

§ 1. Атом, химический элемент, молекула. Простые и сложные вещества

Все окружающие нас физические тела состоят из веществ. А из чего же состоят сами вещества? Что изменяется, а что остается неизменным при превращении одних веществ в другие?

Из курса химии 7-го класса вы уже знаете, что существуют очень маленькие частицы, которые в процессе химических превращений не разрушаются и не возникают вновь, а лишь переходят из одних веществ в другие. Такие *мельчайшие, химически неделимые частицы называют атомами*.

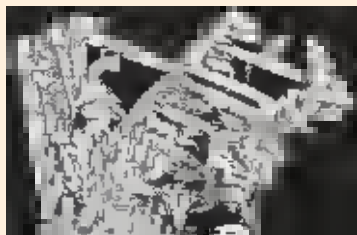
Определенный вид атомов называют **химическим элементом**. В настоящее время известно 118 химических элементов, каждый из которых имеет свое собственное название, а также условное обозначение — химический символ (знак). Названия и символы всех известных химических элементов приведены на форзаце 1 учебного пособия в периодической системе химических элементов.

Отдельные атомы могут объединяться между собой, образуя **молекулы** — *наименьшие частицы вещества, способные существовать самостоятельно и сохраняющие его химические свойства*.

Молекулы таких веществ, как кислород O_2 , водород H_2 , азот N_2 , состоят из двух атомов. Молекула белого фосфора P_4 содержит четыре атома, а серы S_8 — восемь.



Известно очень много веществ, которые имеют немолекулярное строение. Они представляют собой твердые кристаллические вещества, построенные не из молекул, а из атомов. Это, например, простые вещества железо, графит, алмаз.



Железо



Графит



Алмаз

Вещества, состоящие из атомов одного вида, называются **простыми веществами**, например кислород O_2 , белый фосфор P_4 , азот N_2 , медь Cu , железо Fe .

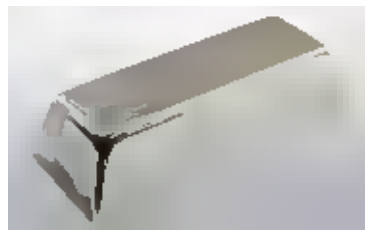
Простые вещества делятся на металлы (например, медь Cu , серебро Ag) и неметаллы (например, кремний Si , сера S) (рис. 1).

Если *вещество состоит из атомов разных химических элементов, то его называют **сложным веществом***.

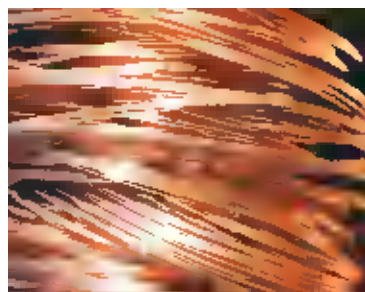
Из известных в настоящее время веществ подавляющее большинство являются сложными. Сложные вещества делятся на неорганические (например, вода H_2O , хлорид натрия $NaCl$, серная кислота H_2SO_4) и органические (например, глюкоза, лимонная кислота, аспирин).

Как вам известно, каждое вещество обладает определенным качественным и количественным составом, который химики выражают с помощью химических формул (например, азотная кислота HNO_3 , азот N_2 , карбонат кальция $CaCO_3$, оксид серы(VI) SO_3 , железо Fe).

Качественный состав веществ выражается с помощью символов химических элементов, а количественный — с помощью индексов, которые записываются справа и ниже символа элемента. Например, формула простого вещества кислорода O_2 (читается «о-два») показывает его качественный состав (состоит только из атомов кислорода) и количественный состав (молекула состоит из двух атомов кислорода). Формула сложного вещества метана CH_4 («це-аш-четыре») показывает, что оно состоит из атомов углерода и водорода (качественный состав), а его



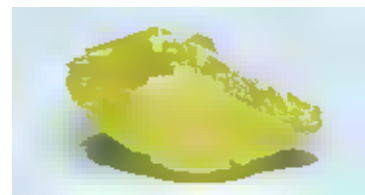
Серебро



Медь



Кремний



Сера

Рис. 1. Простые вещества металлы и неметаллы

молекула состоит из пяти атомов — одного атома углерода и четырех атомов водорода (количественный состав).

Таким образом, **химическая формула** — это условная запись состава вещества с помощью химических символов и индексов.



