

ОСНОВЫ ХИМИИ



Dmitri Mendeleev · 1903

Иллюстрированные аудиолекции

Lecturized

ОСНОВЫ ХИМИИ

Иллюстрированные аудиолекции

Dmitri Mendeleev · 1903

Пересказано в иллюстрированных лекциях Lecturized

lecturized.com

По оригиналу: Д. И. Менделеев, Основы химии, 7-е изд. (С.-Петербург, 1903)

Содержание

Куда девается дерево?

Что замечают весы

Соль, серебро и ошибка алхимиков

Двенадцать дней со ртутью

Простые тела и буквы химии

Элементы, а не составные части

Перекличка элементов и сила, которая их связывает

Запасённая энергия, постоянные рецепты и дороги в обе стороны

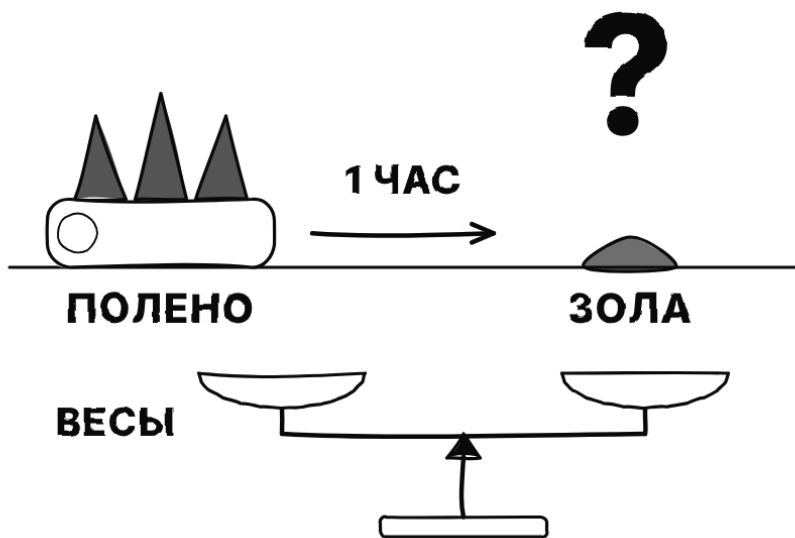
Теплота, работа и температурное окно

Незавершённые разложения и сила тока

Свет, удары, время и соприкосновение

Куда девается дерево?

Представьте полено в камине зимним вечером. Через час от него остаётся лишь маленькая кучка серой золы, которая уместится на ладони. Куда же делось остальное дерево? Тысячи лет честный ответ казался таким: оно просто исчезло, огонь уничтожает вещество. Книга, которую вы читаете, начинается с того, что показывает: этот ответ неверен, а доказать это можно весами.

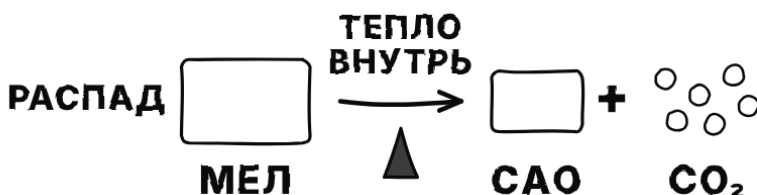
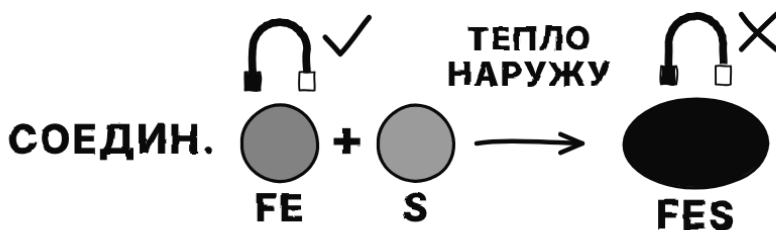


Куда девается дерево?

Менделеев начинает с определения. Химия, говорит он, изучает однородные вещества, из которых сложены все тела мира, их

превращения друг в друга и явления, которые сопровождают эти превращения. Однородное вещество — то, что всюду одинаково, как чистая вода, чистое железо или чистый сахар. Он добавляет, что химия стала отдельной наукой потому, что людям пришлось признать силы нового рода. Кроме тяготения, сцепления, теплоты, света и электричества, в мельчайших частях всякого вещества действуют внутренние силы. В обычной жизни эти силы скрыты и проявляются только тогда, когда одно вещество превращается в другое. Такое превращение называется химической реакцией. Реакция идёт только при самом тесном соприкосновении веществ, и управляют ею силы их мельчайших невидимых частиц, которые Менделеев называет частицами, или молекулами.

Затем он делит реакции на три главных вида. Первый — соединение: два вещества, а вообще несколько, дают меньшее число веществ, проще всего одно. Его пример — железо и сера. Смешайте железные опилки с жёлтым порошком серы, и получится лишь механическая смесь: магнит вытянет железо, а маслянистая жидкость смочет серу. Нагрейте смесь, и появится новое вещество, сернистое железо, в котором никакой микроскоп не найдёт ни крупинки железа, ни крупинки серы. Оба вещества полностью вошли друг в друга, и их уже нельзя ни различить, ни разобрать. Соединение обычно идёт с выделением тепла. Обычное горение — реакция именно такого рода: топливо соединяется с одной частью воздуха, кислородом, и образует газы и пары пламени и дыма. Газовое пламя на вашей кухонной плите — соединение прямо у вас на глазах: топливо соединяется с кислородом и даёт тепло, от которого закипает чайник.

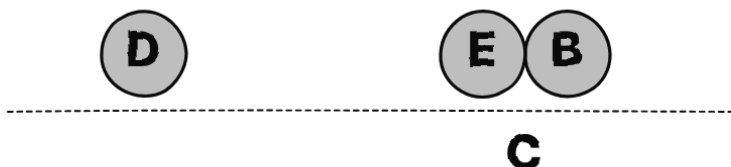
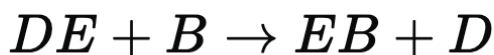


Соединение и разложение

Второй вид — разложение, обратный случай. Здесь одно вещество даёт два или больше. Сильно нагрейте дерево без доступа воздуха, и оно распадётся на горючий газ, водянистую жидкость, дёготь и уголь; так на заводах когда-то и получали дёготь, светильный газ и древесный уголь. Нагрейте известняк, мел или мрамор, и останется известь, а уйдёт газ, который Менделеев называет углекислым газом, как и мы. Зелёное медное соединение минерала малахита делает то же самое при гораздо меньшем жаре, таком слабом, что тонкая стеклянная трубка его выдерживает; этот случай он обещает сейчас разобрать подробно. И если соединение обычно выделяет тепло, то разложение обычно его поглощает.

Третий вид требует формулы, и на нём стоит задержаться. Здесь веществ входит столько же, сколько выходит: два дают два.

Менделеев записывает это буквами. Возьмём два тела, А и В, и пусть они дают два других, С и D. Представим, что А на самом деле состоит из двух частей, D и E, так что А можно записать как $A = DE$. Теперь пусть А распадётся на D и E, а E соединится с В и даст С, так что $C = EB$. В одну строку реакция записывается так: $DE + B \rightarrow EB + D$. Словами: часть E перешла от одного партнёра к другому, а D осталась одна. Это похоже на танец, где один танцор меняет партнёра: никто новый в зал не вошёл и никто не ушёл, но пары в конце другие. Значит, третий вид — это разложение и соединение одновременно, и Менделеев называет такие реакции замещениями, а когда два вещества дают два новых — обменом, или двойным разложением.

