

1.Эквивалент. Закон ЭКВИВАЛЕНТОВ



Эквивалент.

Эквивалент- реальная или условная частица вещества, которая в данной кислотно-основной реакции соединяется или замещается с одним атомом или ионом водорода или в данной окислительно-восстановительной реакции равноценна одному электрону

Эквивалентная масса (молярная масса эквивалента).

- относительная масса такой частицы в а.е.м. называется *эквивалентной массой вещества*
- масса одного моля таких частиц выраженная в граммах, называется *молярной массой эквивалента* вещества и обозначается $M_{\text{э}}$

ВАЖНО!

Следует различать
**эквивалентные массы
элементов и
эквивалентные массы
соединений!**

Эквивалентная
масса элемента
равна:

$$M_{\text{э}} = \frac{A}{B} = \frac{A}{Z}$$

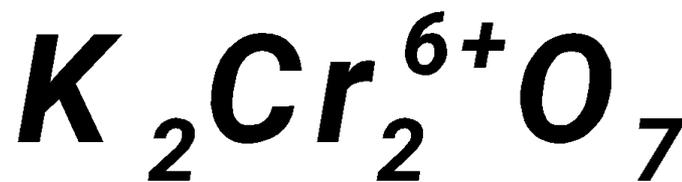
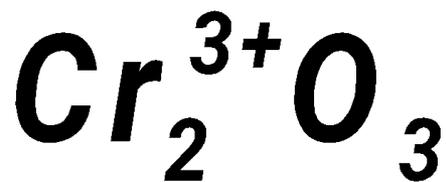
B - стехиометрическая
валентность,

A-атомная масса
элемента,

Z-заряд или степень
окисления.

ПРИМЕР:

Определить эквивалентную массу Cr в соединениях: Cr_2O_3 ; $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$



$$M_{\text{э}}(\text{Cr}) = \frac{52}{3}$$

$$M_{\text{э}}(\text{Cr}) = \frac{52}{6}$$

ПРИМЕР:

Определить эквивалентную массу кислорода и водорода



$$M_{\text{э}}(O) = \frac{16}{2}$$

$$M_{\text{э}}(H) = \frac{1}{1}$$

если условия нормальные

$T_0=273\text{K}$ и $P=101,3\text{ кПа}$

или 0°C и $P=760\text{ мм. рт. ст.}$

то в расчетных задачах используют значения эквивалентных объемов

для кислорода $V_{\text{э}}=5,6$ литра,

для водорода $V_{\text{э}}=11,2$ литра.

Фактор эквивалентности

показывает какая
часть от моля
вступает во
взаимодействие

ПРИМЕР:

HBr	H_2O	NH_3
1 моль H	2 моль H	3 моль H
1 моль Br	1 моль O	1 моль N
$f(\text{Br})=1$	$f(\text{O})=1/2$	$f(\text{N})=1/3$

Эквивалентные массы

Эквивалентная масса элемента = $A \times f$
(атомная масса \times фактор эквивалентности)

Эквивалентная масса вещества = $M \times f$
(молярная масса \times фактор эквивалентности)

Эквивалентная масса КИСЛОТЫ:

Эквивалентная масса кислоты равна *молярной массе, деленной на «основность» т.е. число атомов водорода в кислоте* (а в реакции число замещенных атомов водорода)

$$M_{\text{кислоты}} = \frac{M(\text{кислоты})}{n \times \text{H}^+}$$

$$M_{\text{з}}(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{98}{2} = 49$$

Эквивалентная масса основания:

Эквивалентная масса основания равна молярной массе основания, делённой на «кислотность», т.е. число гидроксогрупп в основании (а в реакции число замещённых гидроксогрупп)

$$M_{\text{экв}}(\text{основания}) = \frac{M(\text{основания})}{n \times (\text{ОН}^-)}$$

$$M_{\text{экв}}(\text{Fe}(\text{ОН})_2) = \frac{90}{2} = 45$$

Эквивалентная масса оксидов:

Эквивалентная масса оксида равна *молярной массе оксида деленной на произведение числа атомов элемента, образующих оксид, на его степень окисления*

$$M_{\text{э}}(\text{оксида}) = \frac{M(\text{оксида})}{\mathbf{V} \times}$$

$$M_{\text{э}}(\text{Cr}_2\text{O}_3) = \frac{M(\text{Cr}_2\text{O}_3)}{2 \times 3}$$

