

Лекция 2

Эквивалент

Химический эквивалент (Э) – реальная или условная частица вещества, которая может присоединять, замещать в кислотно-основных реакциях один ион водорода (или другого одновалентного металла), а в окислительно-восстановительных реакциях – присоединять или высвобождать один электрон.

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

Для простых веществ $f_{\text{э}}(X) = \frac{1}{V}$

где V – валентность элемента.

Пример.

Определите фактор эквивалентности для магния.

$$f_{\text{э}}(\text{Mg}) = \frac{1}{\text{В}} = \frac{1}{2}$$

Пример.

Определите фактор эквивалентности для серы в $\text{MgS}^{6+}\text{O}_4$.

$$f_{\text{э}}(\text{S}) = \frac{1}{\text{В}} = \frac{1}{6}$$

Молярная масса эквивалента вещества
($M_{\text{э}}(X)$) — масса одного моля эквивалента этого вещества, равная произведению фактора эквивалентности на молярную массу вещества X .

$$M_{\text{э}}(X) = f_{\text{э}}(X)M(X)$$

$$[\text{кг/моль, г/моль}]$$

Пример. Определите молярную массу эквивалента хрома в $\text{Cr}_2^{\text{3+}}\text{S}_3$.

$$f_{\text{э}}(\text{Cr}) = \frac{1}{\text{В}} = \frac{1}{3}$$

$$M_{\text{э}}(\text{Cr}) = \frac{1}{3} \cdot 52 = 17,3 \text{ Г/МОЛЬ}$$

Если одно из реагирующих веществ или продуктов реакции (участников реакции) - газ, то для него вводится понятие *эквивалентный объем вещества* ($V_{\text{э}}(X)$).

Рассчитывается на основании **закона Авогадро**:
1 моль газа массой $M(X)$ занимает объем 22,4 л
1 эквивалент газа массой $M_{\text{э}}(X)$ занимает объем $V_{\text{э}}(X)$

$$\text{Отсюда } V_{\text{э}}(X) = \frac{22,4 \cdot \left(\frac{M(X)}{M_{\text{э}}(X)} \right)}{M(X)} = V_m \cdot f(X) \text{ [л/моль]}$$

где $M_{\text{э}}(X)$ – молярная масса эквивалента вещества, $M(X)$ – молярная масса вещества.

Например, при нормальных условиях
 (P=760 мм.рт.ст., t = 0 °C) 1 моль эквивалентов
 водорода занимает объем, равный

$$V_{\text{э}}(X) = \frac{22,4 \cdot M_{\text{э}}(X)}{M(X)}$$

$$f_{\text{э}}(\text{H}_2) = \frac{1}{\text{Вн}} = \frac{1}{1 \times 2} = \frac{1}{2}$$

$$M_{\text{э}}(\text{H}_2) = f_{\text{э}}(\text{H}_2) \cdot M(\text{H}_2) = 0,5 \cdot 2 = 1 = 1 \text{ г/моль}$$

$$V_{\text{э}}(\text{H}_2) = \frac{22,4 \cdot 1}{2} = 11,2 \text{ л/моль}$$

$$V_{\text{э}}(\text{H}_2) = V_m \cdot f(\text{H}_2) = 22,4 \cdot 0,5 = 11,2 \text{ л/моль}$$

Например, при нормальных условиях 1 моль эквивалентов **кислорода** занимает объем, равный

$$V_{\text{э}}(X) = \frac{22,4 \cdot M_{\text{э}}(X)}{M(X)}$$

$$f_{\text{э}}(\text{O}_2) = \frac{1}{\text{Вн}} = \frac{1}{2 \times 2} = \frac{1}{4}$$

$$M_{\text{э}}(\text{O}_2) = \frac{M(\text{O}_2)}{f_{\text{э}}(\text{O}_2)} = \frac{1 \cdot 32}{\frac{1}{4}} = 8 \text{ г/моль}$$

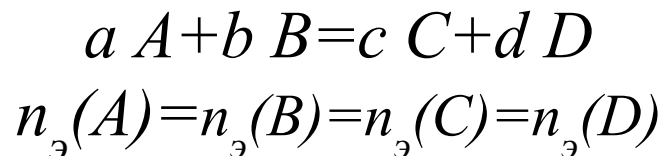
$$M(\text{O}_2) = 2 \cdot 16 = 32 \text{ г/моль}$$

$$V_{\text{э}}(\text{O}_2) = \frac{22,4 \cdot 8}{32} = 5,6 \text{ л/моль}$$

$$V_{\text{э}}(\text{O}_2) = V_{\text{н}} \cdot f(\text{O}_2) = 22,4 \cdot 0,25 = 5,6 \text{ л/моль}$$

Закон эквивалентов

В химических реакциях вещества, взаимодействующие между собой, и образующиеся продукты реакции имеют равные эквивалентные количества.