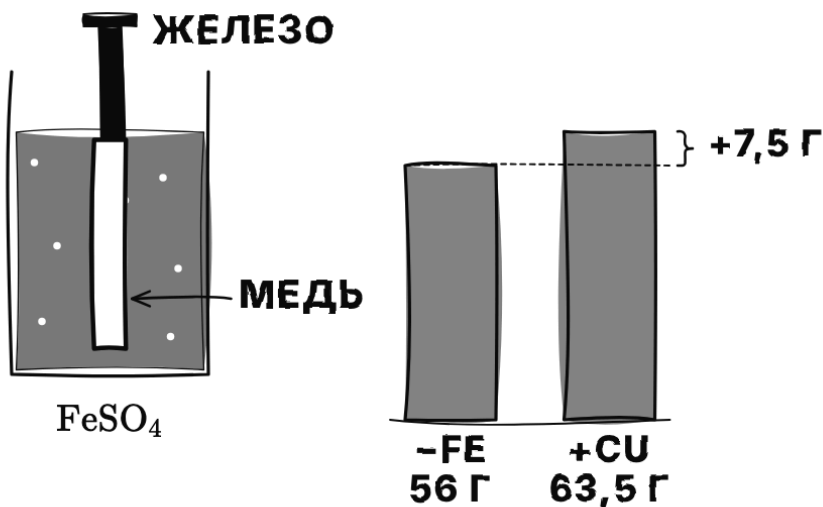
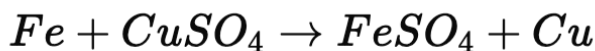


ВСЕ НА МЕСТЕ

Смена партнёров

Его пример можно почти увидеть. Растворите в воде синий купорос, то есть медный купорос, получится прозрачная синяя жидкость, и опустите в неё железный гвоздь. Через некоторое время гвоздь покроется красной медью, а в жидкости окажется зелёный купорос, железный, который отличается от синего только тем, что место меди заняло железо. В современной записи реакция такова: $\text{Fe} + \text{CuSO}_4 \rightarrow \text{FeSO}_4 + \text{Cu}$. Сопоставим с буквами: В — это железо, Fe; А — медный купорос, значит, D — медь, Cu, а E — сульфатная часть, SO_4 ; а C, сульфат, соединившийся с железом, — это железный купорос. Небольшой расчёт показывает, что в этом танце не теряется ни один танцор. В современных единицах 56 граммов железа занимают место 63,5 грамма меди, так что если растворится 56 граммов железа,

то из раствора на гвоздь выйдет 63,5 грамма меди. Гвоздь станет тяжелее на разницу, 7,5 грамма, а раствор ровно на столько же легче. Менделеев замечает, что так железо покрывают медью, а медь серебром, и что такие реакции применяются постоянно. Гальваника в современной мастерской, где тусклый металлический предмет выходит из ванны с блестящим покрытием, держится на той же смене партнёров.

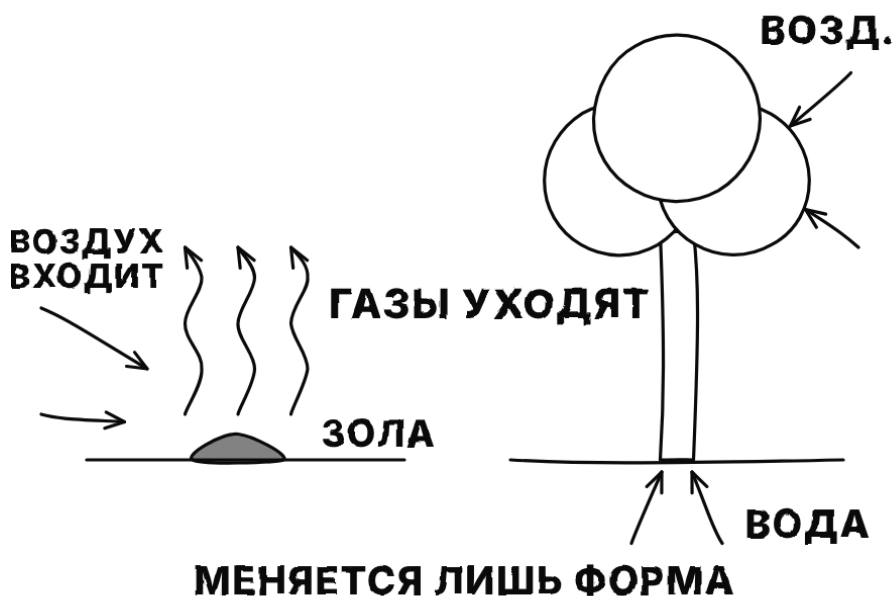


Железо занимает место меди

Почему же химия появилась так поздно, если люди тысячи лет плавили металлы, пекли хлеб и варили пиво? Менделеев называет две причины. Первая — сложность: большинство реакций в природе и на заводах — это множество соединений, разложений и замещений сразу, так что никто не мог их ни

предсказать, ни направить. Вторая — газы, прежде всего воздух. Лишь в шестнадцатом и семнадцатом веках поняли, что воздух весом, а газ — это состояние вещества, упругое и расходящееся во все стороны. До того газы ускользали из любого подсчёта, потому что их не видно.

И это возвращает нас к камину. Дерево сгорает и оставляет немного золы, и кажется, что вещество исчезает. Крошечное семя вырастает в огромное дерево, и кажется, что вещество берётся из ничего. Оба впечатления происходят от одной ошибки: о невидимых газах забыли. Сгорая, дерево превращается в газы, которые уходят с дымом. Соберите этот дым, и вы найдёте газы, совсем не похожие на воздух: в них гаснет свеча и не может дышать животное. Взвесьте их, и вас ждёт неожиданность: они весят больше, чем весило дерево. Лишний вес — это часть воздуха, которую забрало горящее дерево, так же как железо тяжелеет, ржавея. Порох тоже не исчезает: он превращается в пороховые газы и дым. А дерево строит себя из газов, взятых из воздуха, вместе с водой и растворёнными веществами, которые поднимают корни; поместите растение в газ без питательной части воздуха, и оно не растёт, а гибнет. Вода, высохшая с мокрой ткани, возвращается дождём, росой и снегом, а вода, ушедшая в землю, выходит снова родниками.

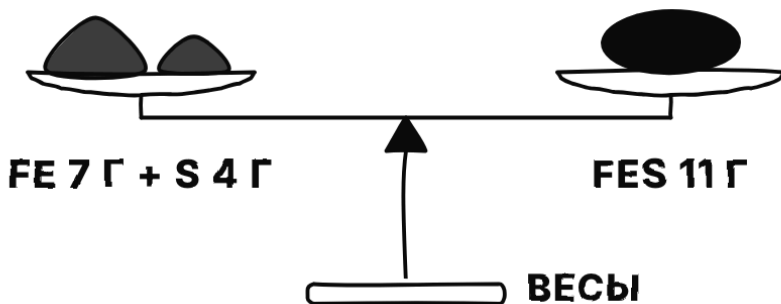


Невидимые газы

Вывод Менделеев делает одной фразой, которую стоит привести. Вещество при всех своих физических и химических изменениях «только изменяет своё место и форму, но не теряется и не создаётся». Об этом догадывались некоторые греческие философы, а в семнадцатом веке и Мариотт, но никто не высказал этого ясно и не воспользовался этим. Доказал это во второй половине восемнадцатого века Антуан Лавуазье, французский академик, служивший также откупщиком, то есть собиравший налоги для короны, — его Менделеев называет основателем современной химии. Его инструментом были весы — единственный, как говорит Менделеев, прибор, который прямо и точно измеряет количество вещества. Лавуазье взвешивал всё, что входило в опыт, даже сосуды, и всё, что из

него выходило. Каждый раз общий вес после реакции был равен общему весу до неё.

$$7 + 4 = 11$$



$$A + B + C + \dots = M + N + O + \dots$$

Что вошло, то и вышло

Вот этот закон в виде формулы, которую Менделеев сейчас запишет. Обозначим веса взятых веществ А, В, С и так далее, а веса полученных веществ М, N, О и так далее. Тогда $A + B + C + \dots = M + N + O + \dots$. Словами: слева всё, что вы положили, справа всё, что получили, и они равны. Это как бухгалтерия: ни одна статья не может появиться в книгах или исчезнуть из них без записи, поэтому итоги обязаны сойтись. Возьмём прежние железо и серу и посчитаем вслух. Семь граммов железа, нагретые с четырьмя граммами серы, при полном соединении дают одиннадцать граммов сернистого железа, потому что $7 + 4 = 11$.

Если бы после опыта вы взвесили десять граммов, вы не решили бы, что грамм исчез; вы стали бы искать, что улетучилось или что вы не собрали. Чтобы это почувствовать, хватит кухонных весов: взвесьте закрытую банку с содой и уксусом внутри до и после того, как они вспенятся, и показание не изменится, потому что газ остаётся в банке.

Менделеев осторожен в словах. «Вещество вечно» и «масса сохраняется» — короткие фразы, и в них заключена гипотеза. То, что действительно наблюдалось, длиннее и скромнее: ни в одном опыте и ни в одном изученном процессе природы вес продуктов не оказывался ни больше, ни меньше веса исходных веществ в пределах точности взвешивания. А так как вес пропорционален массе, количеству вещества, это значит, что никто никогда не видел, чтобы вещество исчезало или появлялось вновь. Этот закон и даёт химии её точность: он позволяет написать уравнение для каждой реакции и проверить его на весах.