Для записи формул сложных веществ, кроме химических знаков и индексов, химики условились использовать и другие символы — круглые и квадратные скобки, точку, например: $K_3[Al(OH)_6]$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.

Порядок записи символов химических элементов в формулах сложных веществ не является случайным. Он определяется принадлежностью этих веществ к определенным классам соединений. Так, например, формулы неорганических кислот начинаются с символа водорода **H**, после чего записываются кислотные остатки **HCl**, **HNO₃**, **H₂SO₄**.

В формуле любого основания на первом месте указывается символ металла, а потом гидроксогруппы **OH**, например: гидроксид натрия **NaOH**, гидроксид магния **Mg(OH)₂**, гидроксид железа(III) **Fe(OH)₃**.

Формулы солей также начинаются с символа металла, после чего записываются кислотные остатки **NaCl**, **K₂SO₄**, **Ca₃(PO₄)₂**.

Как вы уже знаете, атомы или группы атомов соединяются между собой в соответствии с их **валентностью** — численной характеристикой способности атомов данного элемента соединяться с другими атомами.

Валентность **I** во всех своих соединениях проявляют атомы **H**, атомы щелочных металлов **Li**, **Na**, **K**, а также некоторых других элементов. Валентность атомов **O**, как правило, равна **II**.

Для правильного составления формул веществ следует знать валентности (их принято записывать с помощью римских цифр над символом химического элемента) входящих в их состав атомов или групп атомов (кислотных остатков и гидроксильных групп).



При этом необходимо соблюдать простое правило: в химической формуле бинарного соединения общее число единиц валентности одного элемента всегда равно общему числу единиц валентности второго элемента. Например, в **Al₂O₃** общее число единиц валентности двух атомов алюминия равно **6** (**2 × III**) и общее число единиц валентности трех атомов кислорода также равно **6** (**3 × II**).

Для более сложных по составу веществ (например, солей кислородсодержащих кислот и оснований) общее число единиц валентности атомов металла должно быть равно общему числу единиц валентности кислотных остатков или групп **ОН**. Например, в $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ общее число единиц валентности кальция равно 6 ($3 \times \text{II}$) и общее число валентностей кислотных остатков PO_4 также равно 6 ($2 \times \text{III}$).

Атомы — мельчайшие, химически неделимые частицы.

Химический элемент — определенный вид атомов.

Молекула — наименьшая частица вещества, способная существовать самостоятельно и сохраняющая его химические свойства.

Химическая формула — это условная запись состава вещества с помощью химических символов и индексов.

Простые вещества образованы атомами одного химического элемента, а сложные — атомами разных элементов.

Вопросы и задания

1. Приведите примеры трех физических тел, которые:
 - а) состоят из одного вещества;
 - б) состоят из нескольких веществ.
2. Расположите следующие объекты в порядке увеличения их размеров: горошина, песчинка, атом кислорода, мячик для настольного тенниса, молекула воды, вишня.
3. Приведите химические знаки и названия химических элементов, имеющих следующее произношение:
 - а) аргентум;
 - б) купрум;
 - в) феррум;
 - г) эн;
 - д) пэ;
 - е) аш.
4. Прочитайте вслух химические знаки следующих химических элементов и назовите их: Cl, H, Na, Ag, Hg, Zn, S, O.
5. Приведите примеры молекул, каждая из которых состоит из:
 - а) двух атомов;
 - б) трех атомов;
 - в) четырех атомов.
6. Выпишите из приведенного списка по отдельности формулы простых и сложных веществ и назовите их: CO_2 , H_2O , O_2 , Cu, NaCl, SiO_2 , H_2SO_4 , O_3 , NaOH, CuO.
7. Укажите валентность атомов каждого химического элемента в соединениях:
 - а) SO_3 ;
 - б) Al_2S_3 ;
 - в) MgCl_2 ;
 - г) Na_2O ;
 - д) P_2O_5 ;
 - е) KCl.
8. Составьте формулы бинарных соединений, в состав которых входят атомы с указанной валентностью: а) S(IV) и O(II); б) Al(III) и S(II); в) Zn(II) и Cl(I); г) Fe(III) и O(II); д) P(V) и O(II).

§ 2. Относительная атомная масса.

