

1. Вещество

Тела и вещества

Из чего состоит мир вокруг нас? Из предметов, которые по-научному называются телами.

А из чего состоят тела? Из веществ. Вещество – материал для тела. Тело имеет форму. Вещество само по себе определенной формы не имеет, но оно существует в виде тела: из железа можно сделать гвоздь или решетку, железо может быть куском, или стружкой, или каплей расплавленного металла, все равно это – железо.

В жизни редко встречаются абсолютно чистые вещества. Чаще всего вещества присутствуют в смеси с другими веществами. Инструменты делают, как правило, не из чистых металлов, а из сплавов. Воздух – смесь разных газов. В воде находятся растворенные соли и газы – компоненты воздуха. Хорошо это или плохо?

Примеси других веществ, загрязняющих основное вещество, могут быть очень нежелательны: например, примеси твердых веществ в бензине, способные испортить двигатель, или ядовитые отходы, попавшие в питьевую воду. Для их удаления приходится затрачивать массу усилий.

Однако не менее часто введение примесей улучшает свойства веществ. Так, легируя сталь (добавляя небольшие примеси других металлов), получают сорта стали со специальными свойствами, например, нержавеющей сталь. Чистую воду пить (по крайней мере регулярно) нельзя, т.к. человеку необходимо получать вместе с водой минеральные вещества. Рыба не может жить в воде без кислорода.

Итак, в природе практически нет чистых (индивидуальных) веществ. Но мы будем изучать чистые вещества. Начинать надо с простого, а смесь – более сложная система.

Свойства веществ

Каждое вещество имеет характерные для него свойства. Т.е. свойства – это признаки веществ. По каким свойствам (признакам) различаются вещества?

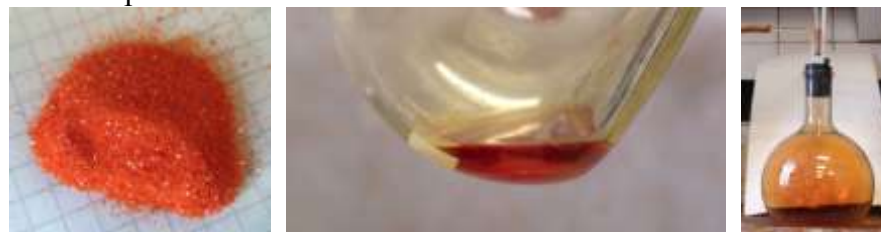
Свойства веществ:

1. Цвет



Сульфат кобальта, оксид хрома (III), хлорид никеля

2. Агрегатное состояние



Твердый дихромат калия, жидкий хлорид серы, газообразный оксид азота (IV)

3. Запах

Как различить бесцветные жидкости – воду и спирт? Ответ прост: понюхать.

Запах – не слишком удобный для исследователя признак вещества. Во-первых, его трудно описать словами, в отличие от цвета и состояния. Во-вторых, девушка на фото явно не выражает удовольствия от того, что определила присутствие какого-то вещества по запаху. В-третьих, вдыхать газы и пары может быть не только неприятно, но и опасно для здоровья и даже жизни. Тем не менее, если уж мы чувствуем запах, грех не воспользоваться этим для описания вещества.



4. Вкус

Это, конечно, неотъемлемое свойство вещества, но то, что безопасно при работе руками, может быть ядовитым при употреблении внутрь. Даже поваренная соль ядовита, если съесть много и сразу. А попробуйте различить на вкус серную кислоту и скипидар! Вкус как признак используют разве что для веществ, применяющихся в кулинарии: сахара, поваренной соли, питьевой соды и т.п.

Никогда не пробуйте химические вещества на вкус!

5. Плотность

Это понятие обычно выражается парой антонимов: легкое/тяжелое. Пенопласт легкий, ртуть тяжелая. Традиционно сравнивают плотность веществ с плотностью воды. Вода – самая распространенная жидкость на Земле, и часто жизненно важно было понять, будет ли предмет из данного вещества плавать по воде или утонет.

Очевидно, что одно и то же вещество в разных агрегатных состояниях имеет разную плотность. Обычно плотность жидкости меньше плотности твердого вещества, а плотность газа еще меньше. Тем не менее есть исключения: например, лед легче воды, благодаря чему водоемы зимой замерзают лишь с поверхности, а подо льдом в жидкой воде продолжается жизнь.

6. Отношение к воде

То, как ведет себя вещество в воде, очень важно. Почему? Причина та же, что и в предыдущем пункте. Для всего, что находится на Земле, шанс вступить в контакт с водой весьма высок. А значит, необходимо знать, каковы будут последствия.

