

ля химического элемента показывает, какая часть относительной молекулярной массы вещества приходится на данный элемент. Её рассчитывают по формуле:

$$w(X) = \frac{nA_r(X)}{M_r},$$

где $w(X)$ — массовая доля химического элемента X , выраженная в долях единицы;

n — число атомов данного элемента, обозначенное индексом в формуле соединения;

A_r — относительная атомная масса X ;

M_r — относительная молекулярная масса соединения.

Долей называют часть целого, поэтому сумма всех долей равна единице, или 100%.

Задача 1. Рассчитайте массовые доли химических элементов в красном железняке Fe_2O_3 .

Решение.

Определим относительную молекулярную массу вещества:

$$M_r(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 2A_r(\text{Fe}) + 3A_r(\text{O}) = 2 \cdot 56 + 3 \cdot 16 = 160.$$

Затем рассчитаем массовые доли химических элементов железа и кислорода:

$$w(\text{Fe}) = \frac{2A_r(\text{Fe})}{M_r(\text{Fe}_2\text{O}_3)} = \frac{2 \cdot 56}{160} = 0,7, \text{ или } 70\%;$$

$$w(\text{O}) = \frac{3A_r(\text{O})}{M_r(\text{Fe}_2\text{O}_3)} = \frac{3 \cdot 16}{160} = 0,3, \text{ или } 30\%.$$

Обратите внимание, что сумма массовых долей железа и кислорода составляет 1, или 100%.

О т в е т. $w(\text{Fe}) = 70\%$; $w(\text{O}) = 30\%$.

Задача 2. Рассчитайте массу атомов кислорода, содержащихся в одном стакане (200 г) воды.

Решение.

Рассчитаем массовую долю кислорода в воде:

$$w(\text{O}) = \frac{A_r(\text{O})}{M_r(\text{H}_2\text{O})} = \frac{16}{18} = 0,889, \text{ или } 88,9\%.$$

Таким образом, $m(\text{O}) = 0,889 \cdot 200 \text{ г} = 177,8 \text{ г}$.

О т в е т. $m(\text{O}) = 177,8 \text{ г}$.

Вопросы и задания

1. Дайте определения понятий «относительная атомная масса», «относительная молекулярная масса». Какой смысл имеет слово «относительная»?
2. Что означает запись $A_r(S) = 32$?
3. Какой атом тяжелее — железа или кремния — и во сколько раз?
4. Определите относительные молекулярные массы простых веществ: водорода, кислорода, хлора, меди, алмаза (углерода). Вспомните, какие из них состоят из двухатомных молекул, а какие — из атомов.
5. Рассчитайте относительные молекулярные массы следующих соединений: углекислого газа CO_2 , серной кислоты H_2SO_4 , сахара $C_{12}H_{22}O_{11}$, этилового спирта C_2H_6O , мрамора $CaCO_3$.
6. В пероксиде водорода на один атом кислорода приходится один атом водорода. Определите формулу пероксида водорода, если известно, что её относительная молекулярная масса равна 34. Каково массовое соотношение водорода и кислорода в этом соединении?
7. Во сколько раз молекула углекислого газа тяжелее молекулы кислорода?
8. Что называют массовой долей химического элемента в соединении?
- *9. В каком массовом отношении нужно смешать железо и серу для получения сульфида железа FeS ?
- *10. В каком массовом отношении нужно смешать алюминий и серу для получения сульфида алюминия Al_2S_3 ? Определите массовые доли химических элементов в этом соединении.
11. Определите массовые доли серы и кислорода в молекуле SO_2 .
12. Определите массовые доли химических элементов в мраморе $CaCO_3$.
13. Рассчитайте массу атомов кислорода в куске мрамора $CaCO_3$ массой 20 г.
14. Найдите массу мрамора $CaCO_3$, содержащего 100 г атомов Ca.

§ 12 Закон сохранения массы веществ. Уравнения химических реакций

В XVIII в. на основании многочисленных экспериментов французский химик Антуан Лоран Лавуазье и независимо от него русский учёный Михаил Васильевич Ломоносов установили:

в результате химических превращений масса веществ остаётся неизменной — общая масса всех исходных веществ равна общей массе всех продуктов реакции.