Эквивалентное количество вещества $n_{\text{э}}(X)$ – количество одного моля эквивалента вещества:

$$n_{\text{э}}(X) = \frac{m(X)}{M_{\text{э}}(X)} = \frac{V(X)}{V_{\text{э}}(X)}$$

Так как $n(X) = \frac{m(X)}{M(X)}$, то $n_{\text{э}}(X) = \frac{m(X)}{M(X) \cdot f} = \frac{n(X)}{f}$

Закон эквивалентов – массы реагирующих веществ пропорциональны молярным массам эквивалентов этих веществ (для твердых и жидких веществ), а объемы – эквивалентным объемам (для газообразных веществ).

$$\left. \begin{array}{l} n_{\text{э}}(A) = n_{\text{э}}(B) = n_{\text{э}}(C) \\ n_{\text{э}}(X) = \frac{m(X)}{M_{\text{э}}(X)} = \frac{V(X)}{V_{\text{э}}(X)} \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{m(A)}{M_{\text{э}}(A)} = \frac{m(B)}{M_{\text{э}}(B)} = \frac{V(C)}{V_{\text{э}}(C)}$$

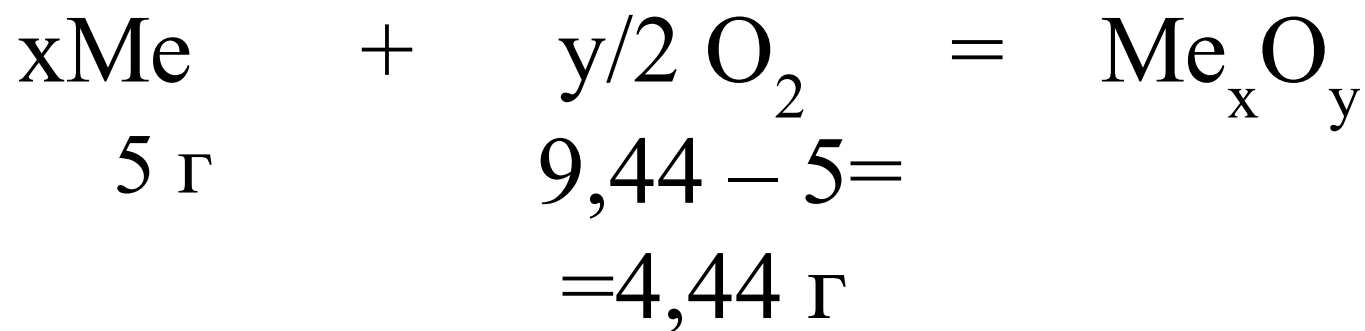
$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{M_{\text{э}}(1)}{M_{\text{э}}(2)}$$

Если известно, что одно из веществ газ, то закон эквивалентов записывается в виде:

$$\frac{m_1}{V_2} = \frac{M_{\text{э}}(1)}{V_{\text{э}}(2)}$$

где m_1 , m_2 , $M_{\text{э}}(1)$, $M_{\text{э}}(2)$ – массы и молярные массы эквивалентов реагирующих веществ; V_2 , $V_{\text{э}}(2)$ – объем и эквивалентный объем газообразного вещества.

Пример. При сгорании 5г металла образуется 9,44 г оксида металла. Рассчитайте молярную массу эквивалента металла.



$$\frac{m_{\text{Me}}}{m_{\text{O}}} = \frac{M_{\text{э}}(\text{Me})}{M_{\text{э}}(\text{O})} \quad M_{\text{э}}(\text{O}) = 8 \text{ г/моль}$$

$$M_{\text{э}}(\text{Me}) = 9 \text{ г/моль}$$

Определение фактора эквивалентности и молярной массы эквивалента сложных веществ по их формулам.

Оксиды

$$f_{\text{э}}(\text{оксида}) = \frac{1}{V \cdot n}$$

$$M_{\text{э}}(\text{оксида}) = f_{\text{э}}(\text{оксида}) \cdot M(\text{оксида}),$$

где V – валентность элемента, n – число атомов элемента, $M(\text{оксида})$ – молярная масса оксида.