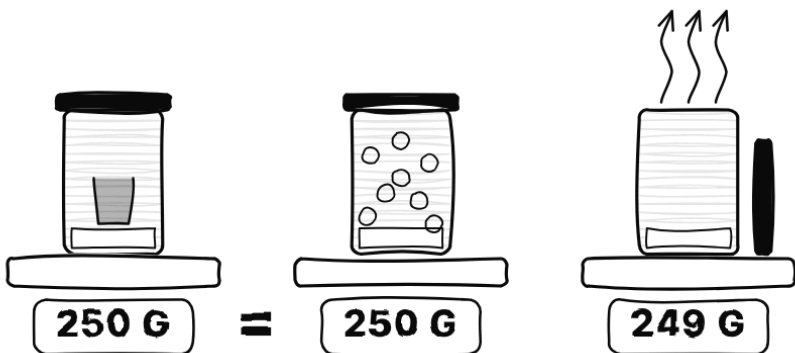
Опыт

Возьмите маленькую стеклянную банку с винтовой крышкой, насыпьте в неё ложку соды и поставьте внутрь крошечную чашечку с уксусом, чтобы они пока не соприкасались. Плотнo закройте крышку и взвесьте всю банку на кухонных весах. Теперь наклоните банку, чтобы уксус вылился на соду, и посмотрите, как она шипит при закрытой крышке. Взвесьте банку снова: показание то же, что и раньше. Потом откройте крышку, выпустите газ, закройте и взвесьте ещё раз: теперь банка чуть легче, потому что невидимый газ, у которого был вес, ушёл.

ДО

ШИПЕЛО

ОТКРЫТО



Опыт с закрытой банкой

Запомним

Химия изучает однородные вещества и их превращения друг в друга, которыми движут силы, скрытые в их мельчайших частицах. Реакции бывают трёх главных видов: соединение, когда из нескольких веществ получается меньше; разложение, когда из одного получается несколько; и замещение, когда части меняются партнёрами, как железо занимает место меди. Вещество лишь казалось исчезающим в огне или возникающим в растущем дереве, потому что невидимые газы не принимали в расчёт. Лавуазье с помощью весов показал, что общий вес после реакции всегда равен общему весу до неё. Это равенство позволяет химикам писать уравнение для каждой реакции, и на нём стоит химия как точная наука.

Вопросы

1. Почему в буквенной схеме $DE + B \rightarrow EB + D$ это замещение, а не соединение и не разложение?
 - a. Входят два вещества и выходят два, а часть E переходит от D к B
 - b. Входят два вещества и выходит одно, значит, они соединились
 - c. Входит одно вещество и выходят два, значит, оно распалось

- d. Вещества входят и выходят неизменными, только перемешанными
2. Дым от горящего дерева, собранный и взвешенный, оказывается тяжелее дерева. Что из этого следует?
- a. Горение создаёт немного нового вещества
 - b. Зола, видимо, была легче, чем казалось
 - c. Горящее дерево забрало часть воздуха
 - d. Дым плотнее дерева, поэтому всегда весит больше
3. Вы нагреваете взвешенную смесь железа и серы и находите, что продукт весит меньше, чем оба вещества вместе. Что велит сделать закон сохранения?
- a. Решить, что часть вещества уничтожил жар
 - b. Считать потерю обычной для соединений
 - c. Решить, что весы химии не нужны
 - d. Искать то, что улетучилось или не было собрано
4. Почему химия не могла стать точной наукой, пока люди не поняли, что газы имеют вес?
- a. Потому что реакции идут только в газах
 - b. Потому что поглощённые или выделенные газы выпадали из любого подсчёта, и веса никогда не сходились
 - c. Потому что газы нельзя было нагревать в сосудах того времени

Ответы

1. а) Часть Е перешла от одного партнёра к другому, а D осталась одна; это разложение и соединение одновременно, два дают два.

2. с) Лишний вес — это часть воздуха, которую забрало горящее дерево, так же как железо тяжелеет, ржавея.

3. d) Раз общий вес после реакции всегда равен общему весу до неё, недостающий грамм означает, что что-то улетучилось или не попало в подсчёт.

4. b) До шестнадцатого и семнадцатого веков газы ускользали из любого подсчёта, потому что их не видно, и казалось, что вещество исчезает или появляется.

Разобранные примеры

Железо и сера на весах Семь граммов железа нагревают с четырьмя граммами серы, и они полностью соединяются в сернистое железо. Сколько весит сернистое железо?

Запишем закон сохранения: веса взятых веществ в сумме равны весам полученных, $A + B = M$.

Взятые вещества — железо, $A = 7$ граммов, и сера, $B = 4$ грамма.

Соединение полное, значит, единственный продукт — сернистое железо весом M .

Итак, $M = 7 + 4 = 11$ граммов.

Ответ: 11 граммов

Задачи

1. Закрытая банка с содой и маленькой чашечкой уксуса весит 250 граммов. Уксус выливают на соду, он шипит при закрытой крышке; потом крышку открывают, газ выходит, и банка теперь

весит 248 граммов. Сколько весила банка с закрытой крышкой после шипения и сколько газа ушло?

Подсказка: При закрытой крышке ничто не могло уйти, так что примените $A + B + \dots = M + N + \dots$ ко всему, что внутри банки.

Ответ: С закрытой крышкой она по-прежнему весила 250 граммов, потому что ничего не прибавилось и не убавилось. После того как газ ушёл, она весила 248 граммов, значит, ушло $250 - 248 = 2$ грамма газа.

2. Железо, опущенное в медный купорос, даёт медь и железный купорос. По схеме $DE + B \rightarrow EB + D$ скажите, какое вещество играет каждую букву, и объясните, почему эта реакция считается замещением.

Подсказка: B — то, что вы опускаете; D — то, что выходит само по себе.

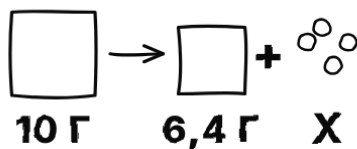
Ответ: B — железо, A, то есть DE, — медный купорос, D — освободившаяся медь, E — оставшаяся часть купороса, а C, то есть EB, — железный купорос. Два вещества дают два новых, и железо просто заняло место меди, поэтому это замещение, или двойное разложение.

Что замечают весы

Оставьте стальную мочалку на ночь во влажной раковине, и утром она будет рыжей от ржавчины. Большинство скажет, что железо разъело, что у него что-то отняли. Теперь положите ту же мочалку на точные весы до и после ржавления. Она стала тяжелее. Что-то прибавилось, а не ubyло, и сказать вам это могли только весы. Лабораторные весы, показывающие тысячные доли грамма, — современный наследник тех весов, о которых эта часть.



$$A + B + C = M + N + O$$



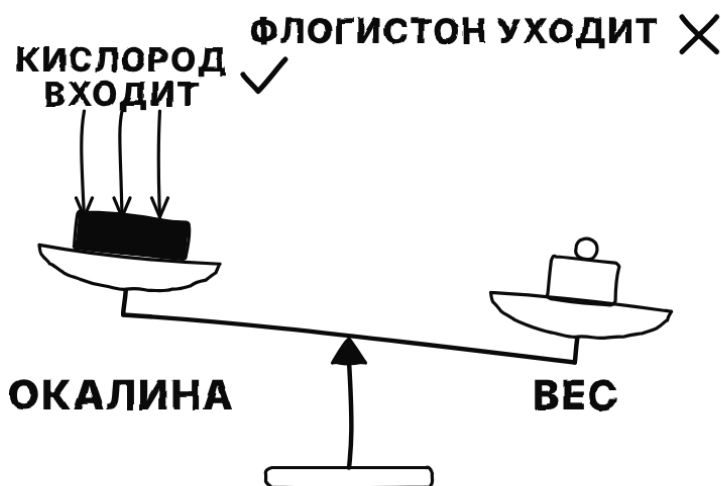
$$10 = 6,4 + X$$

$$X = 3,6 \text{ Г}$$

Весы находят скрытый вес

Менделеев исходит из уравнения прошлой части, закона сохранения, записанного буквами: $A + B + C + \dots = M + N + O + \dots$. Слева стоят веса взятых веществ, справа — веса полученных. Он указывает, что это уравнение даёт химику две вещи. Во-первых, если в нём неизвестен один вес, его можно найти, потому что всё остальное известно, а обе стороны должны быть равны. Во-вторых, это сигнал тревоги: если вы забудете одно из веществ, суммы не сойдутся, и вы сразу это заметите. Вот первое применение в виде расчёта вслух. Пусть вы нагреваете 10 граммов вещества, и от него остаётся 6,4 грамма твёрдого остатка, а газ незаметно уходит. Уравнение гласит: $10 = 6,4 + x$, где x — вес газа. Значит, $x = 10 - 6,4 = 3,6$ грамма. Вы взвесили газ, которого никогда не видели, просто доверившись весам. Менделеев говорит, что начинающий должен вполне освоиться с этой простой истиной, и приводит примеры.