Атомы, являющиеся мельчайшими химически неделимыми частицами, имеют очень маленькую массу. Например, масса самого легкого атома (водорода **H**) составляет 0,0000000000000000000000000000001661 кг (или $1,661 \cdot 10^{-27}$ кг), а масса самого тяжелого атома (оганесона **Og**) примерно в 300 раз больше. Пользоваться такими величинами масс при проведении химических расчетов очень неудобно.

Химики еще в начале XIX в. стали выражать массу атомов не в килограммах или граммах, а в специальных относительных единицах.



В детском мультфильме «38 попугаев» слоненок, мартышка и попугай задумали измерить рост (т. е. фактически длину) удава, но не знали, как это сделать. Очевидно, что рулетки у них не было, да и основ измерений физических величин они не знали. Идею подсказал попугай — измерять длину «в попугаях». Длина удава оказалась равной 38 попугаям и еще полкрылышка. Это не что иное, как пример использования относительных единиц для измерения физической величины (в данном случае — длины).

В качестве такой единицы в настоящее время используют $\frac{1}{12}$ часть массы атома углерода.

Каждый химический элемент характеризуется физической величиной, которую называют *относительной атомной массой* и обозначают символом A_r .

Относительная атомная масса (A_r) — это физическая величина, которая показывает, во сколько раз масса атома данного химического элемента больше $\frac{1}{12}$ части массы атома углерода.

Значения относительных атомных масс приведены на форзаце 1 учебного пособия в периодической системе химических элементов. При проведении химических расчетов мы будем пользоваться значениями этих величин, округленными до целых (кроме хлора Cl). Например, относительные атомные массы водорода (1,00794), кислорода (15,9994) и железа (55,845) будем принимать равными соответственно 1, 16 и 56. Что касается относительной атомной массы хлора, равной 35,453, то при расчетах будем округлять ее до значения 35,5.

УГЛЕРОД
12,011

С помощью величины A_r можно легко сравнивать массы атомов между собой. Например, атом кислорода в 16 раз тяжелее атома водорода:

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

а атом серы в 2 раза тяжелее атома кислорода:

$$\frac{A_r(\text{S})}{A_r(\text{O})} = \frac{32}{16} = 2.$$

Молекулы, как и атомы, имеют очень маленькую массу, величину которой использовать при химических расчетах неудобно. Вместо нее при расчетах обычно используется физическая величина, называемая *относительной молекулярной массой*, которая обозначается M_r .

Относительная молекулярная масса (M_r) — это физическая величина, которая показывает, во сколько раз масса одной молекулы вещества больше $\frac{1}{12}$ части массы атома углерода.

Величину M_r можно рассчитать как сумму величин A_r всех атомов с учетом их числа в молекуле. Например, молекула серной кислоты H_2SO_4 состоит из 7 атомов — 2 атомов водорода **H**, 1 атома серы **S** и 4 атомов кислорода **O**, поэтому:

$$M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = 2 \cdot A_r(\text{H}) + 1 \cdot A_r(\text{S}) + 4 \cdot A_r(\text{O}) = 2 \cdot 1 + 1 \cdot 32 + 4 \cdot 16 = 98.$$

Массовая доля атомов химического элемента в сложном веществе

Исходя из химической формулы сложного вещества, в нем можно рассчитать массовую долю атомов каждого химического элемента.

Массовая доля (w) атомов химического элемента в веществе показывает, какая часть относительной молекулярной массы вещества приходится на атомы данного элемента.

В общем виде формулу для расчета массовой доли атомов элемента **A** в сложном веществе A_xB_y можно представить следующим образом:

$$w(\text{A}) = \frac{A_r(\text{A}) \cdot x}{M_r(\text{A}_x\text{B}_y)},$$

где w («дабл-ю») — массовая доля элемента **A**;

$A_r(\text{A})$ — относительная атомная масса элемента **A**;

x, y — числа атомов элементов **A** и **B** в формуле вещества;

$M_r(\text{A}_x\text{B}_y)$ — относительная молекулярная масса вещества A_xB_y .

Массовую долю выражают в долях единицы, например 0,07; 0,26. Значение массовой доли можно выразить и в процентах. Для этого значение в долях нужно умножить на 100, например $w(O) = 0,26$, или 26 %.

Пример. Определите массовые доли элементов в фосфорной кислоте H_3PO_4 .