Эквивалентная масса соли

Эквивалентная масса соли равна *молярной массе соли деленной на произведение числа атомов металла, образующих соль, на его степень окисления*

Эквивалентная масса
сложного бинарного
соединения равна *сумме*
эквивалентных масс
образующих его элементов

ПРИМЕР:

$$M_{\text{Э}}(\text{Al}_2\text{O}_3) = M_{\text{Э}}(\text{Al}) + M_{\text{Э}}(\text{O})$$

$$M_{\text{Э}}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{моль}} \frac{27}{3} + \frac{16}{2} = 17 \quad /$$

или

$$M_{\text{Э}}(\text{Al}_2\text{O}_3)_{\text{моль}} \frac{M(\text{Al}_2\text{O}_3)}{2 \cdot 3} = \frac{102}{6} = 17 \quad /$$

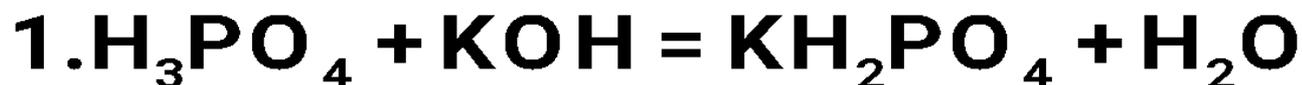
Эквивалентная масса в кислотно-основных реакциях.

Эквивалентная масса вещества относится к конкретной реакции и имеет различные значения

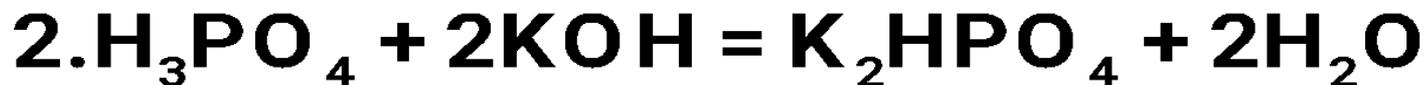
$$M_{\text{э}} = \frac{M}{K \cdot Z}$$

M - молярная масса вещества,
K - число замещающихся при реакции ионов,
Z - заряд иона.

ПРИМЕР



$$M_{\text{моль}} \frac{M(\text{H}_3\text{PO}_4)}{1 \cdot 1} = 98 \quad /$$



$$M_{\text{моль}} \frac{M(\text{H}_3\text{PO}_4)}{2 \cdot 1} = 49 \quad /$$



$$M_{\text{моль}} \frac{M(\text{H}_3\text{PO}_4)}{3 \cdot 1} = 33 \quad /$$



$$M_{\text{э}} [\text{Al}(\text{OH})_3] = M [\text{Al}(\text{OH})_3] / 1 = 78 \text{ г/моль}$$



$$M_{\text{э}} [\text{Al}(\text{OH})_3] = M [\text{Al}(\text{OH})_3] / 2 = 39 \text{ г/моль}$$



$$M_{\text{э}} [\text{Al}(\text{OH})_3] = M [\text{Al}(\text{OH})_3] / 3 = 26 \text{ г/моль}$$

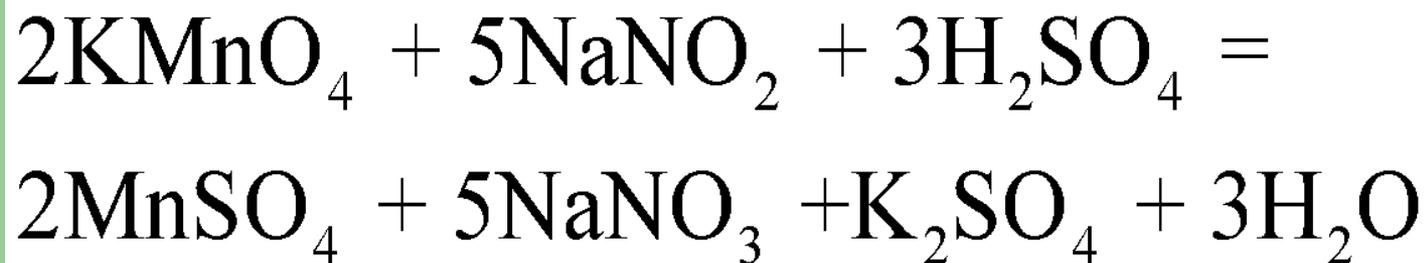
Эквивалентная масса в окислительно-восстановительных реакциях.