Первый — железо. Железо ржавеет во влажном воздухе, а при сильном нагревании на воздухе покрывается окалиной, тёмной шелушащейся коркой. Ржавчина и окалина — землистые вещества, очень похожие на железные руды, которые добывают из земли, чтобы получить железо. Взвесьте железо до и после, и окажется, что вес его увеличился. Лавуазье показал, откуда берётся лишний вес: из той части воздуха, которая называется кислородом и служит для горения. Доказательство простое: в пустоте или в газах без кислорода, например в водороде или азоте, железо не ржавеет и окалина не даёт. Значит, по закону сохранения, прибавка веса говорит, что окалина сложнее железа и что её образование — соединение: железо + кислород $\rightarrow$ окалина.



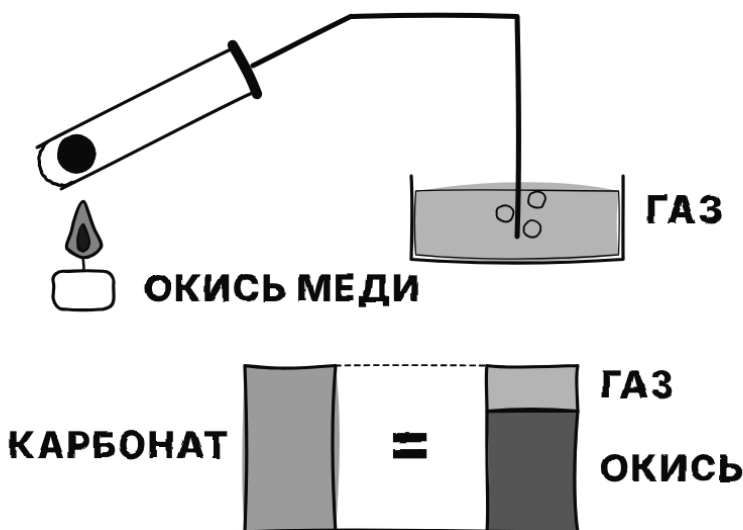
ЖЕЛЕЗО + КИСЛОРОД → ОКАЛИНА

Железо плюс кислород, а не минус флогистон

Без весов, говорит Менделеев, это легко было прочесть наоборот. До Лавуазье химики считали окалину телом более простым, а железо — более сложным. Железо, говорили они, содержит особое невидимое вещество, флогистон, и, превращаясь в окалину, железо теряет свой флогистон. Это объяснение звучит разумно, пока не начнёшь взвешивать: то, что теряет часть, должно становиться легче, а окалина тяжелее. Флогистон был вещество воображаемое, и именно весы показали, что объяснение шло задом наперёд.

Второй пример — зелёное медное соединение, которое Менделеев обещал описать. Углекислая медь продаётся в виде зелёного порошка, и она же содержится в зелёном камне

малахите, который идёт на украшения и служит медной рудой. Нагрейте её, и она превратится в чёрный порошок, окись меди, — ту самую окалину, которая образуется на меди, нагретой на воздухе. На этот раз чёрный порошок весит меньше, чем весил зелёный. Закон сохранения сразу говорит, что это значит: что-то ушло, значит, это разложение. Чтобы поймать ушедшее, закройте нагреваемый сосуд плотной пробкой и проведите через неё изогнутую трубку, дальний конец которой опущен под воду. Пока зелёный порошок темнеет, из трубки сквозь воду идут пузырьки. Соберите этот газ, и горящая лучинка, опущенная в него, гаснет, как будто её опустили в воду. Это углекислый газ, тот же газ, который выделяет известняк при нагревании; сегодня его называют диоксидом углерода. Менделеев подчёркивает, что этот газ прозрачен и бесцветен, как воздух, так что без весов никто и не заподозрил бы его присутствия. А если взвесить и его, то чёрная окись меди вместе с газом составит ровно столько, сколько весил исходный зелёный порошок.



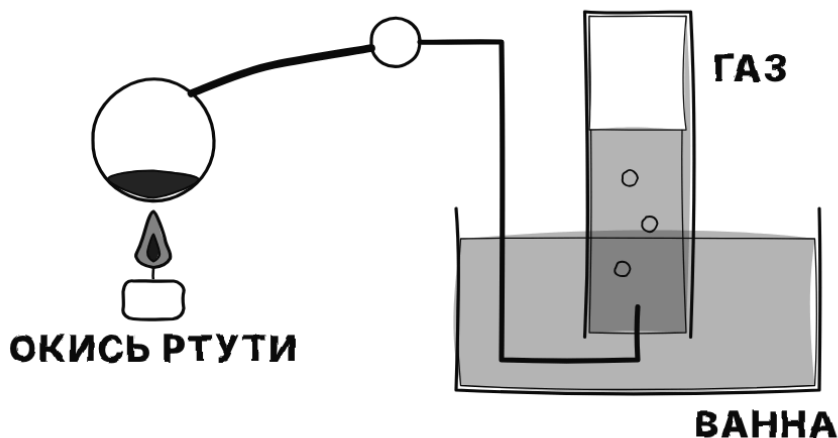
Газ, которого не видит глаз

Опыт

Насыпьте ложку пищевой соды в маленькую жаропрочную баночку и взвесьте её на кухонных весах. Подержите баночку полчаса в несильно нагретой духовке, дайте остыть и взвесьте снова. Баночка стала легче, хотя ничего видимого из неё не ушло. Как и зелёный медный порошок, сода выделила газ и водяной пар, и весы заметили то, чего не увидели глаза.

Третий пример, говорит Менделеев, важнее всех прочих для истории химии. Это красная окись ртути, красный порошок,

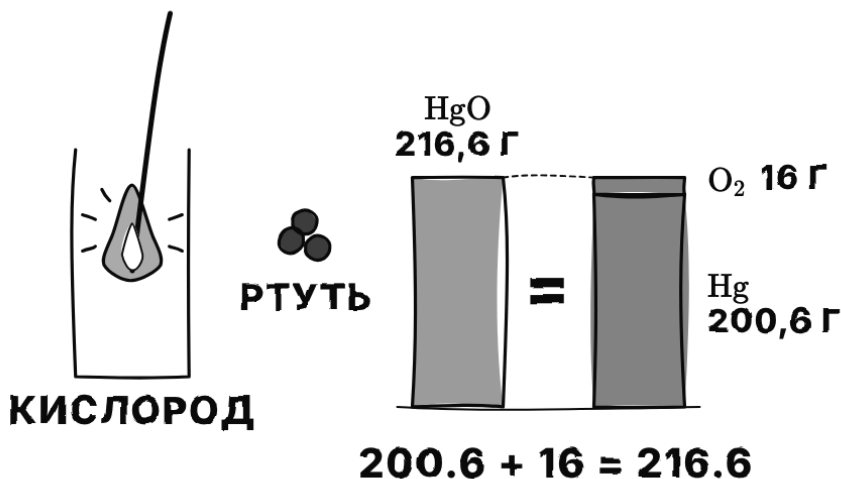
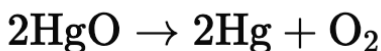
который образуется как окалина ртути, когда ртуть нагревают на воздухе. Представьте прибор, который он рисует. Стеклонная реторта, шар с длинным горлом, держит красный порошок над пламенем. Её горло плотно вставлено через пробку в маленький стеклянный шарик, а с другой стороны шарика вниз идёт трубка, опущенная в сосуд с водой, называемый ванной. У образующегося газа только один выход: через трубку и вверх сквозь воду пузырьками.