Дано: H_3PO_4

Решение

$w(H) — ?$

$w(P) — ?$

$w(O) — ?$

1. Вычислим относительную молекулярную массу H_3PO_4 :

$$M_r(H_3PO_4) = 3 \cdot A_r(H) + 1 \cdot A_r(P) + 4 \cdot A_r(O) = 3 \cdot 1 + 1 \cdot 31 + 4 \cdot 16 = 98.$$

2. Рассчитаем массовые доли атомов каждого элемента:

$$w(H) = \frac{3 \cdot A_r(H)}{M_r(H_3PO_4)} = \frac{3}{98} = 0,031, \text{ или } 3,1 \%;$$

$$w(P) = \frac{1 \cdot A_r(P)}{M_r(H_3PO_4)} = \frac{31}{98} = 0,316, \text{ или } 31,6 \%;$$

$$w(O) = \frac{4 \cdot A_r(O)}{M_r(H_3PO_4)} = \frac{64}{98} = 0,653, \text{ или } 65,3 \%.$$

Ответ: $w(H) = 3,1 \%$; $w(P) = 31,6 \%$; $w(O) = 65,3 \%$.

Обратите внимание на то, что $w(H) + w(P) + w(O) = 1$, или 100 %.

Масса любого сложного вещества равна сумме масс входящих в его состав атомов. Очевидно, что общая масса атомов каждого элемента составляет определенную долю от общей массы всего вещества или, другими словами, определенную массовую долю. Она показывает, какую часть от общей массы вещества составляет масса атомов данного элемента.

Относительная атомная масса (A_r) — это физическая величина, которая показывает, во сколько раз масса атома данного химического элемента больше $\frac{1}{12}$ части массы атома углерода.

Относительная молекулярная масса (M_r) — это физическая величина, которая показывает, во сколько раз масса одной молекулы вещества больше $\frac{1}{12}$ части массы атома углерода.

Массовая доля (w) атомов химического элемента в веществе показывает, какая часть относительной молекулярной массы вещества приходится на атомы данного элемента.

Вопросы и задания

1. Назовите химический элемент, атом которого имеет наименьшую массу.
2. Почему химики при проведении расчетов используют относительные атомные и относительные молекулярные массы?
3. Приведите пример измерения чего-либо в относительных единицах.
4. Что принято в настоящее время в качестве относительной единицы массы для измерения масс атомов?
5. Какая молекула имеет бóльшую массу — HNO_3 или H_3PO_4 — и во сколько раз?
6. Вычислите относительную молекулярную массу следующих веществ: P_4 , HCl , SO_3 , H_2CO_3 .
7. Масса атома какого химического элемента в 32 раза больше $\frac{1}{12}$ части массы атома углерода?
8. Чему равны массовые доли азота в следующих веществах: NO , N_2O_3 , NH_3 , NH_4NO_3 ? В каком из этих веществ массовая доля азота наименьшая?
9. В Столбцовском районе Минской области расположено Околовское месторождение железной руды. В ней содержатся минералы магнетит Fe_3O_4 и гематит Fe_2O_3 , из которых в промышленности получают железо. В каком из этих веществ массовая доля железа наибольшая?

Готовимся к олимпиадам

Известно, что масса атома углерода равна $1,993 \cdot 10^{-26}$ кг, следовательно, $\frac{1}{12}$ часть этой массы равна $\frac{1,993 \cdot 10^{-26} \text{ кг}}{12} = 1,661 \cdot 10^{-27}$ кг.

Поскольку масса атома кислорода равна $26,58 \cdot 10^{-27}$ кг, его относительная атомная масса $A_r(\text{O})$ составляет:

$$A_r(\text{O}) = \frac{m_a(\text{O})}{\frac{1}{12} m_a(\text{C})} = \frac{26,58 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}{1,661 \cdot 10^{-27} \text{ кг}} = 16.$$

Исходя из того, что масса молекулы серной кислоты H_2SO_4 составляет $162,8 \cdot 10^{-27}$ кг, ее относительная молекулярная масса равна:

$$M_r(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{162,8 \cdot 10^{-27} \text{ кг}}{1,661 \cdot 10^{-27} \text{ кг}} = 98.$$

1. Вычислите массу: а) одного атома золота; б) трех атомов брома; в) семи атомов свинца; г) одной молекулы фосфорной кислоты; д) пяти молекул глюкозы $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.