Ломоносов Михаил Васильевич (1711—1765)

Великий русский учёный. Сын архангельского крестьянина-помора. Учился в Москве, в Славяно-греко-латинской академии, затем в Германии. Он считал, что тела состоят из «корпускул» (молекул) — мельчайших частиц, имеющих вес и обладающих всеми свойствами вещества, а «корпускулы» состоят из «элементов» (атомов). Однако созданная им атомная теория не была опубликована. Ломоносов сформулировал закон сохранения материи (1758): «Все перемены, в натуре случающиеся, такого суть состояния, что сколько чего у одного тела отнимется,



столько присовокупится к другому. Так, ежели где убудет несколько материи, то умножится в другом месте...» А. С. Пушкин, собиравший материалы к биографии учёного, писал, что у него был непростой характер: «С ним шутить было накладно. Он везде был тот же: дома, где все его домочадцы трепетали; во дворе, где он дирал за уши пажей; в Академии, где не смели при нём пикнуть». Ломоносов создал первую в России химическую лабораторию, ввёл в химию количественные методы исследования, разработал метод получения непрозрачного стекла (смальты), который использовал для создания мозаики. По словам Пушкина, «историк, ритор, механик, химик, минералог, художник и стихотворец, он всё испытал и всё проник». По инициативе М. В. Ломоносова в 1755 г. был открыт Московский университет, который теперь носит его имя.

Это утверждение носит название **закона сохранения массы веществ при химических реакциях**. Сейчас оно кажется очевидным. Действительно, в результате химических реакций одни вещества превращаются в другие, но при этом атомы не исчезают, не появляются и не превращаются из одного вида в другой.

Однако в то время, когда атомно-молекулярная теория ещё не завоевала всеобщего признания, многие факты, казалось, противоречили закону сохранения массы веществ. Например, всем известно, что свеча постепенно сгорает, её масса уменьшается. Как это объяснить? Горение свечи — это химическая реакция парафина с кислородом воздуха, протекающая с образованием углекислого газа и воды. Продукты этой реакции (углекислый газ и водяной пар) — газообразные вещества, которые улетучиваются, поэтому нам и кажется, что происходит потеря массы.

Химические реакции обычно записывают в виде уравнений. В левой части уравнения химической реакции представлены формулы исходных веществ (реагентов), а в правой — продуктов. Рассмотрим на простейшем примере, как составить такое уравнение. При прокаливании на воздухе медной фольги на её поверхности образуется чёрный налёт оксида меди CuO — соединения меди с кислородом. Медь Cu соединяется с кислородом воздуха (кислород состоит из двухатомных молекул O_2), образуя оксид меди CuO :



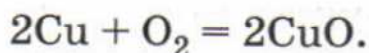
Это *схема реакции*. Чтобы она превратилась в уравнение, нужно уравнивать число атомов каждого химического элемента в левой и правой частях (до и после стрелки). Для этого расставляют *коэффициенты* — цифры перед формулами веществ, указывающие число частиц, вступивших во взаимодействие. Как легко заметить, число атомов кислорода в левой и правой частях схемы различно: слева два атома кислорода, справа — один, а это противоречит закону сохранения массы веществ. Поэтому перед формулой оксида меди CuO поставим коэффициент 2:



Теперь слева и справа от стрелки записано одинаковое число атомов кислорода. Однако, поставив коэффициент 2 перед формулой CuO , мы одновременно увеличили и число атомов меди в правой части схемы — их стало два. Для того чтобы уравнивать число атомов меди в обеих частях схемы, нужно поставить ещё один коэффициент, на этот раз перед формулой меди:



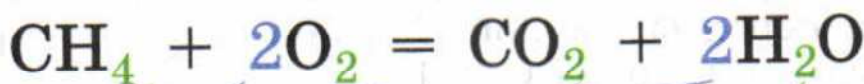
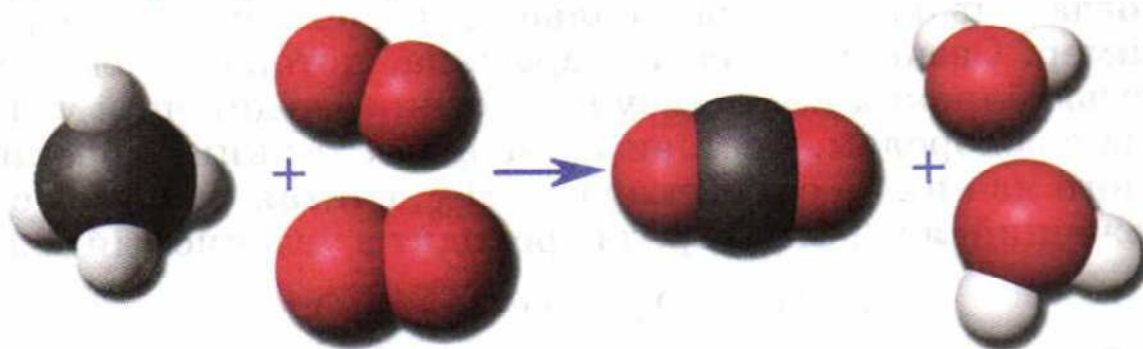
Теперь число атомов каждого вида в левой и правой частях схемы одинаково. Чтобы подчеркнуть, что коэффициенты расставлены, стрелку между формулами реагентов и продуктов в уравнении химической реакции принято заменять знаком равенства:



Как вы уже заметили, коэффициент 1, подобно индексу 1 в формуле вещества, не ставят.

Реагенты (исходные вещества)

Продукты (конечные вещества)



Коэффициенты

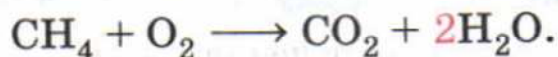
Индексы

Рис. 28. Уравнение реакции горения метана и его изображение с помощью моделей

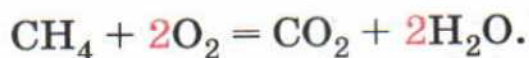
Рассмотрим ещё один пример. Главная составная часть природного газа — метан CH_4 . Напишем уравнение реакции горения метана, зная, что продуктами реакции являются углекислый газ CO_2 и вода H_2O (рис. 28). Сначала напишем схему реакции:



Уравняем число атомов каждого химического элемента слева и справа от стрелки, т. е. расставим коэффициенты. Начнём с атомов углерода — в обеих частях их по одному. Затем подсчитаем число атомов водорода: в левой части схемы их четыре, а в правой — два. Уравняем их число, поставив коэффициент 2 перед формулой H_2O :



Наконец, осталось уравнять число атомов кислорода. В левой части только два атома кислорода в молекуле O_2 , а в правой — четыре (два атома в составе молекулы CO_2 и по одному в составе двух молекул H_2O). Очевидно, что перед формулой O_2 в левой части нужно поставить коэффициент 2:

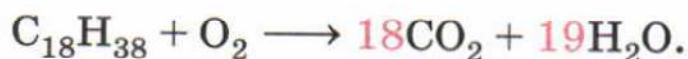


Подсчитав ещё раз число атомов каждого химического элемента в левой и правой частях уравнения химической реакции, убедимся, что коэффициенты расставлены правильно.

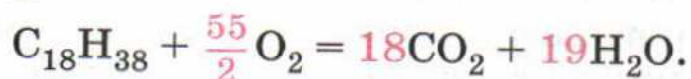
Коэффициенты в уравнениях химических реакций иногда бывают довольно большими числами. Приведём пример. Свеча сделана из парафина, который является смесью близких по составу и строению соединений углерода с водородом. Составим уравнение реакции горения одного из них — октадекана $C_{18}H_{38}$, считая, что весь содержащийся в нём углерод переходит в углекислый газ:



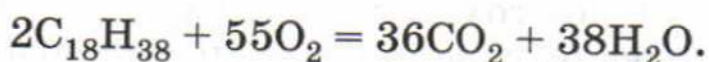
Сначала уравниваем число атомов углерода и водорода, для этого перед формулой CO_2 поставим коэффициент 18, а перед формулой H_2O — 19:



Теперь осталось уравнивать число атомов кислорода. Слева их 2, а справа — $18 \cdot 2 + 19 = 55$. В таком случае число молекул O_2 в левой части уравнения получается дробным — $\frac{55}{2}$:



Но что значит дробное число молекул кислорода? Ведь молекула — мельчайшая частица вещества. Чтобы все коэффициенты были целыми числами, увеличим каждый из них в два раза:



По уравнению реакции можно проводить различные расчёты. Вы научитесь делать это в 9 классе.