Как поймать газ под водой

А теперь хитрость — как поймать газ. Наполните высокий стеклянный цилиндр водой доверху, закройте его отверстие, переверните и погрузите отверстие в воду ванны, прежде чем открыть. Вода остаётся в цилиндре, её держит давление воздуха

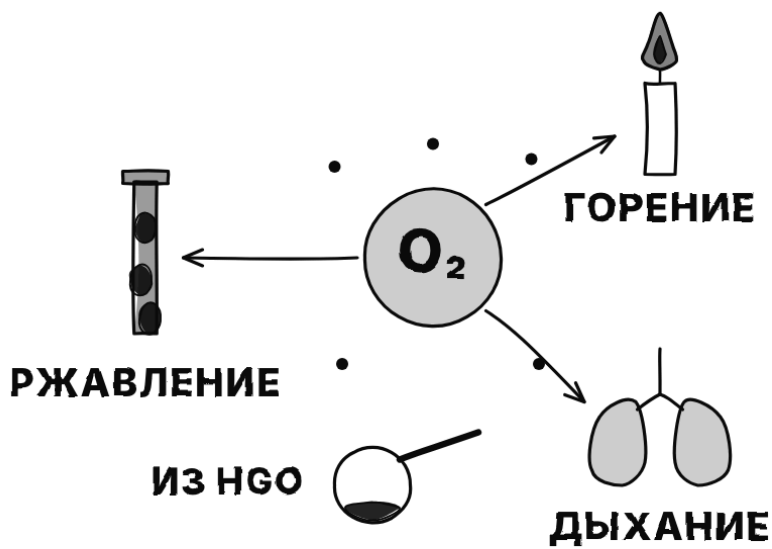
на воду ванны. Поставьте цилиндр над концом трубки, и каждый выходящий пузырёк поднимется в него и вытеснит немного воды. Когда вы нагреваете реторту, сначала выходит обычный воздух, расширяясь от жара, а затем новый газ. Закройте цилиндр под водой, выньте, переверните отверстием вверх и опустите в него тлеющую лучинку, такую, что только едва тлеет. В воздухе такая лучинка тихо гаснет; в этом газе она вспыхивает ярким пламенем. Это кислород, и по вспыхивающей лучинке химики узнают его до сих пор. Одновременно на холодных частях реторты и в шарике появляются блестящие капли металлической ртути, как серебряное зеркало. Итак, один красный порошок дал два новых тела, ртуть и кислород: это разложение.



$$216,6 = 200,6 + 16$$

Положим это на весы с современными числами, в виде расчёта вслух. В современной записи реакция такова: $2\text{HgO} \rightarrow 2\text{Hg} + \text{O}_2$. Словами: красная окись ртути распадается на ртуть и газ кислород. В граммах около 216,6 грамма красной окиси ртути дают около 200,6 грамма ртути и 16 граммов кислорода. Проверим счёт: $200,6 + 16 = 216,6$. Ничто не появилось и ничто не исчезло; кислород просто ушёл туда, куда глаз за ним не последовал.

Почему этот опыт был так важен? Люди до Лавуазье уже умели собирать и изучать газы, но он первым показал, какую роль они играют в реакциях, которые прежде понимали неверно или просто наблюдали. Газ из красной окиси ртути — тот же кислород, что есть в воздухе. Это газ, которым дышат животные, газ, который поддерживает горение, и газ, который превращает металлы в ржавчины и окарины, — химики того времени называли их землями, землистыми веществами вроде руд, из которых получают металлы. Так с помощью одного красного порошка, пламени и весов вся картина ржавления, горения и дыхания стала ясной: каждое из них — соединение с кислородом воздуха.



Один газ за тремя явлениями

Запомним

Закон сохранения позволяет химику найти неизвестный вес и сразу предупреждает, если какое-то вещество не учтено. Железо тяжелеет, когда ржавеет или покрывается окалиной, значит, окалина — это железо, соединённое с кислородом, а не железо, потерявшее флогистон. Зелёная углекислая медь при нагревании легчает, потому что выделяет невидимый углекислый газ, и оба продукта вместе весят столько же, сколько весил порошок. Красная окись ртути при нагревании даёт ртуть и кислород — газ, в котором тлеющая лучинка вспыхивает пламенем. Этот кислород — та часть воздуха, что стоит за горением, дыханием и ржавлением, и открыли его весы.

Вопросы

1. Химик складывает веса до и после реакции, и две суммы не сходятся. Что говорит ему закон сохранения?
 - a. Что эта реакция создаёт или уничтожает немного вещества
 - b. Что одно из взятых или полученных веществ не учтено
 - c. Что весы, должно быть, сломаны и результат можно не принимать во внимание
 - d. Что реакция была соединением, а не разложением

2. Почему опыт в пустоте или в водороде либо азоте важен для понимания ржавчины и окарины?
- a. Потому что там железо ржавеет быстрее, а значит, воздух замедляет ржавление
 - b. Потому что он показывает, что лишний вес берётся из влаги в железе
 - c. Потому что без кислорода воздуха не образуется ни ржавчины, ни окарины, значит, лишний вес даёт кислород
3. Зелёная углекислая медь превращается в чёрную окись меди и весит меньше. Какая это реакция и как вы это узнаете?
- a. Разложение, потому что потеря веса показывает, что что-то ушло
 - b. Соединение, потому что изменился цвет
 - c. Замещение, потому что медь сменила партнёра
 - d. Соединение с кислородом, как с окариной железа
4. Тлеющую лучинку опускают в газ, собранный при нагревании красной окиси ртути. Что происходит и о чём это говорит?
- a. Она гаснет, значит, это углекислый газ
 - b. Она тлеет так же, как в воздухе, значит, это просто расширившийся воздух
 - c. Она становится серебристой, значит, там пары ртути
 - d. Она вспыхивает ярким пламенем, значит, это кислород

Ответы

1. **б)** Уравнение — сигнал тревоги: если забыть одно из веществ, суммы не сойдутся, и это сразу заметно.
2. **с)** В пустоте или в газах без кислорода железо не ржавеет и не покрывается окалиной, значит, прибавка веса идёт от кислорода воздуха.
3. **а)** Закон сохранения сразу говорит: если продукт легче, что-то ушло, значит, это разложение; уходящий газ можно поймать в виде пузырьков.
4. **д)** В воздухе такая лучинка тихо гаснет, а в этом газе вспыхивает ярким пламенем; так и узнают кислород.

Разобранные примеры

Как взвесить газ, которого не видел Зелёную углекислую медь весом 12,4 грамма нагревают, пока она вся не превратится в чёрную окись меди весом 8,0 грамма. Газ уходит незаметно. Сколько газа выделилось?

Запишем закон сохранения: вес взятого вещества равен сумме весов полученных, $A = M + N$.

Взятое вещество — углекислая медь, $A = 12,4$ грамма.

Продукты — окись меди, $M = 8,0$ грамма, и газ N , вес которого неизвестен.

Значит, $12,4 = 8,0 + N$, и $N = 12,4 - 8,0 = 4,4$ грамма.

Ответ: 4,4 грамма газа

Задачи

1. Железный гвоздь весом 20 граммов сильно нагревают на воздухе, пока он частично не покроется окалиной. Теперь он

весит 21,5 грамма. Сколько воздуха с ним соединилось и какая это была часть воздуха?

Подсказка: Железо и взятая часть воздуха вместе должны весить столько же, сколько гвоздь с окалиной.

Ответ: 1,5 грамма, так как из $20 + x = 21,5$ следует $x = 1,5$. Это был кислород, та часть воздуха, которая служит для горения, потому что без кислорода окалина не образуется.

2. Сторонник теории флогистона говорит, что, превращаясь в окалину, железо отдаёт флогистон. Объясните с помощью весов, почему это объяснение идёт задом наперёд.

Подсказка: Если что-то уходит из железа, что должны показать весы?

Ответ: Если бы железо что-то теряло, окалина весила бы меньше железа. Весы показывают, что она весит больше, а без кислорода окалина не образуется. Значит, что-то прибавилось: окалина — это железо, соединённое с кислородом, тело более сложное, чем железо, а не более простое.

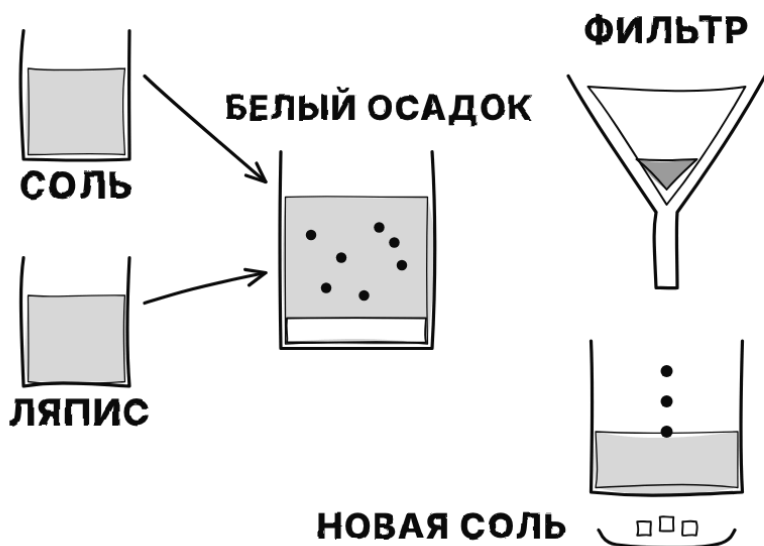
3. Красную окись ртути нагревают в закрытой реторте, трубка которой ведёт в водяную ванну, и взвешивают и капли ртути, и собранный газ. Чему должна равняться сумма этих двух весов и почему?

