

ВЫЧИСЛЕНИЯ ПО ХИМИЧЕСКИМ ФОРМУЛАМ СОЕДИНЕНИЙ

1. Расчет относительной молекулярной и молярной массы
2. Вычисление массовой доли элемента в составе вещества
3. Нахождение простейших формул веществ
4. Установление молекулярной формулы по данным элементного состава
5. Расчет количества вещества через массу и объем

Расчет относительной молекулярной и молярной массы

Обозначают относительную атомную массу - A_r относительную молекулярную массу - M_r , где индекс r происходит от английского *relative* - относительный.

Относительная молекулярная масса рассчитывается как и относительная атомная масса, относительно $1/12$ части массы атома углерода.

Относительная молекулярная масса - физическая величина, которая показывает во сколько раз масса определённой молекулы больше $1/12$ массы атома ^{12}C .

Относительные атомные массы с большой точностью приведены в Периодической системе элементов. Более удобным способом расчета относительной молекулярной массы является расчет при помощи относительных атомных масс их принято округлять до целых для всех элементов кроме хлора. Необходимо, запомнить, что $A_r(\text{Cl}) = 35,5$. Очень распространенная ошибка — округление (причем неверное!) этого значения до целых, т.е. до 35.

Более удобным способом расчета относительной молекулярной массы является расчет при помощи относительных атомных масс.

Относительная молекулярная масса равна сумме относительных атомных масс элементов, входящих в состав молекулы, умноженных на количество их атомов.

$$M_r(\text{A}_x\text{B}_y\text{C}_z) = x \cdot A_r(\text{A}) + y \cdot A_r(\text{B}) + z \cdot A_r(\text{C})$$

Вычислим относительную молекулярную массу для предложенных веществ.

$$M_r(\text{Ca}) = A_r(\text{Ca}) = 40$$

$$M_r(\text{CO}_2) = A_r(\text{C}) + 2 A_r(\text{O}) = 12 + 2 \cdot 16 = 44$$

$$M_r(\text{H}_2) = 2 A_r(\text{H}) = 2 \cdot 1 = 2$$

Самостоятельная работа (с последующей самопроверкой).

$$M_r(\text{Na}_2\text{O}) = 2A_r(\text{Na}) + A_r(\text{O}) = 2 \cdot 23 + 16 = 62$$

$$M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 A_r(\text{H}) + A_r(\text{S}) + 4 \cdot A_r(\text{O}) = 2 + 32 + 64 = 98$$

Относительные молекулярные массы простых и сложных веществ рассчитывают как сумму относительных атомных масс всех атомов в молекуле или формульной единице (с учетом числа атомов каждого элемента!)

Задача 1. Вычислите относительную молекулярную массу азотной кислоты.

Решение:

$$A_r(\text{H}) = 1, A_r(\text{N}) = 14, A_r(\text{O}) = 16,$$

$$M_r(\text{HNO}_3) = A_r(\text{H}) + A_r(\text{N}) + A_r(\text{O}) \cdot 3 = 1 + 14 + 16 \cdot 3 = 63$$

$$\text{Ответ: } M_r(\text{HNO}_3) = 63.$$

Точно так же можно рассчитать относительные молекулярные массы заряженных частиц - ионов:

$$M_r(\text{SO}_4^{2-}) = 1 \cdot 32 + 4 \cdot 16 = 96;$$

$$M_r(\text{NH}_4^+) = 1 \cdot 14 + 4 \cdot 1 = 18.$$

Молярная масса M вещества численно равна его относительной молекулярной массе, но эта величина имеет размерность. В Международной системе единиц размерность молярной массы - [кг/моль], однако в химии гораздо более удобна размерность [г/моль] или кратные ей - [мг/ммоль] и [кг/кмоль]. Очень удобно, что значение молярной массы остается неизменным при изменении размерности, например:

$$M(\text{H}_2\text{O}) = 18 \text{ г/моль, или } 18 \text{ мг/ммоль, или } 18 \text{ кг/кмоль.}$$

Учащиеся, как правило, не любят использовать иные размерности,

кроме грамм на моль (г/моль). Поэтому при расчете количества вещества массой, допустим, 10 т они выражают массу в граммах, получая семизначное число. Делать этого не следует.

