{1,1088}{36,5} = 0,03038 \text{ моль, учитывая, что } f_{HCl} = 1$$

$$\text{то } n_{\text{экв}HCl} = \frac{m_{HCl}}{M_{HCl} \cdot f} = \frac{1,1088}{36,5 \cdot 1} = 0,03038 \text{ моль экв}$$

$$\text{Из (15) } C_{H(HCl)} = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M \cdot f} = \frac{10,56 \cdot 1,050 \cdot 10}{36,5 \cdot 1} = 3,038 \text{ мольэкв/л}$$

Из (8), с учетом $f_{(HCl)} = 1$ получаем

$$T_{HCl} = \frac{C_{H(HCl)} \cdot M_{\text{экв}(HCl)}}{1000} = \frac{3,038 \cdot 36,5 \cdot 1}{1000} = 0,1109 \text{ г/мл}$$

2. Разбавление и смешивание растворов одного и того же вещества

При приготовлении разбавленных растворов из более концентрированных используют в расчетах **математическое выражение ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ количества вещества**, т.к. количество вещества, выраженное в *моль-эквивалентах, молях*, а также в *граммах*, до разбавления и после разбавления **остается постоянным**, **изменяются только концентрация и объем** раствора.

Вычисляют объем концентрированного раствора ($V_{\text{конц}}$), необходимый для приготовления заданного объема ($V_{\text{разб}}$) и концентрации ($C_{\text{Hразб}}$) разбавленного раствора.

$$n_{\text{конц}} = n_{\text{разб}} \quad \text{или} \quad (C_{\text{H}} \cdot V)_{\text{конц}} = (C_{\text{H}} \cdot V)_{\text{разб}} \quad (16)$$

$C_{\text{H(конц)}}$, $C_{\text{H(разб)}}$, $V_{\text{(конц)}}$, $V_{\text{(разб)}}$ – молярные концентрации эквивалентов и объемы концентрированного и разбавленного растворов

При смешивании растворов одного и того же вещества **математическое выражение ЗАКОНА СОХРАНЕНИЯ количества вещества будет** иметь вид:

$$n_1 + n_2 = n_3 \quad \text{или} \quad (C_{\text{H}} \cdot V)_1 + (C_{\text{H}} \cdot V)_2 = (C_{\text{H}} \cdot V)_3 \quad (17)$$

Пример 5. Сколько мл 10,06 % раствора HClO_4 необходимо взять для приготовления 250 мл 0,25 Н раствора?

Решение: Для расчета используем формулу (15), но сначала нужно рассчитать, используя формулу (16) молярную концентрацию эквивалента раствора HClO_4 с массовой долей 10,06 %.

Из таблицы плотностей и концентрация для HClO_4 [Лурье Ю.Ю. *Справочник по аналитической химии*] данной концентрации соответствует $\rho = 1,060 \text{ г/см}^3$.

$$\text{Из (15)} \quad C_{\text{H(HClO}_4)} = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M \cdot f} = \frac{10,06 \cdot 1,060 \cdot 10}{100,5 \cdot 1} = 1,061 \text{ мольэкв/л}$$

$$\text{Из (16)} \quad V_{\text{конц(HClO}_4)} = \frac{(C_{\text{H}} \cdot V)_{\text{разб}}}{(C_{\text{H}})_{\text{конц}}} = \frac{0,25 \cdot 250}{1,061} = 58,9 \text{ мл}$$

Пример 6. Сколько мл раствора NaOH с плотностью $\rho = 1,110 \text{ г/см}^3$ необходимо добавить к 100 мл 0,1 Н раствора, чтобы получить 0,50 Н раствор.

Решение: В данном случае происходит сливание двух растворов одного и того же вещества. Для расчета используем формулу (17), но сначала нужно

рассчитать, используя формулу (15) молярную концентрацию эквивалента раствора $NaOH$ с плотностью $1,110 \text{ г/см}^3$

Из таблицы плотностей и концентрация для $NaOH$ [Лурье Ю.Ю. Справочник по аналитической химии] данной плотности соответствует массовая доля $10,10 \%$.

$$\text{Из (15)} \quad c_{H(NaOH)} = \frac{\omega \cdot \rho \cdot 10}{M \cdot f} = \frac{10,10 \cdot 1,110 \cdot 10}{40 \cdot 1} = 2,8 \text{ мольэкв/л}$$