Подсказка: Учтите всё, что вошло в реторту, и всё, что из неё вышло.

Ответ: Она должна равняться весу взятой красной окиси ртути. Одно тело разложилось на два, ртуть и кислород, и раз ничто не создаётся и не теряется, оба вместе должны весить столько же, сколько весил порошок.

Соль, серебро и ошибка алхимиков

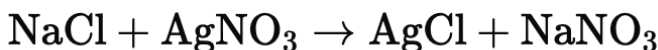
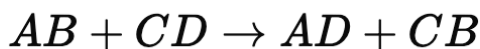
Возьмите два стакана воды, совершенно одинаковых на вид и совсем прозрачных. В одном растворена обычная поваренная соль, в другом — соль серебра, ляпис, которым врачи когда-то прижигали и очищали раны. Влейте один стакан в другой. Жидкость сразу становится молочно-белой, и вскоре на дно оседает белый порошок. Две прозрачные жидкости дали нечто твёрдое, и вопрос в том, что стало с весом.



Две прозрачные жидкости, одно белое твёрдое вещество

Менделеев берёт это как ещё один пример закона сохранения. Сначала он отделяет порошок от жидкости фильтрованием. Сложите кружок непроклеенной бумаги четверо, раскройте его конусом и вставьте в стеклянную воронку. Влейте мутную жидкость: прозрачный раствор протекает насквозь, а белый порошок остаётся на бумаге. То же делает кофейный фильтр у вас на кухне: жидкость проходит, а гуща остаётся. Высушите порошок, и окажется, что это новое вещество, совсем не похожее ни на одно из двух исходных, потому что в воде оно вовсе не растворяется. Теперь выпарьте прозрачную жидкость, прошедшую сквозь фильтр, и появится другое новое вещество, отличное и от поваренной соли, и от ляписа, хотя в воде оно растворяется, как они.

Итак, вошли два вещества и вышли два. Это третий вид реакций из первой части, замещение, или двойное разложение, где части меняются партнёрами. Буквами: два соединения обмениваются частями, $AB + CD \rightarrow AD + CB$; меняются оба партнёра, и выходят два новых вещества. В современной записи, где поваренная соль — $NaCl$, а ляпис — $AgNO_3$, реакция выглядит так: $NaCl + AgNO_3 \rightarrow AgCl + NaNO_3$. Словами: серебро покидает своего партнёра и соединяется с хлором соли, образуя хлористое серебро, тот самый белый порошок; натрий соли занимает место, которое оставило серебро, и образует азотнокислый натрий, который остаётся в растворе. Это снова танец: танцоры меняются партнёрами, и одна из новых пар не может удержаться в воде, поэтому опускается на дно. А сама вода лишь делала вещества жидкими и подвижными, чтобы их частицы могли сойтись так тесно, как нужно для реакции.



AgCl **ОСЕДАЕТ**

NaNO_3 **В РАСТВОРЕ**

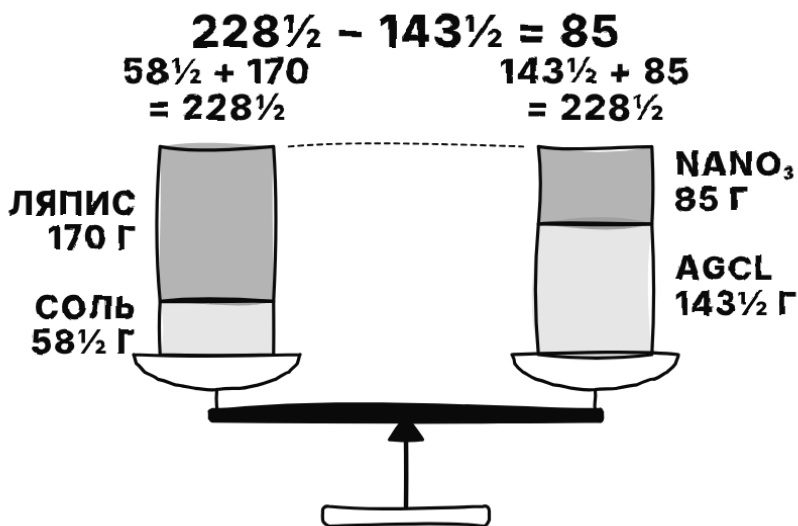
Меняются оба партнёра

Теперь весы. Менделеев приводит числа: около $58\frac{1}{2}$ граммов сухой соли и 170 граммов сухого ляписа дают $143\frac{1}{2}$ грамма хлористого серебра и 85 граммов азотнокислого натрия.

Проверим их вслух. Слева $58\frac{1}{2} + 170 = 228\frac{1}{2}$ грамма. Справа $143\frac{1}{2} + 85 = 228\frac{1}{2}$ грамма. Обе суммы совпадают, точно как требует закон сохранения. И заметьте, что это позволяет сделать.

Если бы вы взвесили порошок на фильтре, но пролили прозрачную жидкость, вы всё равно могли бы сказать, сколько в ней было азотнокислого натрия: $228\frac{1}{2} - 143\frac{1}{2} = 85$ граммов.

Лаборатория, проверяющая воду, работает так и сейчас: добавляет к пробе соль серебра, отфильтровывает белое хлористое серебро, сушит и взвешивает его, чтобы узнать, сколько соли было в воде.

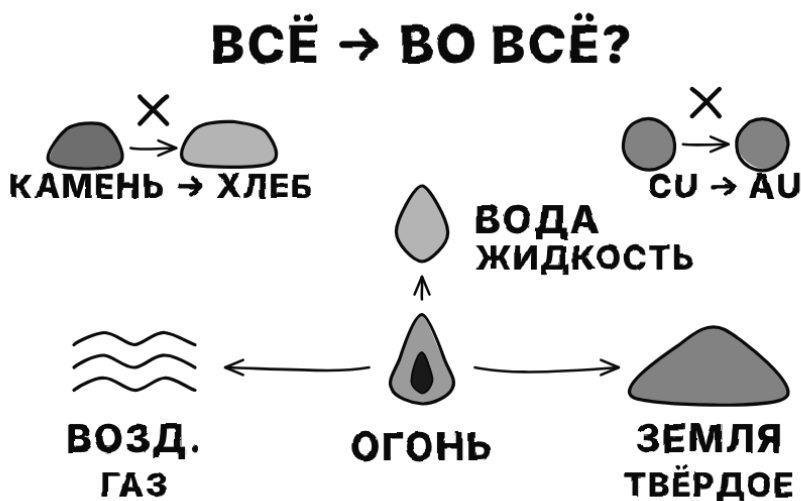


По 228½ с обеих сторон

Опыт

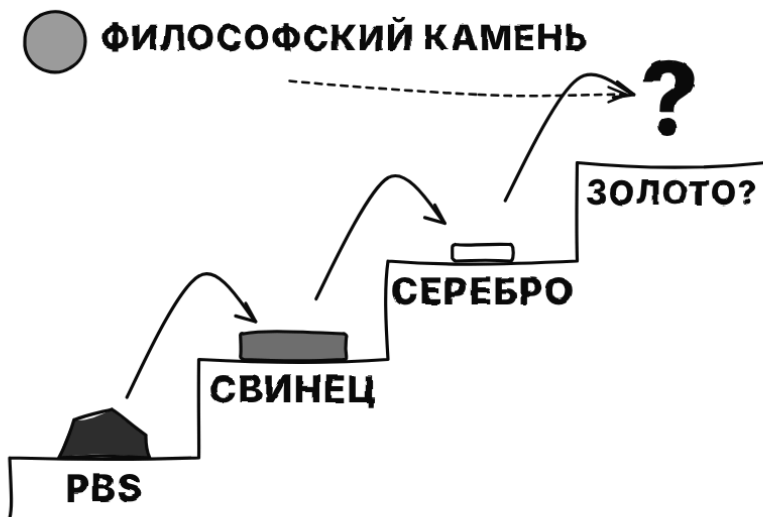
Растворите чайную ложку английской соли в одном стакане тёплой воды, а чайную ложку кальцинированной соды в другом, и размешайте, пока оба не станут прозрачными. Влейте один в другой и смотрите: смесь мутнеет, и медленно оседает белый порошок. Пропустите смесь через кофейный фильтр: жидкость проходит прозрачной, а на бумаге остаётся белая паста. Точно как в опыте Менделеева, два прозрачных раствора обменялись партнёрами и дали вещество, которое не может оставаться в растворе.