Вычисление массовой доли элемента в составе вещества

Используя относительную молекулярную массу вещества, легко вычислить массовую долю элемента, входящего в состав данного вещества. Из курса математики ученикам известно, что массовая доля — это отношение массы части к массе целого. Поэтому массовая доля элемента в сложном веществе (ω) показывает, какую часть составляет масса атомов элемента от массы молекулы вещества.

Целесообразно записать формулу расчета массовой доли элемента в сложном веществе:

$$\omega(\text{Э}) = \text{Ar}(\text{Э}) \cdot n / \text{Mr} \cdot 100\%$$

где: $\text{Ar}(\text{Э})$ — относительная атомная масса элемента;

$n(\text{Э})$ — количество атомов этого элемента;

Mr (вещества) — относительная молекулярная масса вещества, в состав которого входит данный элемент.

Задача 2. Вычислите массовые доли элементов в азотной кислоте. Исходя из формулы расчета массовой доли элементов в сложном веществе, для решения задачи необходимо найти в Периодической системе значения относительных атомных масс элементов, входящих в состав данного вещества, вычислить относительную молекулярную массу вещества, а затем найти массовую долю каждого элемента.

Решение:

$$\text{Ar}(\text{H}) = 1, \text{Ar}(\text{N}) = 14, \text{Ar}(\text{O}) = 16,$$

$$\text{Mr}(\text{HNO}_3) = \text{Ar}(\text{H}) + \text{Ar}(\text{N}) + \text{Ar}(\text{O}) \cdot 3 = 1 + 14 + 16 \cdot 3 = 63$$

$$\omega(\text{Э}) = \text{Ar}(\text{Э}) \cdot n / \text{Mr}$$

$$\omega(\text{H}) = \text{Ar}(\text{H}) \cdot n / \text{Mr}$$

$$\omega(\text{H}) = 1 \cdot 1/63 = 0,0159 \text{ или } 1,59\%$$

$$\omega(\text{N}) = \text{Ar}(\text{N}) \cdot n / \text{Mr}$$

$$\omega(1) = 14 \cdot 1/63 = 0,2222 \text{ или } 22,22\%$$

$$\omega(O) = Ar(O) \cdot n/Mr$$

$$\omega(O) = 16 \cdot 3/63 = 0,7619 \text{ или } 76,19\%$$

Нахождение простейших формул веществ

Зная массовую долю элементов, входящих в состав соединения, можно определить простейшую формулу вещества. Простейшие формулы вещества выражают наиболее простой возможный атомный состав молекул вещества. Данный тип задач является обратным по отношению к вычислениям массовых долей элементов, входящих в состав сложного вещества. Поэтому его вводят после того, когда ученики научатся вычислять массовые доли элементов в составе сложного вещества. При этом необходимо подбирать для решения такие задачи, в которых простейшая формула вещества совпадает с истинной. Не рекомендуется, например, на основе массовой доли элементов вычислять формулу пероксида водорода, так как простейшая формула данного вещества имеет состав НО.

Для вывода химической формулы вещества необходимо найти отношение чисел атомов элементов, входящих в состав данного вещества. Для этого нужно массовые доли элементов разделить на относительные атомные массы этих элементов. Если в результате деления получаются дробные части, то тогда наименьшую дробную часть принимают за единицу, а все остальные отношения чисел делят на наименьшее число.

Задача 3. Вещество содержит 1,59% водорода, 22,22% азота и 76,19% кислорода. Определите формулу вещества.