Как вещество может относиться к воде?

А) вещество растворяется.

Добавим воду к сульфату никеля, размешаем стеклянной палочкой. Жидкость постепенно приобретает зеленый цвет сульфата никеля. Мельчайшие частички сульфата никеля проникают между частичками воды, и образуется однородная смесь – водный раствор сульфата никеля.



Твердый сульфат никеля и раствор сульфата никеля

Добавим воду к сульфату калия, размешаем. Раствор неокрашен, как и исходное вещество (твердое вещество белое, раствор бесцветен). Как же понять, что в этом растворе находится сульфат калия? Нагреем раствор. Вода испарится, и останется исходное твердое вещество – сульфат калия.

Б) вещество не растворяется.

Добавим воду к бензину, перемешаем и оставим на некоторое время. Бензин не растворяется в воде, в сосуде видны два несмешивающихся слоя и четкая граница между ними. В этом отличие бензина, например, от растворимого спирта: если добавить воду к спирту, жидкости полностью смешаются, и никакой границы раздела не будет.

Добавим воду к сульфату бария (это вещество знакомо тем, кто проходил рентгеновское исследование пищеварительного тракта: кашу из сульфата бария съедают перед процедурой, и набитые этим «лакомством» органы становятся хорошо видны в рентгеновских лучах). Вода мутнеет. Возникает искушение сказать, что сульфат бария растворяется... Но что такое муть? Раствор всегда прозрачен (раствор сульфата никеля окрашен, но прозрачен!). Муть – это взвесь твердых, нерастворенных частиц в жидкости. Когда муть отстоится и уляжется на дно, станет видно, что сульфат бария не растворился.

В) вещество взаимодействует (реагирует) с водой.

В стакан с водой опустим кусочек кальция. Выделяются пузырьки, т.е. образуется газ – другое вещество. Кусочек кальция уменьшается и в конце концов исчезает.

Что будет, если нагреть полученный раствор? Кальция мы не увидим, после испарения воды останется другое твердое вещество – белого цвета. Кальций и вода провзаимодействовали (прореагировали) и превратились в два других вещества – газообразное и твердое (а именно, в водород и гидроксид кальция).

Плотность

Оценка «легче/тяжелее» не слишком информативна. Вдруг вам понадобится сравнить плотность свинца не с водой, а, скажем, с магнием? Нужно уметь определять точное значение плотности.

Что значит: одно вещество тяжелее другого? Одинаковые куски дерева и железа весят по-разному: железо тяжелее. А что значит «одинаковые куски»? Одинаковые куски – это одинаковые объемы. При одинаковом объеме чем больше масса, тем больше плотность.

1 кг железа занимает объем килограммовой гири на рынке. 1 кг дерева – это гораздо больше по объему. При одинаковой массе чем меньше объем, тем больше плотность.

Есть формула, связывающая плотность с массой и объемом:

$$\text{плотность} = \text{масса} : \text{объем} \text{ [г/мл]}$$

Плотность тем больше, чем больше масса и чем меньше объем, который эта масса занимает.

Чтобы вычислить плотность, надо измерить массу и объем.

Наверняка эта формула известна вам из курса физики. Но в физике любят использовать единицы СИ, размерность плотности в которых составляют $[\text{кг}/\text{м}^3]$. Какие единицы использовать – не принципиально, если аккуратно их указывать. Хоть $[\text{т}/\text{см.год}^3]$! Однако химики предпочитают те единицы, с которыми удобно работать. В единицах $[\text{г}/\text{мл}]$ плотность воды равна 1, и это, конечно же, гораздо удобнее и нагляднее, чем любезные физикам $1000 \text{ кг}/\text{м}^3$. Впрочем, у физиков свои резоны, и не будем их критиковать...

Формулы

Химическая формула вещества – условная запись, которая несет информацию о данном веществе. В основе вещества лежат атомы, соединенные между собой определенным образом в определенном соотношении. Наиболее распространенные типы формул:

Простейшая формула выражает соотношение между атомами.

Например, в поваренной соли на 1 атом натрия приходится 1 атом хлора. Формула поваренной соли (хлорида натрия) – NaCl. В изооктане (эталон бензина) на каждые 4 атома углерода приходится 9 атомов водорода. Простейшая формула изооктана – C_4H_9 .

Обратите внимание: количество атомов определенного вида в формуле обозначается **индексом** – маленькими цифрами правее символа соответствующего атома, чуть опущенными по сравнению с основной строкой.

Брутто-формула, она же **молекулярная формула** – для веществ, в которых атомы связаны в молекулы, выражает реальные количества атомов в молекуле.