Из (17) с учетом, что $V_1 + V_2 = V_3$ решаем уравнение

$$2,8 \cdot V_1 + 0,1 \cdot 100 = 0,50(V_1 + 100) \quad \text{получаем } V_1 = 17,4 \text{ мл}$$

Таблица Формулы пересчета концентрации растворов

| Определяемая концентрация | Исходная концентрация | | | |
|--|--|-------------------------------------|---|----------------------------------|
| | $\omega, \%$ | c_M | c_H | T |
| Массовая доля $\omega, \%$ | $\frac{m_{\text{вещества}}}{m_{\text{раствора}}} \cdot 100$ | $\frac{c_M \cdot M}{10 \cdot \rho}$ | $\frac{c_H \cdot M \cdot f}{10 \cdot \rho}$ | $\frac{T \cdot 100}{\rho}$ |
| Молярная c_M , моль/л | $\frac{\omega \cdot 10 \cdot \rho}{M}$ | моль/л | $c_H \cdot f$ | $\frac{T \cdot 1000}{M}$ |
| Молярная концентрация эквивалента c_H , моль экв/л | $\frac{\omega \cdot 10 \cdot \rho}{M \cdot f}$ | $\frac{c_M}{f}$ | моль экв/л | $\frac{T \cdot 1000}{M \cdot f}$ |
| Титр T , г/мл | $\frac{\omega \cdot \rho}{100}$ | $\frac{c_M \cdot M}{1000}$ | $\frac{c_H \cdot M \cdot f}{1000}$ | г/мл |
| Примечание | ρ – плотность раствора, г/см^3 ; f – фактор эквивалентности вещества; M – молярная масса вещества, г/моль ; m – масса вещества, г | | | |

Таблица Расчет фактора эквивалентности

| Частица | Фактор эквивалентности | Примеры |
|------------------|--|--|
| Элемент | $f_{\text{Э}}(B) = 1/B(\text{Э})$ где $B(\text{Э})$ – валентность элемента | Фактор эквивалентности хрома в оксиде хрома Cr_2O_3 (III): $f_{\text{Э}}(\text{Cr}) = 1/3$ |
| Простое вещество | $f_{\text{Э}}(B) = 1/n(\text{Э}) \cdot B(\text{Э})$ где $n(\text{Э})$ – число атомов элемента (индекс в химической формуле), $B(\text{Э})$ – валентность элемента | $f_{\text{Э}}(\text{H}_2) = 1/(2 \times 1) = 1/2$ $f_{\text{Э}}(\text{O}_2) = 1/(2 \times 2) = 1/4$ $f_{\text{Э}}(\text{Cl}_2) = 1/(2 \times 1) = 1/2$ $f_{\text{Э}}(\text{O}_3) = 1/(3 \times 2) = 1/6$ |
| Оксид | $f_{\text{Э}}(B) = 1/n(\text{Э}) \cdot B(\text{Э})$ где $n(\text{Э})$ – число атомов элемента (индекс в химической формуле оксида), $B(\text{Э})$ – валентность элемента | $f_{\text{Э}}(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 1/(3 \times 2) = 1/6$ $f_{\text{Э}}(\text{CrO}) = 1/(1 \times 2) = 1/2$ $f_{\text{Э}}(\text{H}_2\text{O}) = 1/(1 \times 2) = 1/2$ $f_{\text{Э}}(\text{P}_2\text{O}_5) = 1/(5 \times 2) = 1/10$ |
| Соль | $f_{\text{Э}}(B) = 1/n(\text{Me}) \cdot B(\text{Me}) = 1/n(\text{A}) \cdot B(\text{A})$ где $n(\text{Me})$ – число атомов металла (индекс в химической формуле соли), $B(\text{Me})$ – валентность металла; $n(\text{A})$ – число кислотных остатков, $B(\text{A})$ – валентность кислотного остатка | $f_{\text{Э}}(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3) = 1/(2 \times 3) = 1/6$ (расчет по металлу) или $f_{\text{Э}}(\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3) = 1/(3 \times 2) = 1/6$ (расчет по кислотному остатку) |
| Частица в ОВР | $f_{\text{Э}}(B) = 1/z$ где z – число электронов, участвующих в процессе окисления или восстановления | $\text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Fe}^0$ $f_{\text{Э}}(\text{Fe}^{2+}) = 1/2;$ |
| Ион | $f_{\text{Э}}(B) = 1/z$ где z – заряд иона | $f_{\text{Э}}(\text{SO}_4^{2-}) = 1/2$ |