

Лекция 1.

Эквивалент



Эквивалентом называют реальную или условную частицу вещества, которая может замещать, присоединять, высвобождать или быть каким-либо другим способом эквивалентна одному иону водорода в кислотно-основных или ионообменных реакциях или одному электрону в окислительно-восстановительных реакциях.

Масса одного эквивалента называется **эквивалентной массой**, выражается в г/моль.

Эквивалент элемента (Э) равен отношению атомной массы (А) элемента к его валентности (в):

$$\text{Э} = \frac{A}{v} \quad (1)$$

Например, эквивалент кислорода равен:

$$\text{Э}_0 = \frac{A_0}{v_0} = \frac{16}{2} = 8.$$



1) Кислота

Общая формула кислоты: H_nA ,

где: H – атом водорода, n – число замещаемых атомов водорода, A – анион (кислотный остаток).

Примеры кислот: HCl, H_2SO_4 , H_3PO_4 , HNO_3 .

Эквивалентная масса кислоты ($M_{эк}$) равна отношению молярной массы кислоты к ее основности, которая определяется как число замещенных ионов водорода:

$$M_{эк} = \frac{M_{к}}{n_{(H^+)}}. \quad (2)$$

Определение эквивалентной массы азотной кислоты:

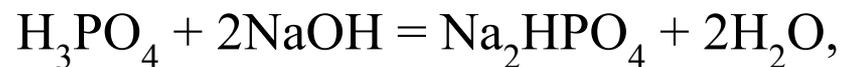
$$M_{эк_{HNO_3}} = \frac{63}{1} = 63 \text{ г/моль.}$$

Определение эквивалентной массы ортофосфорной кислоты:

$$M_{эк_{H_3PO_4}} = \frac{98}{3} = 32,8 \text{ г/моль.}$$



Рассмотрим пример реакции:



где в молекуле ортофосфорной кислоты замещаются только два атома водорода из трех.

Эквивалентная масса ортофосфорной кислоты в данном процессе будет равна:

$$M_{\text{Э}}_{\text{H}_3\text{PO}_4} = \frac{98}{2} = 49 \text{ г/моль.}$$



2) Основание

Общая формула основания: $K(OH)_n$,

где: K – катион (как правило, металл), n – число замещаемых гидроксильных групп.

Примеры оснований: $NaOH$, $Fe(OH)_2$, NH_4OH .

Эквивалентная масса основания ($M_{э_{осн}}$) равна отношению молярной массы основания к числу замещенных гидроксильных групп:

$$M_{э_{осн}} = \frac{M_{осн}}{n_{(OH^-)}}. \quad (3)$$

Определение эквивалентной массы гидроксида алюминия (III):

$$M_{э_{Al(OH)_3}} = \frac{M_{Al(OH)_3}}{3} = \frac{78}{3} = 26 \text{ г/моль.}$$



3) Соль

Общая формула соли: $K_n A_m$,

где: K – катион (как правило, металл), n – число катионов, A – анион (кислотный остаток), m – количество анионов.

Примеры солей: $NaCl$, NH_4NO_3 , FeS , $CaCO_3$.

Эквивалентная масса соли ($M_{э\text{соли}}$) равна отношению молярной массы соли к произведению числа атомов металла на валентность металла:

$$M_{э\text{соли}} = \frac{M_{\text{соли}}}{n_{\text{Me}} \cdot V_{\text{Me}}}. \quad (4)$$

Определение эквивалентной массы карбоната калия:

$$M_{эK_2CO_3} = \frac{138}{2 \cdot 1} = 69 \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

Определение эквивалентной массы сульфата алюминия (III):

$$M_{эAl_2(SO_4)_3} = \frac{342}{2 \cdot 3} = 57 \text{ г/моль}.$$



4) Оксид

Общая формула оксида: $\text{Э}_n\text{O}_m$,

где: Э – химический элемент, n – число элементов, O – атом кислорода, m – число атомов кислорода.

Примеры оксидов: CO, K₂O, Fe₂O₃.

Эквивалентная масса оксида ($M_{\text{э}_{\text{ок}}}$) равна отношению молярной массы оксида к произведению числа атомов кислорода на его валентность, равную 2:

$$M_{\text{э}_{\text{ок}}} = \frac{M_{\text{ок}}}{n_{\text{O}} \cdot 2} \quad (5)$$

Определение эквивалентной массы диоксида углерода:

$$M_{\text{э}_{\text{CO}_2}} = \frac{44}{2 \cdot 2} = 11 \text{ г/моль.}$$

Определение эквивалентной массы оксида кальция:

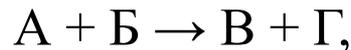
$$M_{\text{э}_{\text{CaO}}} = \frac{56}{1 \cdot 2} = 28 \text{ г/моль.}$$



Закон эквивалентов

Вещества реагируют друг с другом в эквивалентных количествах.

