

### Понятие о химическом эквиваленте и факторе эквивалентности

В химии широко используют понятие эквивалента и фактора эквивалентности.

**Эквивалентом** называют реальную или условную частицу вещества X, которая в данной кислотно-основной реакции эквивалентна одному иону водорода или в данной окислительно-восстановительной реакции - одному электрону.

Например в реакции:



которую можно переписать в виде:



условная частица B, равноценна одной частице A, является эквивалентом вещества B данной реакции.

Множитель  $1/z$  называют фактором эквивалентности вещества B и обозначают  $f_{\text{эКВ}}(B)$ .

**Фактор эквивалентности  $f_{\text{эКВ}}(X)$**  – число, обозначающее какая доля реальной частицы вещества X эквивалентна одному иону водорода в данной кислотно-основной реакции или одному электрону в данной окислительно-восстановительной реакции.

$$f_{\text{эКВ}}(X) = 1/z$$

**Молярная масса эквивалента** (размерность г/моль) – равна массе вещества, эквивалентной 1 молю водорода или 1 молю электронов в химической реакции.

Молярная масса эквивалента равна молярной массе вещества умноженной на фактор эквивалентности:

$$M(1/z X) = M(X) \cdot f_{\text{эКВ}}(X) = M(X) / z$$

Существуют следующие формулы для определения молярных масс эквивалентов сложных веществ:

#### Кислоты:

$$M(1/z \text{ кислоты}) = \frac{M(\text{кислоты})}{\text{основность кислоты}}$$

$$\text{HCl} : f(\text{HCl}) = 1 \quad M(1/1 \text{ HCl}) = \frac{M(\text{HCl})}{1}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 : f(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1/2 \quad M(1/2 \text{ H}_2\text{SO}_4) = \frac{M(\text{H}_2\text{SO}_4)}{2}$$

$$\text{H}_3\text{PO}_4 : f(\text{H}_3\text{PO}_4) = 1/3 \quad M(1/3 \text{ H}_3\text{PO}_4) = \frac{M(\text{H}_3\text{PO}_4)}{3}$$

#### Основания:

$$M(1/z \text{ основания}) = \frac{M(\text{основания})}{\text{кислотность основания}}$$

$$\text{NaOH} : f(\text{NaOH}) = 1 \quad M(\text{NaOH}) = \frac{M(\text{NaOH})}{1}$$

$$\text{Ba(OH)}_2 : f(\text{Ba(OH)}_2) = \frac{1}{2} \quad M\left(\frac{1}{2}\text{Ba(OH)}_2\right) = \frac{M(\text{Ba(OH)}_2)}{2}$$

$$\text{Al(OH)}_3 : f(\text{Al(OH)}_3) = \frac{1}{3} \quad M\left(\frac{1}{3}\text{Al(OH)}_3\right) = \frac{M(\text{Al(OH)}_3)}{3}$$

### Соли:

$$M\left(\frac{1}{z}\text{соли}\right) = \frac{M(\text{соли})}{\text{число атомов Me} \cdot \text{степень окисления Me}}$$

$$\text{K}_2\text{SO}_4 : f(\text{K}_2\text{SO}_4) = \frac{1}{2} \quad M\left(\frac{1}{2}\text{K}_2\text{SO}_4\right) = \frac{M(\text{K}_2\text{SO}_4)}{2}$$

$$\text{CaCl}_2 : f(\text{CaCl}_2) = \frac{1}{2} \quad M\left(\frac{1}{2}\text{CaCl}_2\right) = \frac{M(\text{CaCl}_2)}{2}$$

$$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 : f(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = \frac{1}{6} \quad M\left(\frac{1}{6}\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3\right) = \frac{M(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3)}{6}$$

### Оксиды:

$$M\left(\frac{1}{z}\text{оксида}\right) = \frac{M(\text{оксида})}{\text{число атомов эл-та} \cdot \text{степень окисления эл-та}}$$

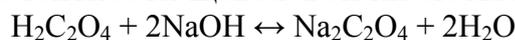
$$\text{Na}_2\text{O} : f(\text{Na}_2\text{O}) = \frac{1}{2} \quad M\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{O}\right) = \frac{M(\text{Na}_2\text{O})}{2}$$

$$\text{NiO} : f(\text{NiO}) = \frac{1}{2} \quad M\left(\frac{1}{2}\text{NiO}\right) = \frac{M(\text{NiO})}{2}$$

$$\text{N}_2\text{O}_5 : f(\text{N}_2\text{O}_5) = \frac{1}{10} \quad M\left(\frac{1}{10}\text{N}_2\text{O}_5\right) = \frac{M(\text{N}_2\text{O}_5)}{10}$$

### Пример 1:

Укажите фактор эквивалентности щавелевой кислоты в реакции:



Найдите молярную массу эквивалента щавелевой кислоты.