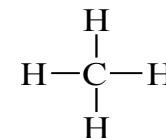
Например, в молекуле кислорода 2 атома, молекулярная формула кислорода O_2 . В молекуле изооктана 8 атомов углерода и 18 атомов водорода, молекулярная формула изооктана – C_8H_{18} .

Брутто-формула может совпадать с простейшей формулой. Например, молекулярная формула метана (основного компонента

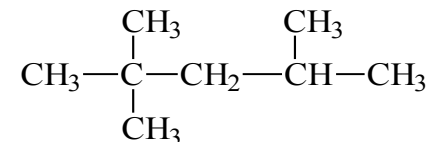
природного газа) – CH_4 . Очевидно, что простейшая формула метана такая же (на 1 атом углерода приходится 4 атома водорода).

Брутто-формулы веществ, в которых атомы не связаны в молекулы, чаще всего совпадают с простейшими формулами. Так, NaCl – формула поваренной соли (и простейшая, и брутто). (Однако у персульфата калия $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ простейшая формула отличается: KSO_4).

Структурная формула, она же **графическая формула** – показывает, в какой последовательности атомы связаны друг с другом, а также отражает кратности связей (простая, двойная, тройная). Структурная формула метана:



Структурная формула изооктана:



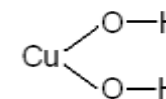
Обратите внимание: в структурной формуле могут не отражаться связи между *всеми* атомами. Часто изображаются лишь те связи, от расположения которых зависит структура молекулы.

Структурная формула кислорода:



Обратите внимание: двойная связь изображена двумя черточками. Тройная связь изображается тремя черточками.

Строго говоря, структурные формулы корректно изображать только для веществ молекулярного строения. Ведь если атомы не объединены в молекулу, то не существует и определенной последовательности связей между ними. Однако иногда в учебниках возникают «монстры» типа:



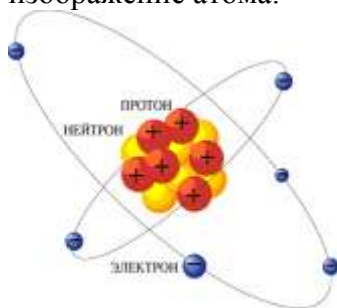
В гидроксиде меди (II) нет молекул, это вещество состоит из ионов Cu^{2+} и OH^- , упакованных в кристалле. Но пусть такие

«монстры» вас не смущают: возможно, автор учебника просто хотел выразить подобным изображением, что атом меди в этом веществе двухвалентен.

Элементы

Атом состоит из ядра и электронов, а ядро, в свою очередь – из протонов и нейтронов. Число протонов в ядре определяет его заряд. Число электронов в нейтральном атоме равно числу протонов.

Схематическое изображение атома:



Вид атомов с определенным зарядом ядра называется химическим элементом. Именно символы элементов – С, Na, H и т.п. – мы используем в химических формулах.

Элементы расположены в периодической таблице Д.И. Менделеева в соответствии с увеличением заряда ядра. Правда, сам Менделеев располагал их по увеличению атомных масс (про детали строения атома он еще не знал). Масса атома (в специальных атомных единицах массы – а.е.м.) примерно равна сумме чисел протонов и нейтронов (**массовому числу**). То есть с ростом заряда ядра в целом растет и масса атома.

НО! Число нейтронов в атомах с одинаковым числом протонов может быть различным. А значит, атомы одного элемента могут иметь разную массу (такие атомы называют **изотопами**). Если атом с меньшим зарядом ядра содержит на 2 нейтрона больше, чем атом зарядом ядра на единицу выше, то масса первого будет выше, чем второго! Менделеев столкнулся с подобными казусами: так, средняя масса встречающихся на Земле атомов аргона (говорят: средняя, или средневзвешенная атомная масса) 40 а.е.м., а калия – 39 а.е.м., хотя заряд ядра аргона 18, а калия 19. Волевым решением Менделеев поставил в своей таблице не аргон после калия, а калий после аргона –

так, чтобы их химические свойства соответствовали периодическому изменению свойств элементов в таблице. Сейчас-то мы знаем, что химические свойства атомов зависят от числа электронов, а следовательно, именно от заряда ядра.

Рассмотрим клетку периодической таблицы:



В ней находится символ элемента и его главные характеристики:

- 1) атомный номер, равный заряду ядра,
- 2) средняя атомная масса в а.е.м.

Как определяют формулы веществ

На веществе не написано, что это «H₂O» или «C₂H₅OH» (то есть, на банке с веществом обычно есть надпись, но ее сделали люди). Как ученые узнают состав вещества, в том числе количества входящих в него атомов? На основании элементного анализа.