Вопросы и задания

1. Сформулируйте закон сохранения массы веществ и обоснуйте его с позиций атомно-молекулярной теории.
2. Почему при горении спиртовки масса спирта постоянно уменьшается? Не нарушается ли при этом закон сохранения массы веществ?
3. Как вы объясните увеличение массы железной детали при ржавлении?
4. Что обозначают индекс в формуле вещества и коэффициент в уравнении реакции?
5. Что значит расставить коэффициенты в уравнении химической реакции?
6. При горении угля C образуется углекислый газ. Напишите уравнение этой реакции.

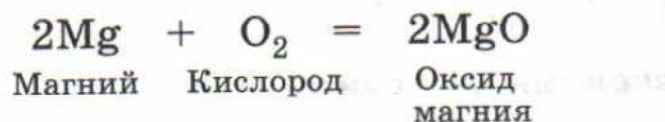
7. При взаимодействии двух газов — кислорода и водорода — образуется вода. Напишите уравнение этой реакции.
8. При разложении малахита $\text{Cu}_2\text{CO}_3\text{H}_2$ образуются оксид меди CuO , углекислый газ и вода. Напишите уравнение этой реакции.
9. Расставьте коэффициенты в следующих схемах реакций:

<p>а) $\text{Fe} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4;$ $\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_2;$ $\text{CH}_4 \longrightarrow \text{C} + \text{H}_2;$ $\text{P} + \text{Br}_2 \longrightarrow \text{PBr}_5;$</p>	<p>г) $\text{CuO} \longrightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{O}_2;$ $\text{SO}_2 + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_3;$ $\text{FeBr}_3 \longrightarrow \text{FeBr}_2 + \text{Br}_2;$ $\text{CuCl}_2 + \text{Na}_2\text{S} \longrightarrow \text{CuS} + \text{NaCl};$</p>
<p>б) $\text{Al} + \text{F}_2 \longrightarrow \text{AlF}_3;$ $\text{N}_2 + \text{H}_2 \longrightarrow \text{NH}_3;$ $\text{FeO} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4;$ $\text{Fe} + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{FeCl}_3;$</p>	<p>д) $\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O};$ $\text{C}_4\text{H}_{10} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O};$ $\text{Ag} + \text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{Ag}_2\text{S} + \text{H}_2\text{O};$ $\text{CH}_5\text{N} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{N}_2;$</p>
<p>в) $\text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2;$ $\text{Ca} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CaO};$ $\text{Na} + \text{Cl}_2 \longrightarrow \text{NaCl};$ $\text{BaO} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{BaO}_2;$</p>	<p>е) $\text{Zn} + \text{HCl} \longrightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{H}_2;$ $\text{KOH} + \text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O};$ $\text{NaOH} + \text{H}_3\text{PO}_4 \longrightarrow \text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{H}_2\text{O};$ $\text{CuOH} \longrightarrow \text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}.$</p>
- *10. В природном газе содержится небольшое количество этана C_2H_6 . На воздухе он сгорает подобно метану. Составьте уравнение реакции.

§ 13 Типы химических реакций

Число химических реакций очень велико. Простейшие из них можно условно разделить на четыре группы — реакции соединения, разложения, замещения и обмена.

В реакциях соединения из нескольких исходных веществ образуется одно сложное вещество. Примером может служить реакция горения магния (рис. 29):



или реакция образования зелёного налёта малахита на поверхности бронзовых изделий:

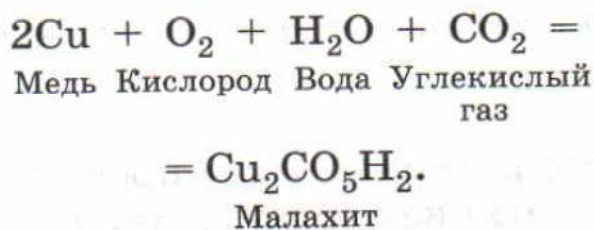


Рис. 29. Горение магниевой ленты

Лабораторный опыт 5. Окисление медной пластинки (проволоки)

Возьмите пинцетом медную пластинку или проволоку и внесите её в пламя спиртовки. Что наблюдаете? Образующийся чёрный налёт — это оксид меди CuO . Напишите уравнение реакции. Определите тип реакции.