Здесь Менделеев переходит к более глубокому вопросу. Закон сохранения отвечает на вопрос о количестве: вещество никогда не теряется и не прибавляется. Но есть второй вопрос, который он называет вопросом о качестве, и он труднее. Есть ли предел тому, во что можно превратить одно вещество? Можно ли, будь у вас довольно искусства, превратить фунт чего угодно в фунт чего угодно другого? Простое наблюдение этого не решает. Растения делают из воздуха и почвы бесконечно разные вещества, а железо можно превратить в чернила или в густо-синюю краску, берлинскую лазурь, так что превращениям будто нет конца. Но повседневный опыт говорит, что из камня не сделать пищу, а из меди — золото. Решить может только исследование.



Сначала количество, потом качество

Долгое время самым распространённым ответом были четыре стихии: воздух, вода, земля и огонь. Это представление пришло к грекам из Азии и полнее всего было изложено Эмпедоклом, примерно за 460 лет до Рождества Христова. Оно не было итогом тщательных опытов; видимо, оно возникло из деления тел на газообразные, как воздух, жидкие, как вода, и твёрдые, как земля, и из того, что огонь, то есть теплота, их изменяет. Затем арабские учёные стали решать этот вопрос опытом и через Испанию принесли в Европу страсть к таким исследованиям. Её считали тайной, загадочной наукой и называли алхимией.

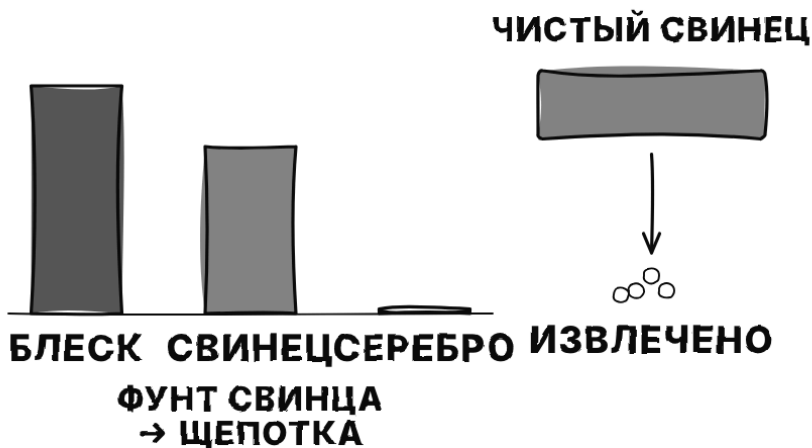


Лестница алхимиков

Алхимики верили, что превращениям вещества нет предела. Они искали философский камень, который будто бы превращает всё в

золото и алмазы и даже возвращает молодость старому телу. Менделеев к ним справедлив. Их большая заслуга, говорит он, в том, что они проделали огромное число опытов и открыли много новых превращений, и их вера родилась не из одной фантазии. Их собственные опыты будто бы указывали в эту сторону. Они брали свинцовый блеск, блестящий камень с металлическим видом, и получали из него свинец: бесполезный камень стал полезным мягким металлом. Потом они брали этот свинец и получали из него серебро, металл ещё более драгоценный. Что могло быть естественнее, чем думать, что ещё один шаг превратит серебро в золото?

Их ошибка была в том, что они почти не взвешивали. Суждения о качестве, вроде «благороднее» или «драгоценнее», субъективны; количества — нет. Если бы они взвешивали, то увидели бы, что свинец весит гораздо меньше свинцового блеска, из которого получен, а серебра — ничтожное количество по сравнению с взятым свинцом. Если бы они внимательно изучили процесс, то нашли бы, что свинец вовсе не превращается в серебро. Природный свинец просто содержит немного серебра, и когда это серебро извлечено, никакая дальнейшая обработка свинца больше его не даст. Серебро было в свинце с самого начала; его не сделали из свинца. Менделеев добавляет, что даже в его время большую часть серебра в мире извлекали таким образом из природного свинца.



Серебро было внутри

Так весы отвечают алхимикам так же ясно, как ответили сторонникам флогистона. Если бы свинец действительно превращался в серебро, фунт свинца давал бы около фунта серебра, как требует закон сохранения; а он даёт крошечную щепотку, и больше ничего. В этом малом числе и весь довод: то, что вышло, было спрятано внутри с самого начала.

Приговор Менделеева алхимии краток. Путь, которым шли алхимики, никогда не мог привести к полному успеху, потому что они не ставили себе простых, ясных вопросов, ответив на которые, можно идти дальше. Они просили всего сразу, камня, дающего золото и молодость, и потому не нашли ни одного точного закона. И всё же они оставили химии богатое

наследство: огромный запас опытных фактов, которые позднейшие химики, ставя более узкие вопросы с весами в руках, смогли наконец привести в порядок.

Запомним

Смешение растворов поваренной соли и ляписа даёт нерастворимое хлористое серебро, которое можно отфильтровать, и азотнокислый натрий, остающийся в растворе: замещение, в котором два дают два. Числа Менделеева, $58\frac{1}{2}$ и 170 граммов на входе, $143\frac{1}{2}$ и 85 граммов на выходе, в сумме дают по $228\frac{1}{2}$ грамма, точно как требует закон сохранения. Кроме вопроса о количестве, есть вопрос о качестве: можно ли превратить одно вещество в любое другое. Алхимики верили, что можно, потому что получали свинец из свинцового блеска и серебро из свинца, но редко взвешивали. Взвешивание показывает, что серебро уже было в свинце, и урок в том, что успех приходит от простых, ясных вопросов и весов.

Вопросы

1. После фильтрования белый порошок не растворяется в воде. Почему это показывает, что он — новое вещество?
 - а. Потому что и поваренная соль, и ляпис растворяются в воде, так что нерастворимое вещество не может быть ни тем, ни другим

- b. Потому что всякий оседающий порошок — новое вещество
 - c. Потому что фильтрование всегда меняет вещество
 - d. Потому что он тяжелее жидкости
2. Какую роль играет вода в опыте с солью и ляписом?
- a. Она реагирует с солью и даёт белый порошок
 - b. Она входит в вес по обе стороны уравнения
 - c. Она лишь делает вещества жидкими и подвижными, чтобы их частицы могли встретиться
3. Алхимики получали серебро из свинца. Что показало бы им взвешивание?
- a. Что свинец тяжелеет, превращаясь в серебро
 - b. Что серебра ничтожно мало по сравнению со взятым свинцом, и после его извлечения больше не получается
 - c. Что свинец и серебро весят одинаково
 - d. Что серебро весит больше свинцового блеска, из которого получено
4. Почему, по Менделееву, путь алхимиков никогда не мог привести к полному успеху?
- a. Потому что у них не было достаточно жарких печей
 - b. Потому что четыре стихии делали их опыты невозможными
 - c. Потому что они держали свою науку в тайне
 - d. Потому что они не ставили простых, ясных вопросов, ответив на которые, можно идти дальше

Ответы

1. **a)** Оба исходных вещества растворяются в воде, а порошок нет, значит, он совсем не похож ни на одно из них.
2. **с)** Сама вода лишь делала вещества жидкими и подвижными, чтобы их частицы могли сойтись так тесно, как нужно для реакции.
3. **б)** Серебра ничтожно мало по сравнению со свинцом, и после его извлечения никакая обработка больше не даёт: серебро было в свинце с самого начала.
4. **д)** Они просили всего сразу вместо простых, ясных вопросов и потому не нашли ни одного точного закона.

Разобранные примеры

Соль и ляпис на весах Около $58\frac{1}{2}$ граммов сухой поваренной соли реагируют со 170 граммами сухого ляписа и дают $143\frac{1}{2}$ грамма хлористого серебра и 85 граммов азотнокислого натрия. Проверьте, что закон сохранения выполняется.

Запишем закон: веса взятых веществ равны весам полученных, $A + B = M + N$.

Взято: $58\frac{1}{2} + 170 = 228\frac{1}{2}$ грамма.

Получено: $143\frac{1}{2} + 85 = 228\frac{1}{2}$ грамма.

Воду не учитываем ни с одной стороны, потому что она лишь делала вещества жидкими; обе суммы равны.

Ответ: Обе стороны дают $228\frac{1}{2}$ грамма.