Если реакцию выразить схемой:



то закон эквивалентов будет иметь вид:

$$n_{\text{э}A} = n_{\text{э}B} = n_{\text{э}B} = n_{\text{э}\Gamma}, \quad (6)$$

где: $n_{\text{э}A}$, $n_{\text{э}B}$, $n_{\text{э}B}$, $n_{\text{э}\Gamma}$ – количество эквивалентов веществ А, Б, В, Г.

Количество эквивалентов вещества определяется, как $n_{\text{э}} = \frac{m}{M_{\text{э}}}$,

где: m – масса вещества, $M_{\text{э}}$ – масса одного эквивалента, тогда:

$$\frac{m_A}{M_{\text{э}A}} = \frac{m_B}{M_{\text{э}B}} \quad \text{или} \quad \frac{m_A}{m_B} = \frac{M_{\text{э}A}}{M_{\text{э}B}}$$



Согласно уравнению (7) **закон эквивалентов** формулируется так: массы реагирующих веществ относятся друг к другу как их эквиваленты.

Если в реакцию вступило одно вещество в твердой или жидкой фазах, а другое – газ, то удобнее использовать уравнение:

$$\frac{m_{1(\text{г})}}{V_{2(\text{мл})}} = \frac{M_{\text{Э}1(\text{г})}}{V_{\text{Э}2(\text{мл})}}, \quad (8)$$

где: m_1 – масса твердого вещества, г; $M_{\text{Э}1}$ – эквивалентная масса твердого вещества, г; V_2 – объем газообразного вещества, мл; $V_{\text{Э}2}$ – объем эквивалента газообразного вещества, мл.

$$V_{\text{Э}}(\text{H}_2) = 11,2 \text{ л/моль}$$

$$V_{\text{Э}}(\text{O}_2) = 5,6 \text{ л/моль}$$



Примеры решения задач

Задача: При окислении 5,0 г металла образуется 9,44 г оксида металла.
Определить эквивалентную массу металла.

Решение:

Согласно закону эквивалентов:

$$\frac{m_{\text{Me}}}{M_{\text{э}}(\text{Me})} = \frac{m_{\text{ок}}}{M_{\text{э}}\text{ок}'}$$

где m_{Me} и $m_{\text{ок}}$ – массы металла и оксида металла; $M_{\text{э}}(\text{Me})$ и $M_{\text{э}}\text{ок}'$ – эквивалентные массы металла и оксида.

По условию неизвестно, какой металл окислялся, также неизвестно, какой оксид получился. Однако, известно, что

оксид металла = металл + кислород



Известны массы оксида и металла, найдем массу кислорода:

$$m_{\text{O}} = m_{\text{ок}} - m_{\text{ме}} = 9,44 - 5 = 4,44 \text{ г.}$$

Теперь запишем закон эквивалентов для системы «металл – кислород»:

$$\frac{m_{\text{Ме}}}{M_{\text{з}}(\text{Ме})} = \frac{m_{\text{O}_2}}{M_{\text{з}}(\text{O})}$$

Рассчитаем эквивалентную массу кислорода:

$$M_{\text{з}}(\text{O}) = \frac{A(\text{O})}{\nu} = \frac{16}{2} = 8 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Выразим и рассчитаем эквивалентную массу металла:

$$M_{\text{з}}(\text{Ме}) = \frac{m_{\text{Ме}} \cdot M_{\text{з}}(\text{O})}{m_{\text{O}_2}}$$
$$M_{\text{з}}(\text{Ме}) = \frac{5 \cdot 8}{4,44} = 9 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Ответ: 9 г/моль.



Задача: На нейтрализацию 2,45 г кислоты потребовалось 2 г гидроксида натрия. Определить эквивалентную массу кислоты.

Решение:

Согласно закону эквивалентов:

$$\frac{m_{\text{к}}}{M_{\text{эк}}} = \frac{m_{\text{NaOH}}}{M_{\text{э}}(\text{NaOH})}$$

Рассчитаем эквивалентную массу гидроксида натрия. Гидроксид натрия является основанием, используем соответствующую формулу:

$$M_{\text{э}}(\text{NaOH}) = \frac{M(\text{NaOH})}{n(\text{OH}^-)} = \frac{23 + 16 + 1}{1} = 40 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Выразим и рассчитаем эквивалентную массу кислоты:

$$M_{\text{эк}} = \frac{m_{\text{к}} \cdot M_{\text{э}}(\text{NaOH})}{m_{\text{NaOH}}} = \frac{2,45 \cdot 40}{2} = 49 \frac{\text{г}}{\text{моль}}$$

Ответ: 49 г/моль.