Реакции разложения приводят к распаду одного исходного сложного вещества на несколько продуктов. Так, при разложении мела CaCO_3 образуются оксид кальция (негашёная известь) CaO и углекислый газ CO_2 :



а при разложении малахита — оксид меди, вода и углекислый газ:



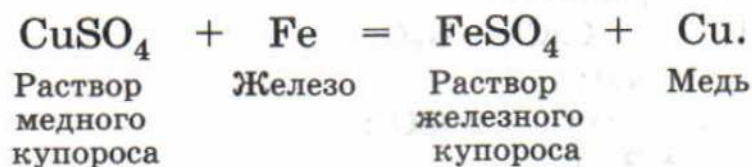
Реакции разложения чаще всего протекают при нагревании. В уравнении химической реакции это условие обозначают символом температуры t над знаком равенства. Многие соединения, устойчивые при комнатной температуре, при нагревании разлагаются. Например, подавляющее большинство органических веществ не выдерживает нагревания до 300°C , а при 2500°C начинает распадаться на водород и кислород даже такое устойчивое вещество, как вода. Некоторые вещества разлагаются под действием света. Так, соединения серебра на свету чернеют вследствие выделения серебра. На этом процессе основана чёрно-белая фотография.

Лабораторный опыт 6. Разложение малахита

Положите в сухую пробирку немного порошка малахита. Какого он цвета? Нагрейте пробирку в пламени спиртовки. Что наблюдаете? Какая жидкость конденсируется на стенках пробирки? Зажгите лучинку и внесите её в пробирку. Что происходит? О выделении какого газа это свидетельствует? Перечислите вещества, образующиеся при разложении малахита. Напишите уравнение реакции. Определите тип реакции.

Реакции замещения — это реакции между простым и сложным веществами, протекающие с образованием двух

новых веществ — простого и сложного. Если в синий раствор медного купороса опустить железный гвоздь, то на поверхности гвоздя начнёт выделяться красный налёт меди. Вскоре окраска раствора станет зеленовато-жёлтой, характерной для железного купороса:

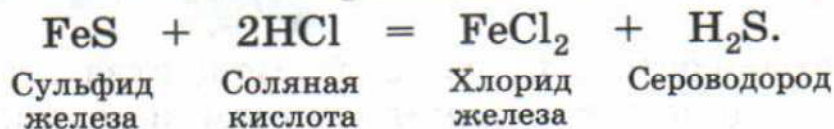


В результате этой реакции атом железа занимает место атома меди в медном купоросе — замещает атом меди.

Лабораторный опыт 7. Взаимодействие железа с раствором медного купороса

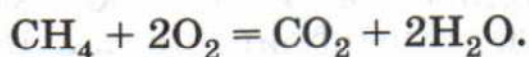
Заполните пробирку примерно на одну треть раствором медного купороса. Обратите внимание на цвет раствора. Опустите в пробирку железный гвоздь. Что происходит? Как изменяется цвет раствора? Чем покрывается поверхность гвоздя? Напишите уравнение реакции. К какому типу она относится?

Реакциями обмена называют взаимодействие между двумя сложными веществами, при котором они обмениваются атомами или группами атомов. При действии на сульфид железа соляной кислоты выделяется сероводород H_2S — ядовитый газ с неприятным запахом тухлых яиц:



Подробнее с реакциями обмена вы познакомитесь позднее.

Многие химические реакции нельзя отнести ни к одному из перечисленных четырёх типов. Примером может служить реакция горения метана:



Единой классификации химических реакций не существует.

Вопросы и задания

1. На какие четыре типа подразделяют химические реакции?
2. Может ли простое вещество образоваться в результате реакции: а) соединения; б) разложения; в) замещения; г) обмена? Ответ поясните.

