

Лекция №3 СТЕХИОМЕТРИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ

Основные понятия: химическая формула: простейшая (эмпирическая) и истинная (молекулярная), химическое уравнение; стехиометрический коэффициент, стехиометрическое соотношение; моль, количество вещества (число молей), молярная масса, молярный объем; выход продукта реакции.

Перечень умений: рассчитывать составы веществ и их смесей, выводить химические формулы по результатам анализа вещества, определять массы (а для газов – и объемы) веществ, вступивших в реакцию и образующихся при ее протекании, рассчитывать выход продуктов реакции.

В любой химической реакции соблюдаются законы сохранения массы и энергии. Общее число атомов элементов, входящих как в состав исходных веществ, так и продуктов реакции, в ходе реакции не изменяется. На этом основан подбор коэффициентов в уравнении реакции. Эти коэффициенты и проводимые с их использованием расчеты называют стехиометрическими (от греческих слов *stoicheon* – элемент, *metreo* – измеряю).

Любая химическая формула и любое химическое уравнение в явном виде (с помощью формульных индексов или стехиометрических коэффициентов) указывают молярные соотношения элементов, составляющих сложное вещество, или молярные соотношения различных участников реакции – исходных веществ и (или) продуктов. Все расчеты по химическим формулам и уравнениям основаны на использовании этих стехиометрических соотношений и связаны с нахождением количеств вещества (чисел молей).

Вспомним, что моль любого вещества содержит $6,02 \cdot 10^{23}$ частиц, его масса, выраженная в граммах, численно равна относительной атомной или молекулярной массе этого вещества, а в газообразном состоянии (в приближении идеального газа) объем одного моля при нормальных условиях V_{m0} составляет 22,4 л:

$$1 \text{ моль} \quad 6,02 \cdot 10^{23} \text{ (частиц)} \quad M \text{ (г/моль)} \quad V_{m0}$$

Формулы для определения количества вещества (числа молей) вещества А при различных способах его указания:

- 1) если задана масса вещества $m(A)$, г

$$n(A) = \frac{m(A)}{M(A)} \quad (1)$$

где $M(A)$ – молярная масса, г/моль;

- 2) если задан объем газообразного вещества

$$n(A) = \frac{V(A)}{V_m} = \frac{V_0(A)}{V_{m0}} \quad (2)$$

где $V(A)$ – объем газа при заданных условиях, $V_0(A)$ – объем газа, приведенный к нормальным условиям, л;

V_m – молярный объем при заданных условиях, V_{m0} – молярный объем при нормальных условиях ($V_{m0} = 22,4$ л/моль);

- 3) если задано число частиц вещества $N(A)$

$$n(A) = \frac{N(A)}{N_A} \quad (3)$$

где $N(A)$ – число Авогадро, моль⁻¹.

При расчетах по химическим формулам для установления стехиометрических соотношений используется задаваемый химической формулой молярный состав. Например, из формулы H_2SO_4 следует, что один моль серной кислоты содержит 2 моля

атомов водорода, 1 моль атомов серы и 4 моля атомов кислорода. По уравнениям (1) – (3) можно найти их массу, объем или число частиц. Если взять произвольное количество вещества, то соотношения чисел молей $n(\text{H}_2\text{SO}_4)$ и чисел молей $n(\text{H})$, $n(\text{S})$ и $n(\text{O})$ всегда будут равны стехиометрическим:

$$\frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{H})} = \frac{1}{2}, \quad \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{S})} = \frac{1}{1}, \quad \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)}{n(\text{O})} = \frac{1}{4}$$

Или в общем виде:

$$\frac{n(A)}{n(\text{Э})} = \frac{1}{N(\text{Э})} \quad (4)$$

где $n(A)$ – число молей сложного вещества;

$n(\text{Э})$ – число молей атомов элемента, входящего в состав данного сложного вещества;

$N(\text{Э})$ – число атомов элемента в формуле сложного вещества.

Часто встречается противоположная задача: по результатам анализа, т.е. по известному составу сложного вещества, найти его простейшую (эмпирическую) химическую формулу. Для этого необходимо определить число молей атомов каждого из элементов, приходящееся на какое-либо постоянное количество вещества, и выразить в явном виде их молярное (стехиометрическое) соотношение

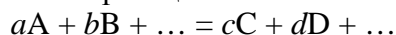
$$n(A) : n(B) : n(C) \dots = x : y : z \dots \quad (5)$$

где x, y, z – целые числа.

Для нахождения истинной (молекулярной) формулы необходимо дополнительно знать молекулярную массу вещества.

При стехиометрических расчетах по химическим уравнениям необходимо помнить, что коэффициенты в уравнениях реакций указывают как на соотношение числа частиц, участвующих в реакции, так и на соотношение числа молей вещества (а для газов – и на соотношение их объемов).

Для произвольной реакции



можно написать, например, такие стехиометрические соотношения:

$$\frac{n(A)}{n(B)} = \frac{a}{b}, \quad \frac{n(A)}{n(C)} = \frac{a}{c}, \quad \frac{n(B)}{n(D)} = \frac{b}{d}, \dots \text{ и т.д.} \quad (6)$$

где a, b, c, d – стехиометрические коэффициенты в уравнении реакции.

Число молей n можно найти по уравнениям (1) – (3).

Если вещества заданы массами, то по уравнению (1):

$$n(A) = \frac{m(A)}{M(A)}, \quad n(B) = \frac{m(B)}{M(B)}, \dots$$

Подставив в уравнение (6), получим:

$$\frac{m(A) \cdot M(B)}{M(A) \cdot m(B)} = \frac{a}{b}$$

откуда

$$\frac{m(A)}{m(B)} = \frac{a}{b} \cdot \frac{M(A)}{M(B)} \quad (7)$$

Таким образом, *отношение масс веществ, участвующих в реакции, равно отношению их молярных масс, умноженных на стехиометрические коэффициенты.*

Если в реакции принимают участие газообразные вещества, то по уравнению (2)

$$n(A) = \frac{V(A)}{V_m}, \quad n(B) = \frac{V(B)}{V_m}$$

Подставив в уравнение (6), получим:

$$\frac{V(A) \cdot V_m}{V_m \cdot V(B)} = \frac{a}{b} \quad \text{или} \quad \frac{V(A)}{V(B)} = \frac{a}{b} \quad (8)$$

т.е. *отношение объемов, участвующих в реакции газов, равно отношению их стехиометрических коэффициентов.*

Если количество одного из веществ (А) задано массой, а другого (В) – объемом, то аналогичным образом получим:

$$\frac{m(A)}{V(B)} = \frac{a}{b} \cdot \frac{M(A)}{V_m} = \frac{a}{b} \cdot \frac{M(A)}{22,4} \quad (\text{при н.у.}) \quad (9)$$