МАССОВАЯ ДОЛЯ ЭЛЕМЕНТА В СОЕДИНЕНИИ – как считать и как решать задачи

С XVII в. химия перестала быть описательной наукой. Ученые-химики стали широко использовать измерение вещества. Все более совершенствовалась конструкция весов, позволяющих определять массы образцов. Для газообразных веществ помимо массы измеряли также объем и давление. Применение количественных измерений дало возможность понять сущность химических превращений, определять состав сложных веществ.
Как вы уже знаете, в состав сложного вещества входят два или более химических элементов. Очевидно, что масса всего вещества слагается из масс составляющих его элементов. Значит, на долю каждого элемента приходится определенная часть массы вещества.

Массовой долей элемента называется отношение массы этого элемента в сложном веществе к массе всего вещества, выраженное в долях единицы (или в процентах):

$$w(\text{Э}) = \frac{m(\text{Э})}{m(\text{вещества})} \cdot 100\%.$$

Массовая доля элемента в соединении обозначается латинской строчной буквой *w* («дубль-вэ») и показывает долю (часть массы), приходящуюся на данный элемент в общей массе вещества. Эта величина может выражаться в долях единицы или в процентах. Конечно, массовая доля элемента в сложном веществе всегда меньше единицы (или меньше 100%). Ведь часть от целого всегда меньше целого, как долька апельсина меньше всего апельсина.

КАК РЕШАТЬ ЗАДАЧИ? Алгоритмы решений и примеры.

Например, в состав оксида ртути входят два элемента – ртуть и кислород. При нагревании 50 г этого вещества получается 46,3 г ртути и 3,7 г кислорода (рис. 57). Рассчитаем массовую долю ртути в сложном веществе:

$$w(\text{Hg}) = \frac{46{,}3\ (\text{г})}{50\ (\text{г})} = 0{,}926, \text{ или } 92{,}6\%.$$

Рис. 57.
В состав оксида ртути
входят два элемента – ртуть и кислород

Массовую долю кислорода в этом веществе можно рассчитать двумя способами.
СПОСОБ 1. По определению массовая доля кислорода в оксиде ртути равна отношению массы кислорода к массе оксида:

$$w(\text{O}) = \frac{3{,}7\ (\text{г})}{50\ (\text{г})} = 0{,}074, \text{ или } 7{,}4\%.$$

Зная, что сумма массовых долей элементов в веществе равна единице (100%), массовую долю кислорода можно вычислить по разности:

$$w(\text{O}) = 1 - 0{,}926 = 0{,}074,$$

или

$$w(\text{O}) = 100\% - 92{,}6\% = 7{,}4\%.$$

Для того чтобы найти массовые доли элементов предложенным способом, необходимо провести сложный и трудоемкий химический эксперимент по определению массы каждого элемента.

СПОСОБ 2. Если же формула сложного вещества известна, та же задача решается значительно проще.

Для расчета массовой доли элемента нужно его относительную атомную массу умножить на число атомов (n) данного элемента в формуле и разделить на относительную молекулярную массу вещества:

$$w(\text{Э}) = \frac{A_r(\text{Э}) \cdot n(\text{Э})}{M_r(\text{вещества})} \cdot 100\%.$$

Например, для воды (рис. 58):

$$M_r(H_2O) = 1 \cdot 2 + 16 = 18,$$

$$w(\text{H}) = \frac{1 \cdot 2}{18} = 0{,}1111, \text{ или } 11{,}11\%,$$

$$w(\text{O}) = \frac{16}{18} = 0{,}8889, \text{ или } 88{,}89\%.$$

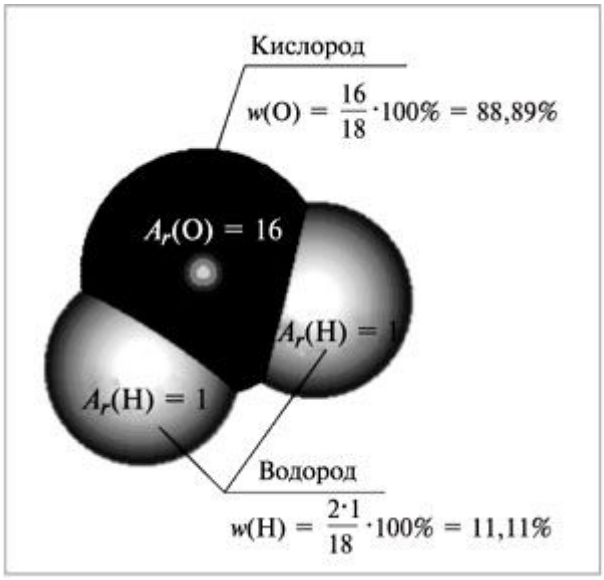

Рис. 58.
Схема вычисления
массовых долей элементов в воде

Далее рассмотрим решение задач на вычисление массовых долей элементов в сложных веществах.

Задача 1. **Рассчитайте массовые доли элементов в аммиаке, формула которого NH_3.**

Дано:
вещество аммиак NH_3.
Найти:
w(N), w(H).