3. Из схем реакций, приведённых в задании 9 (см. с. 45), выпишите отдельно схемы реакций: а) соединения; б) разложения; в) замещения; г) обмена; д) не относящихся ни к одному из четырёх типов.
4. Расставьте коэффициенты в схемах следующих реакций и определите типы реакций:
- а) $\text{CaO} + \text{HCl} \longrightarrow \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
 $\text{Na} + \text{I}_2 \longrightarrow \text{NaI}$;
 $\text{Zn} + \text{CuSO}_4 \longrightarrow \text{Cu} + \text{ZnSO}_4$;
 $\text{Ba} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{BaO}$;
 $\text{Mg} + \text{N}_2 \longrightarrow \text{Mg}_3\text{N}_2$;
- б) $\text{AgNO}_3 \longrightarrow \text{Ag} + \text{NO}_2 + \text{O}_2$;
 $\text{AgF} + \text{Na}_2\text{S} \longrightarrow \text{Ag}_2\text{S} + \text{NaF}$;
 $\text{HgO} \longrightarrow \text{Hg} + \text{O}_2$;
 $\text{MnO} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{Mn}_3\text{O}_4$;
 $\text{Cu} + \text{O}_2 \longrightarrow \text{CuO}$.
5. Под действием электрического тока вода разлагается на водород и кислород. Напишите уравнение этой реакции. К какому типу она относится?
6. Напишите уравнение реакции получения сульфида железа FeS из простых веществ. К какому типу она относится?
- *7. Под действием света бромид серебра AgBr, входящий в состав фотоэмульсии, разлагается на серебро и бром Br₂. Напишите уравнение этой реакции. К какому типу она относится?

Самое важное в главе 1

Все тела состоят из веществ. Вещества встречаются в природе как в индивидуальном виде, так и в составе смесей. В отличие от чистых веществ, смеси не имеют определённого состава и не могут быть описаны химической формулой. Как правило, смесь плавится или кипит в интервале температур. Свойства веществ в смеси сохраняются. Различают однородные и неоднородные смеси. Однородные смеси — растворы — разделяют выпариванием, а неоднородные — фильтрованием и отстаиванием.

Каждое вещество может находиться в трёх агрегатных состояниях — твёрдом, жидком, газообразном. Качественный и количественный состав вещества записывают в виде химической формулы, состоящей из символов химических элементов и индексов, указывающих число атомов каждого элемента.

Изменения, происходящие с веществами и телами, называют явлениями. При физических явлениях

изменяется лишь форма тела или агрегатное состояние вещества, а состав вещества остаётся неизменным. Химические явления, или химические реакции, сопровождаются превращением одних веществ в другие, обладающие новыми свойствами. О протекании реакций судят по выделению или поглощению энергии, изменению окраски, образованию осадка, выделению газа, появлению запаха. Вещества реагируют между собой в определённом массовом отношении.

В результате химической реакции общая масса веществ остаётся неизменной (закон сохранения массы веществ). Химические реакции записывают в виде уравнений. Простейшие химические реакции разделяют на четыре типа: реакции соединения, разложения, замещения и обмена.

Материальный мир состоит из атомов. Атом — это мельчайшая, химически неделимая частица вещества. Атомы определённого вида называют химическим элементом. Простые вещества состоят из атомов одного вида, а сложные — нескольких видов. В веществах атомы либо объединены в молекулы, либо связаны друг с другом в бесконечные слои и каркасы.

Молекула — мельчайшая частица вещества, обладающая его химическими свойствами и состоящая из атомов, объединённых в одно целое химическими связями. Состав веществ, состоящих из молекул, постоянен и не зависит от способа получения вещества (закон постоянства состава).

Относительные массы атомов (A_r) и молекул (M_r) показывают, во сколько раз данная частица тяжелее $\frac{1}{12}$ части атома углерода. Относительную молекулярную массу соединения подсчитывают как сумму относительных атомных масс образующих его химических элементов, учитывая число атомов каждого из них. Массовая доля (w) химического элемента в веществе показывает, какая часть относительной молекулярной массы приходится на данный элемент. Сумма массовых долей всех химических элементов в соединении равна 1 (100%).

Химия — это наука о веществах, их свойствах и взаимных превращениях.