Например. $f_{\text{э}}(\text{Al}^{3+}_2\text{O}_3) = \frac{1}{\text{В} \cdot \text{n}} = \frac{1}{3 \cdot 2} = \frac{1}{6}$

$$M_{\text{э}}(\text{Al}_2\text{O}_3) = f_{\text{э}}(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot M(\text{Al}_2\text{O}_3) =$$

$$\frac{1}{6} \cdot 102 = 17$$

Г/МОЛЬ

Кислоты

$$f_{\text{Э}}^{\text{КИСЛ.}} = \frac{1}{\text{Осн.}} = \frac{1}{n_{\text{H}^+}}$$

$$M_{\text{Э}}(\text{кислоты}) = f_{\text{Э}}(\text{кислоты}) \cdot M(\text{кислоты}),$$

где n – основность кислоты (число катионов водорода, способных замещаться на катионы металла),
 M (кислоты) – молярная масса кислоты.

Например. $f_{\text{э}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = \frac{1}{n} = \frac{1}{3}$

$$M_{\text{э}}(\text{H}_3\text{PO}_4) = f_{\text{э}}(\text{H}_3\text{PO}_4) \cdot M(\text{H}_3\text{PO}_4) =$$
$$\frac{1}{3} \cdot 98 = 32,7$$

Г/МОЛЬ

Основания

$$f_{\text{Э}_{\text{ОСНОВ.}}} = \frac{1}{\text{Кисл.}} = \frac{1}{n_{\text{ОН}^-}}$$

$$M_{\text{Э}}(\text{основания}) = f_{\text{Э}}(\text{основания}) \cdot M(\text{основания}),$$

где n – кислотность основания

(число гидроксо-анионов,

способных замещаться на кислотные остатки),

$M(\text{основания})$ – молярная масса основания.

Например. $f_{\frac{1}{2}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = \frac{1}{n} = \frac{1}{2}$

$$M_{\frac{1}{2}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) = f_{\frac{1}{2}}(\text{Ca}(\text{OH})_2) \cdot M(\text{Ca}(\text{OH})_2) =$$
$$\frac{1}{2} \cdot 74 = 37$$

Г/МОЛЬ

Соли

$$f_{\text{э}}(\text{соли}) = \frac{1}{Z} = \frac{1}{B \cdot n}$$

$$M_{\text{э}}(\text{соли}) = f_{\text{э}}(\text{соли}) \cdot M(\text{соли}),$$

где Z – суммарный заряд катиона основного остатка или анионов кислотного остатка ($Z = B \cdot n$), $M(\text{соли})$ – молярная масса соли.

Например. $f_{\text{э}}(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = \frac{1}{\text{В} \cdot \text{n}} =$

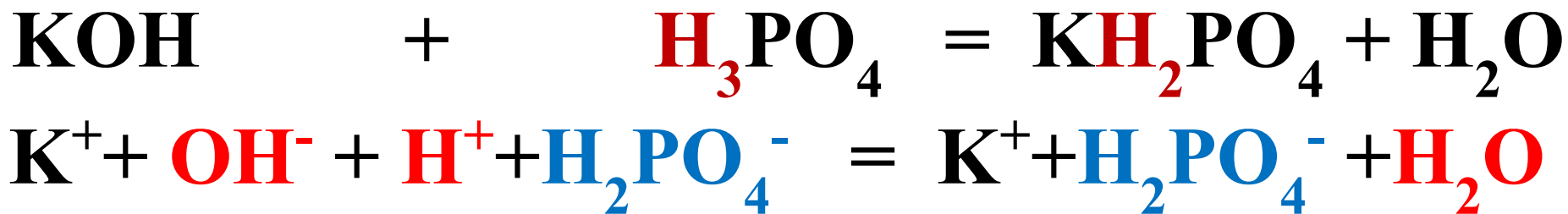
$$= \frac{1}{2 \cdot 3} = \frac{1}{6}$$

$$M_{\text{э}}(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) =$$

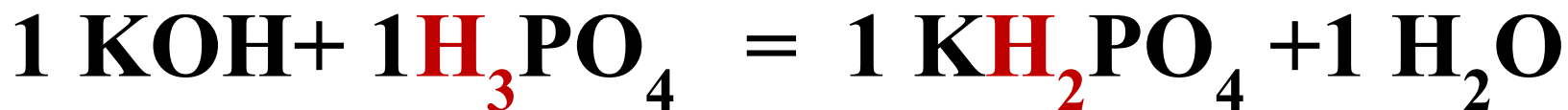
$$f_{\text{э}}(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) \cdot M(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) =$$

$$\frac{1}{6} \cdot 136 = 22,7 \text{ г/моль}$$

Определение количества эквивалентов и фактора эквивалентности вещества в кислотно-основных реакциях

