

Задачи на массовую долю II

Рассмотрим, как с помощью информации о массовых долях элементов можно определить формулу вещества, принадлежащего к *неизвестному* классу.

Задача 1. Аскорбиновая кислота (витамин С) имеет молярную массу 176 и содержит 40,91% углерода, 4,55% водорода и кислород. Найдите ее молекулярную формулу.

Очевидно, что аскорбиновая кислота состоит из углерода, водорода и кислорода. Значит, ее формулу можно записать в виде $C_xH_yO_z$. Теперь необходимо вычислить x, y и z – количество атомов каждого типа, содержащихся в одной молекуле вещества. Эти величины можно выразить из формулы (1) с предыдущего листка, например:

$$\omega(C) = \frac{x \cdot M(C)}{M(C_xH_yO_z)} \cdot 100\% \Rightarrow x = \frac{\omega(C) \cdot M(C_xH_yO_z)}{100\% \cdot M(C)} = \frac{40,91\% \cdot 176}{100\% \cdot 12} = 6$$

Повторим вычисления для водорода и кислорода:

$$y = \frac{\omega(H) \cdot M(C_xH_yO_z)}{100\% \cdot M(H)} = \frac{4,55\% \cdot 176}{100\% \cdot 1} = 8$$

$$z = \frac{\omega(O) \cdot M(C_xH_yO_z)}{100\% \cdot M(O)} = \frac{(100\% - 40,91\% - 4,55\%) \cdot 176}{100\% \cdot 16} = 6$$

Формула аскорбиновой кислоты $C_6H_8O_6$.

Если в задаче не дана молярная масса вещества в явном виде, ее можно выразить из формул:

$$\rho_{\text{газа}} = \frac{M_{\text{газа}}}{V_m} \text{ – плотность газа при н. у. (2)}$$

$$D_{\text{по газу}} = \frac{M_{\text{вещ-ва}}}{M_{\text{газа}}} \text{ – относительная плотность паров вещества по газу (3)}$$

При применении формулы (3) нужно помнить, что молекулы кислорода, водорода, хлора, фтора и азота двухатомны, а молярная масса воздуха равна 29 г/моль. В качестве примера рассчитаем плотность углекислого газа по водороду, кислороду и воздуху:

$$D_{\text{по } H_2} = \frac{M(CO_2)}{M(H_2)} = \frac{44 \text{ г/моль}}{2 \text{ г/моль}} = 22$$

$$D_{\text{по } O_2} = \frac{M(CO_2)}{M(O_2)} = \frac{44 \text{ г/моль}}{32 \text{ г/моль}} = 1,375$$

$$D_{\text{по возд.}} = \frac{M(CO_2)}{M(\text{возд.})} = \frac{44 \text{ г/моль}}{29 \text{ г/моль}} = 1,52$$

Задача 2. Вещество, плотность по водороду которого равна 21, состоит из 85,71% углерода и 14,29% водорода. Определите его молекулярную формулу.

Вычислим молярную массу вещества C_xH_y и выполним расчет, как в задаче 1:

$$M(C_xH_y) = D_{\text{по } H_2} \cdot M(H_2) = 21 \cdot 2 = 42 \text{ г/моль}$$

$$x = \frac{\omega(C) \cdot M(C_xH_y)}{100\% \cdot M(C)} = \frac{85,71\% \cdot 42}{100\% \cdot 12} = 3$$

$$y = \frac{\omega(H) \cdot M(C_xH_y)}{100\% \cdot M(H)} = \frac{14,29\% \cdot 42}{100\% \cdot 1} = 6$$

Формула вещества – C₃H₆.

Задача 3. Неизвестное вещество содержит 54,93% калия и 45,07% кислорода. Определите его формулу.

Пусть формула вещества K_xO_y. Так как данных для расчета молярной массы нет, сразу вычислить x и y не получится. Тогда найдем их соотношение:

$$x : y = \frac{\omega(K) \cdot M(K_xO_y)}{100\% \cdot M(K)} : \frac{\omega(O) \cdot M(K_xO_y)}{100\% \cdot M(O)} = \frac{\omega(K) \cdot \cancel{M(K_xO_y)}}{100\% \cdot M(K)} \cdot \frac{100\% \cdot M(O)}{\omega(O) \cdot \cancel{M(K_xO_y)}} = \frac{\omega(K)}{M(K)} : \frac{\omega(O)}{M(O)}$$

Подставим числа

$$x : y = \frac{54,93}{39} : \frac{45,07}{16} = 1,41 : 2,82$$

Разделим оба числа в последнем отношении на наименьшее из них и получим, что

$$x : y = 1 : 2$$

Формула вещества – KO₂, надпероксид калия.