Решение

1) Рассчитаем относительную молекулярную массу аммиака:
$M_r(NH_3) = A_r(\text{N}) + 3A_r(\text{H}) = 14 + 3 \cdot 1 = 17$.
2) Найдем массовую долю азота в веществе:

$$w(\text{N}) = \frac{A_r(\text{N}) \cdot n(\text{N})}{M_r(NH_3)} = \frac{14 \cdot 1}{17} = 0{,}8235, \text{ или } 82{,}35\%.$$

3) Вычислим массовую долю водорода в аммиаке:

$$w(\text{H}) = 1 - w(\text{N}) = 1 - 0{,}8235 = 0{,}1765, \text{ или } 17{,}65\%.$$

Ответ. w(N) = 82,35%, w(H) = 17,65%.

Задача 2. **Рассчитайте массовые доли элементов в серной кислоте, имеющей формулу H_2SO_4.**

Дано:

серная кислота H_2SO_4.

Найти:

w(H), w(S), w(O).

Решение

1) Рассчитаем относительную молекулярную массу серной кислоты:

$$M_r(H_2SO_4) = 2A_r(H) + A_r(S) + 4A_r(O) = 2•1 + 32 + 4•16 = 98.$$

2) Найдем массовую долю водорода в веществе:

$$w(H) = \frac{A_r(H) \cdot n(H)}{M_r(H_2SO_4)} = \frac{1 \cdot 2}{98} = 0{,}0204, \text{ или } 2{,}04\%.$$

3) Вычислим массовую долю серы в серной кислоте:

$$w(S) = \frac{A_r(S) \cdot n(S)}{M_r(H_2SO_4)} = \frac{32 \cdot 1}{98} = 0{,}3265, \text{ или } 32{,}65\%.$$

4. Рассчитаем массовую долю кислорода в веществе:

$$w(O) = 1 – (w(H) + w(S)) = 1 – (0{,}0204 + 0{,}3265) = 0{,}6531, \text{ или } 65{,}31\%.$$

Ответ. w(H) = 2,04%, w(S) = 32,65%, w(O) = 65,31%.

Чаще химикам приходится **решать обратную задачу: по массовым долям элементов определять формулу сложного вещества.** То, как решаются подобные задачи, проиллюстрируем одним историческим примером.

Из природных минералов – тенорита и куприта – были выделены два соединения меди с кислородом (оксиды). Они отличались друг от друга по цвету и массовым долям элементов. В черном оксиде массовая доля меди составляла 80%, а массовая доля кислорода – 20%. В оксиде меди красного цвета массовые доли элементов составляли соответственно 88,9% и 11,1%. Каковы же формулы этих сложных веществ? Проведем несложные математические расчеты.

Пример 1. Расчет химической формулы черного оксида меди (w(Cu) = 0,8 и w(O) = 0,2).

1) Обозначим формулу вещества с помощью индексов x, y – по числу атомов химических элементов в его составе: Cu_xO_y.

2) Отношение индексов равно отношению частных от деления массовой доли элемента в соединении на относительную атомную массу элемента:

$$x : y = \frac{w(Cu)}{A_r(Cu)} : \frac{w(O)}{A_r(O)} = \frac{0{,}8}{64} : \frac{0{,}2}{16} = 0{,}0125 : 0{,}0125.$$

3) Полученное соотношение нужно привести к соотношению целых чисел: индексы в формуле, показывающие число атомов, не могут быть дробными. Для этого полученные числа разделим на меньшее (т.е. любое) из них:

$$x : y = \frac{0{,}0125}{0{,}0125} : \frac{0{,}0125}{0{,}0125} = 1 : 1.$$

Получилась формула – CuO.

Пример 2. Расчет формулы красного оксида меди по известным массовым долям w(Cu) = 88,9% и w(O) = 11,1%.

Дано:

w(Cu) = 88,9%, или 0,889,

w(O) = 11,1%, или 0,111.

Найти:

формулу.

Решение

1) Обозначим формулу оксида Cu_xO_y.

2) Найдем соотношение индексов x и y:

$$x : y = \frac{w(\text{Cu})}{A_r(\text{Cu})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \frac{0,889}{64} : \frac{0,111}{16} =$$

$$= 0,0139 : 0,00694.$$

3) Приведем соотношение индексов к отношению целых чисел:

$$x : y = \frac{0,01389}{0,00694} : \frac{0,00694}{0,00694} = 2 : 1.$$

Ответ. Формула соединения – Cu_2O.

А теперь немного усложним задачу.

Задача 3. По данным элементного анализа состав прокаленной горькой соли, использовавшейся еще алхимиками в качестве слабительного средства, следующий: массовая доля магния – 20,0%, массовая доля серы – 26,7%, массовая доля кислорода – 53,3%.

Дано:

$w(Mg)$ = 20,0%, или 0,2,

$w(S)$ = 26,7%, или 0,267,

$w(O)$ = 53,3%, или 0,533.

Найти:

формулу.

Решение

1) Обозначим формулу вещества с помощью индексов x, y, z: $Mg_xS_yO_z$.

2) Найдем соотношение индексов:

$$x : y : z =$$

$$= \frac{w(\text{Mg})}{A_r(\text{Mg})} : \frac{w(\text{S})}{A_r(\text{S})} : \frac{w(\text{O})}{A_r(\text{O})} = \frac{0,2}{24} : \frac{0,267}{32} : \frac{0,533}{16} =$$

$$= 0,00833 : 0,00834 : 0,03331.$$

3) Определим значение индексов x, y, z:

$$x : y : z = \frac{0,00833}{0,00833} : \frac{0,00834}{0,00833} : \frac{0,03331}{0,00833} = 1 : 1 : 4.$$

Ответ. Формула вещества – $MgSO_4$.