Решение:

Отношение чисел атомов водорода, азота и кислорода в молекуле вещества будет следующим

$$x:y:z = \omega(H)/Ar(H) : \omega(N)/Ar(N) : \omega(O)/Ar(O)$$

$$x:y:z = 1,59/1 : 22,22/14 : 76,19/16 = 1,59 : 1,59 : 4,76$$

Наименьшее дробное число 1,59, его принимаем за 1.

$$x:y:z = 1,59/1,59 : 1,59/1,59 : 4,76/1,59 = 1 : 1 : 3.$$

Формула вещества HNO_3 .

Ответ: HNO_3

Установление молекулярной формулы по данным элементного состава

Установите простейшую молекулярную формулу углеводорода, содержащего 85,7% углерода. Относительная плотность паров углеводорода по водороду равна 21.

Решение:

Дано:

$$\omega(\text{C}) = 85,7\%$$

Пусть формула углеводорода C_xH_y , он содержит водород

$$D(\text{H}_2) = 21 \quad \omega(\text{H}) = 100 - 85,7 = 14,3 \%,$$

$$\text{МФ} = ? \quad \text{Mr}(\text{C}_x\text{H}_y) = D(\text{H}_2) \cdot \text{Mr}(\text{H}_2), \quad \text{Mr}(\text{C}_x\text{H}_y) = 21 \cdot 2 = 42$$

Найдем массу углерода в 1 моль углеводорода,

$$m(\text{C}) = \text{Mr}(\text{C}_x\text{H}_y) \cdot \omega(\text{C}),$$

$$m(\text{C}) = 42 \cdot 0,857 = 36,$$

значит углеводород содержит $36:12 = 3$ атома С,

Остальное составляет водород $42 - 36 = 6$,

значит атомов Н - $6:1 = 6$

Формула углеводорода C_3H_6

Ответ: формула углеводорода C_3H_6

Решение с применением понятия «моль»

Количество вещества можно вычислить, разделив его массу на молярную массу ($n = m/M$), либо разделив объём газа при нормальных условиях на молярный объём ($n = V/V_m$). Для нахождения массы вещества из известного количества используется обратная формула: $m = n \cdot M$.

Расчет количества вещества через массу

Найти массу вещества (m): в граммах.

Определить молярную массу (M): вещества в г/моль. Молярная масса численно равна относительной молекулярной массе вещества, поэтому сна-

чала нужно найти относительную молекулярную массу, а затем приписать единицы г/моль.

Разделить массу на молярную массу: по формуле:

$n = m/M$ n - количество вещества (в молях), m - масса вещества (в граммах), M - молярная масса (в г/моль).

Задача 3. Чтобы найти количество вещества 5,6 г железа, нужно знать его молярную массу.

Решение:

Молярная масса железа (M) равна 56 г/моль. $n = 5,6 \text{ г} / 56 \text{ г/моль} = 0,1$ моль.

Расчет количества вещества через объём (для газов)

Для газов при нормальных условиях (0 °С и 101,3 кПа) можно использовать молярный объём.

Найти объём газа (V): в литрах.

Использовать молярный объём (V_m), который равен 22,4 л/моль для любого газа при нормальных условиях.

Разделить объём на молярный объём: по формуле:

$$n = V / V_m$$

Число структурных элементов

Число атомов элемента в молекуле вещества или число структурных единиц в формульной единице соединения можно найти в химической формуле вещества, указывая количество атомов каждого элемента.

Рекомендуемая литература:

1. Олейников, Н. Н. Химия. Алгоритмы решения задач и тесты: учебное пособие для вузов / Н. Н. Олейников, Г. П. Муравьева. - 3-е изд., испр. и доп. - Москва: Издательство Юрайт, 2026. - 249 с. - (Высшее образование). - ISBN 978-5-9916-9664-7. - Текст: электронный – URL: <https://urait.ru/bcode/584176>.

2. Химия. Задачник: учебник для вузов/ под общей редакцией Г. Н. Фадеева. - Москва: Издательство Юрайт, 2025.- 235 с. - (Высшее образова-

ние). - ISBN 978-5-9916-5732-7. - Текст: электронный - URL:
<https://urait.ru/bcode/560096>.