В окислительно-восстановительных реакциях:

$$M_{\text{э}} = \frac{M}{n \cdot e}$$

M – молярная масса окислителя или восстановителя,
n·e - число электронов принимаемых или отдаваемых одной молекулой

ПРИМЕР:



$$M_3(\text{KMnO}_4) = \frac{M(\text{KMnO}_4)}{5} = \frac{155}{5} = 31$$



Закон эквивалентов (Волластон, 1804 г.)

Массы реагирующих веществ
прямопропорциональны их
эквивалентным массам

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{M_{\text{Э}1}}{M_{\text{Э}2}}$$

ПРИМЕР:

**0,304г магния
вытеснили 0,0252 г
водорода. Вычислите
эквивалентную массу
магния.**

Решение:

Воспользуемся законом эквивалентов и запишем:

$$\frac{m(\text{Mg})}{m(\text{H}_2)} = \frac{M_{\text{Э}}(\text{Mg})}{2M(\text{H})}$$

$$\frac{0.304}{0.0252} = \frac{x}{1.008}$$

$$x = 12.16 \text{ г}$$

ПРИМЕР

Мышьяк образует два оксида, один содержит 65,2% As, а другой 75,7% As.

Вычислить Мэ мышьяка, его валентность и составить формулы оксидов.

Решение:

Воспользуемся законом эквивалентов:

$$\frac{m(As)}{m(O)} = \frac{M_{\text{Э}}(As)}{M_{\text{Э}}(O)}$$

Решение

$As_xO_y - 100\%$, тогда

$$\omega(O) = 100\% - \omega(As) = 100\% - 65,2\% = 34,8\%$$

Т.к. дано бинарное соединение, то в формулу закона эквивалентов можно подставлять %, получим:

$$\frac{\omega_{As}}{\omega_{\text{экв } O}} = \frac{M_{\text{экв}(As)}}{M_{()}} \Rightarrow \frac{65.2}{34.8} = \frac{M_{\text{экв}(As)}}{8}$$

Решение

$$M_{\text{экв}}(\text{As}) = \frac{65,2 \cdot 8 \text{ г / моль}}{34,8} = 15 \text{ г / моль}$$

$$V_{\text{экв}}(\text{As}) = \frac{A_{\text{As}}}{B_{\text{As}}} \Rightarrow V_{\text{As}} = \frac{A_{\text{As}}}{M(\text{As})} = \frac{75}{15} = 5$$

Формула 1-го оксида имеет вид:



Решение

Находим формулу второго оксида:

$As_xO_y - 100\%$, тогда

$$\omega(O) = 100\% - \omega(As) = 100\% - 75,7\% = 24,3\%$$

$$\frac{\omega_{As}}{\omega_{\text{экв } O}} = \frac{M_{\text{экв}(As)}}{M} \Rightarrow \frac{65.2}{34.8} = \frac{M_{\text{экв}(As)}}{8}$$

Решение

$$M_{\text{экв(As)}} = \frac{75,7 \cdot 82 / \text{моль}}{24,3} = 25 \text{ /}$$

$$M_{\text{экв(As)}} = \frac{A_{\text{As}}}{B_{\text{As}}} \Rightarrow M_{\text{As}} = \frac{A_{\text{As}}}{()} = \frac{75}{25} = 3$$

Формула 2-го оксида имеет вид:



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 $V_{\text{э}}(X)$

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

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

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

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

$$f_{\text{э}}(\text{H}) = \frac{1}{\text{В}} = 1 \quad M_{\text{э}}(\text{H}) = \frac{1 \cdot 1}{2} = 0,5$$

$$M(\text{H}_2) = \frac{2 \cdot 1}{\text{г/моль}} = 2$$

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

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

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

$$f_{\text{э}}(\text{O}) = \frac{1}{\text{В}} = \frac{1}{2} \quad M_{\text{э}}(\text{O}) = \frac{1 \cdot 16}{2 \cdot 16} = \frac{16}{32} = 0,5 \quad \text{г/моль}$$
$$M(\text{O}_2) = 32 \quad \text{г/моль}$$

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

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 , $M_{\text{э}}(1)$ – масса и эквивалентная масса реагирующего вещества; V_2 , $V_{\text{э}}(2)$ – объем и эквивалентный объем газообразного вещества.