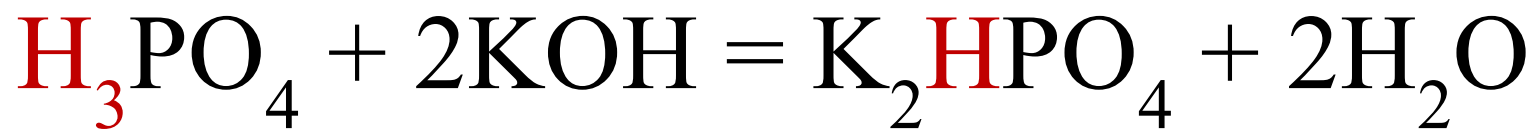


Делим коэффициенты в уравнении на количество участвующих в реакции H^+ или X^+ , т.е. делим на 1:

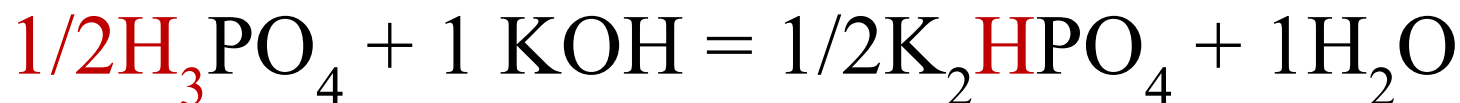


Полученные коэффициенты в уравнении и есть значения эквивалентов (фактора эквивалентности) для каждого участника реакции:

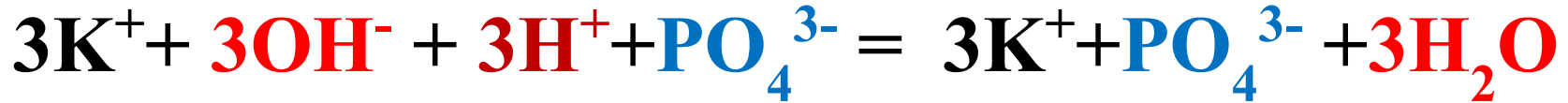
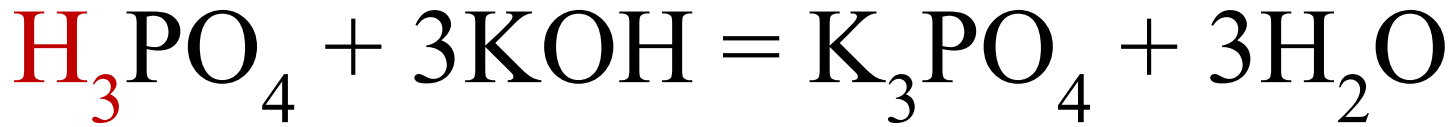
$$f_{\text{э}}(\text{KOH})=1; f_{\text{э}}(\text{H}_3\text{PO}_4)=1; f_{\text{э}}(\text{KH}_2\text{PO}_4)=1; f_{\text{э}}(\text{H}_2\text{O})=1$$



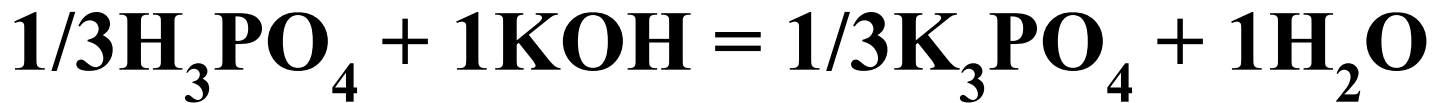
Делим коэффициенты в уравнении на количество участвующих в реакции H^+ или X^+ , т.е. делим на 2:



$f_{\ominus}(\text{KOH})=1; f_{\ominus}(\text{H}_3\text{PO}_4)=1/2; f_{\ominus}(\text{KH}_2\text{PO}_4)=1/2; f_{\ominus}(\text{H}_2\text{O})=1$
(примечание: $0 < f_{\ominus} \leq 1$)



Делим коэффициенты в уравнении на количество участвующих в реакции H^+ или X^+ , т.е. делим на 3:



$$f_{\circ}(\text{KOH})=1; f_{\circ}(\text{H}_3\text{PO}_4)=1/3; f_{\circ}(\text{KH}_2\text{PO}_4)=1/3; f_{\circ}(\text{H}_2\text{O})=1$$