Задача 4. Органическое вещество содержит 24,24% углерода, 4,04% водорода и хлор. Определите его состав.

Формула вещества C_xH_yCl_z, массовая доля хлора в нем равна 100 - 24,24 - 4,04 = 71,72%.

Найдем соотношение между x, y и z:

$$x : y : z = \frac{24,24}{12} : \frac{4,04}{1} : \frac{71,72}{35,5} = 2,02 : 4,04 : 2,01 = 1 : 2 : 1$$

Простейшая формула – CH₂Cl. Такого вещества не существует, так как для атома углерода не характерна валентность III. Удвоим индексы и получим C₂H₄Cl₂ – дихлорэтан.

Задача 5*. Средняя соль содержит 19,88% серы и 39,75% кислорода. Определите ее формулу.

Пусть формула соли имеет вид Me_xO_yS_z. Найдем соотношение между количеством атомов кислорода и серы:

$$y : z = \frac{39,75}{16} : \frac{19,88}{32} = 2,48 : 0,62 = 4 : 1$$

Такому соотношению соответствует сульфат-ион. Тогда формулу соли можно переписать как Me₂(SO₄)_n^{II}, где n – валентность металла. Выразим массовую долю какого-нибудь элемента, например, серы:

$$19,88\% = \frac{32n \cdot 100\%}{2M(Me) + 96n}$$

$$2M(Me) + 96n = 3200n : 19,88$$

$$M(Me) = 32,5n$$

При подстановке n = 2 получим, что M(Me) = 65 г/моль. Значит неизвестное вещество – это сульфат цинка ZnSO₄.

Тренировочные задачи

1. Кофеин имеет молярную массу 194 и содержит 49,48% углерода, 5,15% водорода, 16,49% кислорода и азот. Найти молекулярную формулу кофеина.
2. Адреналин имеет молярную массу 183 и содержит 59,02% углерода, 7,10% водорода, 7,65% азота и кислород. Найти молекулярную формулу кофеина.
3. Углеводород содержит 16,28% водорода. Плотность этого вещества при нормальных условиях 3,839 г/л. Найдите молекулярную формулу этого углеводорода.
4. Массовая доля углерода в углеводороде составляет 83,33%. Плотность паров углеводорода по водороду равна 36. Определите формулу углеводорода.
5. Определите молекулярную формулу углеводорода, относительная плотность паров которого по азоту равна 2, а массовая доля углерода в нём составляет 85,7%.
6. Найдите молекулярную формулу углеводорода, содержащего 8,7% водорода.
7. Найдите молекулярную формулу органического вещества, содержащего 38,71% углерода, 51,61% серы и водород.
8. Неизвестная кислота содержит 35,96% серы и 62,92% кислорода. Определите молекулярную и структурную формулу кислоты.
9. Три вещества, состоящих только из азота и водорода, содержат 17,65%, 12,5% и 6,67% водорода соответственно. Выведите простейшую, молекулярную и структурную формулу каждого соединения.
10. Газ X раньше использовался в качестве отравляющего вещества, а сейчас широко применяется для производства пластмасс – поликарбонатов и полиуретанов. Он содержит 12% С, 16% О и 72% Cl по массе. Определите формулу X (*из задачи ВОШ по химии, муниципальный этап, 2015-2016 год*).
11. *Вещества А и Б бурно реагируют между собой с образованием продукта В. При обработке В оксидом углерода(IV) образуются вещества Б и Г (Г содержит 8,14% углерода и 32,5% кислорода). Определите вещества А – Г, напишите уравнения реакций.

Ответы

1. $C_8H_{10}N_2O_4$
2. $C_9H_3NO_3$
3. C_6H_{14}
4. C_5H_{12}
5. C_4H_8
6. C_7H_8
7. C_2H_6S
8. $H_2S_2O_7$
9. NH_3, N_2H_4, N_2H_2
10. $COCl_2$
11. А – SrO , Б – H_2O , В – $Sr(OH)_2$, Г – $SrCO_3$
 $SrO + H_2O = Sr(OH)_2$
 $Sr(OH)_2 + CO_2 = SrCO_3 + H_2O$