**Решение:**

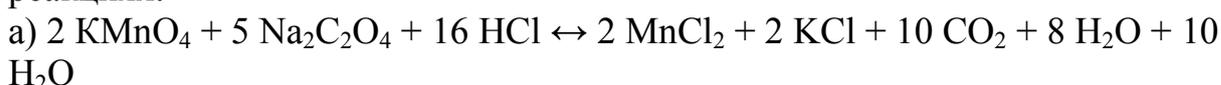
В данной реакции одна молекула  $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$  равноценна двум ионам водорода, следовательно:

$f_{\text{экв}}(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = 1/2$ , а молярная масса эквивалента кислоты:

$$M(1/2\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4) = \frac{M(\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4)}{2} = \frac{90}{2} = 45 \text{ (г/моль)}$$

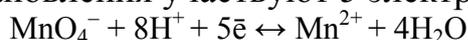
**Пример 2:**

Укажите факторы эквивалентности и молярные массы эквивалента  $\text{KMnO}_4$  в реакциях:



**Решение:**

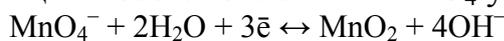
а) В полуреакции восстановления участвуют 5 электронов, следовательно:



$f_{\text{экв}}(\text{KMnO}_4) = 1/5$ , а следовательно

$$M(1/5\text{KMnO}_4) = \frac{M(\text{KMnO}_4)}{5} = \frac{158}{5} = 31,67 \text{ (г/моль)}$$

б) Поскольку в полуреакции восстановления  $\text{KMnO}_4$  участвуют 3 электрона:



$f_{\text{экв}}(\text{KMnO}_4) = 1/3$ , следовательно

$$M(1/3\text{KMnO}_4) = \frac{M(\text{KMnO}_4)}{3} = \frac{158}{3} = 52,67 \text{ (г/моль)}$$

**Способы выражения концентрации растворов**

**Концентрация раствора** – величина, измеряемая количеством растворенного вещества, содержащегося в определенной массе или объеме растворителя.

Ниже приведены наиболее часто употребляемые в химии способы выражения содержания растворенного вещества в растворе (таблица 3).

Таблица 3.

**СПОСОБЫ ВЫРАЖЕНИЯ СОСТАВА РАСТВОРА**

Способ выражения растворенного вещества в растворе	Определение	Формулы, используемые для расчетов	Единицы измерения
массовая доля $\omega(x)$	процентное отношение массы растворенного	$\omega(X) = \frac{m(X)}{m(p\text{-ра})} \cdot 100\%$	%

Способ выражения растворенного вещества в растворе	Определение	Формулы, используемые для расчетов	Единицы измерения
	вещества к общей массе раствора		
молярная доля $N$	отношение количества растворенного вещества (или растворителя) к сумме количеств всех веществ, находящихся в растворе	$N_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$ $N_i = \frac{n_i}{\sum_{i=1}^m n_i}$	—
молярная концентрация или молярность $C(X); C_M$	отношение количества растворенного вещества к объему раствора	$C(X) = \frac{n(X)}{V_{p-ра}} = \frac{m(X)}{M(X) \times V_{p-ра}}$ $C(X) = \frac{10 \times \omega(X) \times \rho}{M(X)}$	Моль/л
эквивалентная концентрация или нормальность $C(1/zX); C_N$	отношение числа эквивалентов растворенного вещества к объему раствора	$C(1/zX) = \frac{n(1/zX)}{V_{p-ра}} = \frac{m(X)}{M(1/zX) \cdot V_{p-ра}}$ $C_N(X) = \frac{z \times m(X)}{M(X) \times V_{p-ра}}$ $C_N(X) = \frac{10 \times \omega(X) \times \rho}{M(1/zX)}$ $C_N(X) = z \times C(X)$	Моль/л
моляльная концентрация $b(X)$	отношение количества растворенного вещества к массе растворителя	$b(X) = \frac{n(X)}{m_{p-ля}} = \frac{m(X)}{M(X) \times m_{p-ля}}$	Моль/кг

Условные обозначения:

$m(X)$  – масса растворенного вещества;

$M(X)$  – молярная масса растворенного вещества;

$V(p-ра)$  – объем раствора;

$m(p-ля)$  – масса растворителя;

$n_1$  и  $n_2$  – соответственно количество вещества растворителя и растворенного вещества;

$n(1/z)$  – количества эквивалентов растворенного вещества;

$n(X)$  – количество растворенного вещества.

### Задачи для самостоятельного решения

1. Плотность 15%-ного (по массе) раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1,105г/мл. Вычислить:  
а) нормальность; б) молярность; в) моляльность раствора.
2. Какой объем 2М раствора  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  надо взять для приготовления 1л 0,25н. раствора.
3. Для нейтрализации раствора, содержащего 2,25г кислоты, потребовалось 25мл 2н. раствора щелочи. Определить эквивалентную массу кислоты.
4. Плотность 40%-ного (по массе) раствора  $\text{HNO}_3$  равна 1,25г/мл. Рассчитать молярность и моляльность этого раствора.
5. Найти массовую долю азотной кислоты в растворе, в 1л которого содержится 224г  $\text{HNO}_3$  ( $\rho=1,12\text{г/мл}$ ).
6. Какой объем воды надо прибавить к 100мл 20%-ного (по массе) раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\rho=1,14\text{г/мл}$ ), чтобы получить 5%-ный раствор.
7. Найти молярность 36,2%-ного (по массе) раствора  $\text{HCl}$  плотность которого 1,18г/мл.
8. К 500мл 32%-ной (по массе)  $\text{HNO}_3$  ( $\rho=1,2\text{г/мл}$ ) прибавили 1 л воды. Чему равна массовая доля азотной кислоты в полученном растворе.
9. В каком объеме 1М раствора и в каком объеме 1н. раствора, содержится 114г  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ?
10. Какой объем 2н. раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$  потребуется для приготовления 500мл 0,5н. раствора.