Элементный анализ может быть различным. Сейчас развито множество физических, в том числе неразрушающих методов исследования веществ. Раньше, когда закладывались основы химии, делать выводы о составе и даже о строении вещества можно было только по химическим реакциям – как по тем, в которые вступает вещество, так и по тем, в которых оно образуется.

Например, то, что в состав воды входят 2 атома водорода и 1 атом кислорода, было установлено, когда заметили, что для получения воды на 1 л кислорода расходуется 2 л водорода.

Состав органических веществ и некоторых неорганических можно установить, сжигая их и выборочно поглощая продукты сгорания. Например, при сгорании в кислороде этилового спирта выделяется вода и углекислый газ. Слякки с веществами,

поглощающими из газовой смеси пары воды и углекислый газ, взвешивают до и после проведения опыта, разность масс составляет массу поглощенного вещества.

Расчеты через а.е.м. и числа атомов оказываются довольно громоздкими. Почему? Да потому что даже в очень маленькой порции вещества очень много атомов! Для удобства химики измеряют количества атомов, молекул, электронов и т.п. не в штуках, а в молях.

$$1 \text{ моль} = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ штук.}$$

В этом нет ничего сверхъестественного – в магазинах, например, привыкли мерить яйца десятками. Раньше часто использовали дюжины.

Почему химики остановились на странном числе $6,02 \cdot 10^{23}$ (кстати, оно называется числом Авогадро)? Ведь можно было считать 1 моль = $1 \cdot 10^{23}$ штук или 1 моль = $1 \cdot 10^{20}$ штук. Ответ прост: потому что использование именно числа Авогадро приводит к тому, что **масса 1 моля в граммах оказывается численно равна массе 1 атома или другой частицы в а.е.м.**

Массу 1 моля называют **молярной массой** и обозначают **M**. Она имеет размерность **г/моль**.

Количество вещества, выраженное в молях, обозначают **v** (буква «ню») или **n**.

Разбор задач

1. Было выяснено, что при сгорании 46 г спирта образуется 88 г углекислого газа CO_2 и 54 г воды H_2O . Установите формулу спирта.

Так как больше ничего не образовалось, то можно утверждать, что в спирт входят только атомы углерода, водорода и, возможно, кислорода. То есть предполагаемая формула $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$.

Молярная масса CO_2 составляет 44 г/моль. Значит, количество образовавшегося углекислого газа:

$$v(\text{CO}_2) = \frac{88\text{г}}{44\text{г/моль}} = 2 \text{ моля.}$$

Значит, количество атомов углерода в исходной порции вещества было таким же: $v(\text{C}) = 2$ моля. Их масса равна

$$m(\text{C}) = v(\text{C}) \cdot M(\text{C}) = 2 \text{ моля} \cdot 12 \text{ г/моль} = 24 \text{ г.}$$

Молярная масса воды составляет 18 г/моль. Значит, количество образовавшейся воды:

$$v(\text{H}_2\text{O}) = \frac{54\text{г}}{18\text{г/моль}} = 3 \text{ моля.}$$

Но в 1 молекуле воды 2 атома водорода, значит, количество атомов водорода в исходной порции вещества было в 2 раза больше, т.е. $v(\text{H}) = 6$ молей. Их масса равна

$$m(\text{H}) = 6 \text{ молей} \cdot 1 \text{ г/моль} = 6 \text{ г.}$$

Разница между массой вещества и суммой масс водорода и углерода приходится на массу атомов кислорода:

$$m(\text{O}) = 46 - m(\text{C}) - m(\text{H}) = 46 - 24 - 6 = 16 \text{ г.}$$

Найдем количество атомов кислорода:

$$v(\text{O}) = \frac{16\text{г}}{16\text{г/моль}} = 1 \text{ моль.}$$

Индексы показывают соотношение между количеством атомов:

$$x:y:z = v(\text{C}):v(\text{H}):v(\text{O}) = 2:6:1.$$

Формула $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$.

2. Водород и кремний соединяются в массовом отношении 1:7.

Определите формулу этого соединения.

Запишем формулу соединения в общем виде: Si_xH_y .

Пусть взято 1 г водорода и 7 г кремния. Найдем количества водорода и кремния и приравняем их к индексам:

$$\begin{aligned} x : y &= v(\text{H}) : v(\text{Si}) = m(\text{H})/M(\text{H}) : m(\text{Si})/M(\text{Si}) = \\ &= 1/1 : 7/28 = 1 : 0,25 = 4 : 1. \end{aligned}$$

Формула SiH_4 – силан.