Задачи

1. В том же опыте вы взвесили $58\frac{1}{2}$ граммов соли и 170 граммов ляписа и нашли 85 граммов азотнокислого натрия, выпарив

прозрачную жидкость досуха, но бумага с порошком порвалась и пропала. Сколько образовалось хлористого серебра?

Подсказка: Используйте $A + B = M + N$, где неизвестное — хлористое серебро.

Ответ: $143\frac{1}{2}$ грамма. Взятые вещества весят $58\frac{1}{2} + 170 = 228\frac{1}{2}$ грамма, значит, хлористого серебра $228\frac{1}{2} - 85 = 143\frac{1}{2}$ грамма.

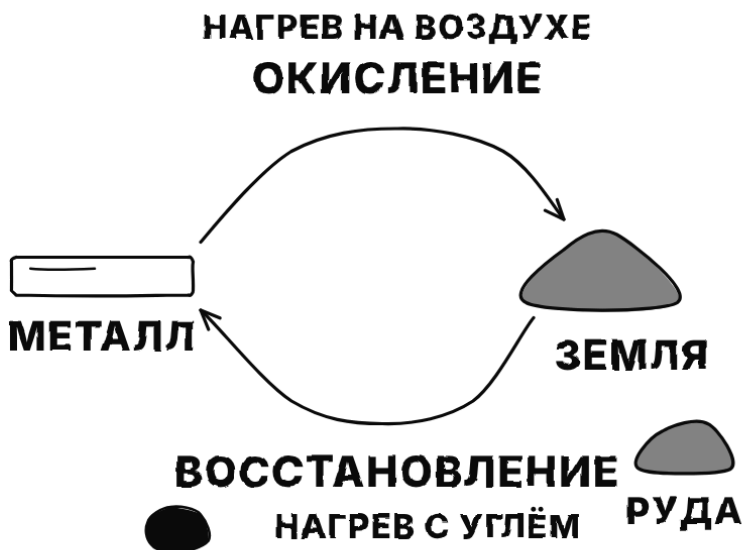
2. Объясните своими словами разницу между вопросом о количестве и вопросом о качестве в химии и скажите, на который из них отвечает закон сохранения.

Подсказка: Один спрашивает, сколько вещества; другой — чем оно может стать.

Ответ: Вопрос о количестве спрашивает, меняется ли количество вещества при реакции; на него отвечает закон сохранения: вещество никогда не теряется и не прибавляется. Вопрос о качестве спрашивает, можно ли вообще превратить одно вещество в любое другое; этот вопрос труднее, и одного закона сохранения для его решения недостаточно.

Двенадцать дней со ртутью

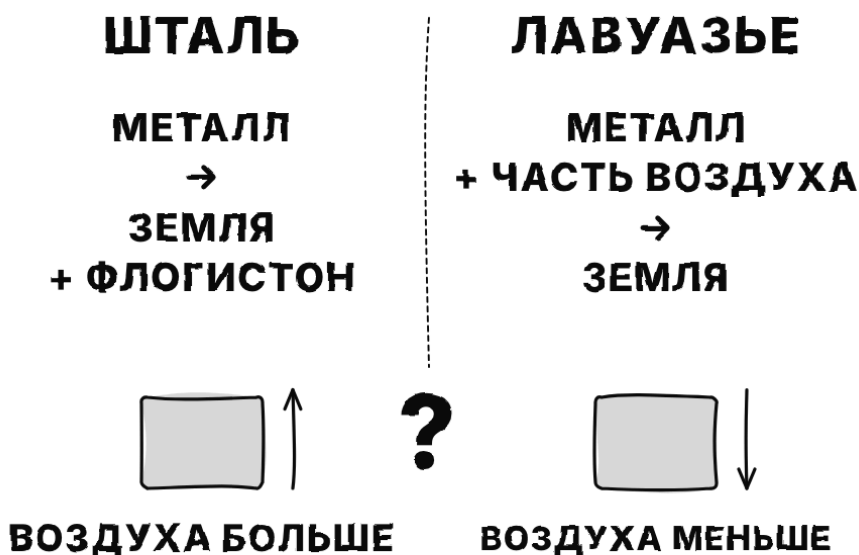
Представьте стеклянный сосуд с блестящей ртутью, которую двенадцать дней, днём и ночью, держат почти при кипении. Медленно на её поверхности появляются и разрастаются красные чешуйки. В конце воздух, запёртый вместе со ртутью, оказывается сократившимся. Этот опыт, проделанный Лавуазье в 1774 году, решил спор, длившийся полвека, и он — сердце этой части.



Окисление и восстановление

Спор шёл о двух превращениях, которыми алхимики пользовались снова и снова. Нагрейте на воздухе металл, например железо, свинец или олово, и он превратится в землистый порошок: это окисление, то же самое, что ржавление. Нагрейте этот землистый порошок с углём, и вы снова получите металл: это восстановление. Многие руды в земле — именно такие окисленные металлы, и олово, железо и медь добывают из них нагреванием с углём, как из ржавчины или окарины. Каждый металлургический завод до сих пор работает на этой второй реакции, восстанавливая железную руду углеродом в доменной печи. Итак, были известны два превращения, идущие в противоположные стороны, и их объяснение привело, как говорит Менделеев, к важнейшим законам химии.

Первое объяснение дали Бехер и прежде всего Шталь, лейб-медик прусского короля, в книге 1723 года. По Шталю, всякое тело содержит флогистон, невесомое огненное вещество, которое он называл «материей, или началом огня, а не самим огнём». Тело, которое легко горит или окисляется, богато флогистонами, а уголь им очень богат. Когда металл окисляется, он отдаёт свой флогистон; когда уголь восстанавливает землистый порошок, он возвращает ему часть своего флогистона. Так что для Шталя металл был телом сложным, землёй плюс флогистон, а землистый окисел — более простым. Мысль была очень проста, замечает Менделеев, и отчасти поэтому приобрела множество сторонников.

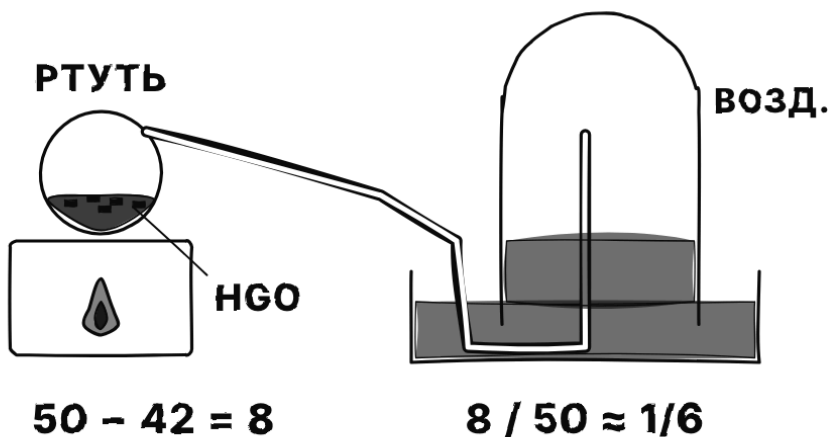


Две противоположные картины

Лавуазье ответил весами. Всякое ржавление, всякое окисление и всякое горение, показал он, сопровождается увеличением веса за счёт воздуха. И он сделал естественное предположение, что тело более тяжёлое — более сложное. Запишем обе картины рядом. Шталь: металл → земля + флогистон. Лавуазье: металл + часть воздуха → земля. Словами: у Шталя что-то уходит из металла, у Лавуазье что-то к нему присоединяется. Обе картины предсказывают противоположное о воздухе вокруг металла. Если флогистон уходит в воздух, воздуха должно стать больше или хотя бы не меньше; если металл забирает часть воздуха, воздух должен сократиться. Значит, опыту надо было ответить на один ясный вопрос: увеличивается воздух или уменьшается?

Представьте прибор. Стеклянная реторта, которую Менделеев обозначает буквой А, содержит 4 унции чистой ртути. Её длинное горло изогнуто и опущено в чашку со ртутью, обозначенную КS, а открытый конец О выходит внутри стеклянного колокола FQ, стоящего в этой чашке. Так заперто определённое количество воздуха: воздух в верху реторты и под колоколом, отрезанный ртутью от остального мира. Перед началом Лавуазье взвесил всю ртуть и измерил объём этого запертого воздуха. Это было нелегко. Нужно было знать ёмкость реторты, объём налитой ртути, объём колокола до метки, где стоял воздух, а также температуру и давление в момент измерения, потому что газ расширяется от тепла и сжимается под давлением. Затем он двенадцать дней нагревал реторту почти до температуры кипения ртути. На ртути выросли красные чешуйки: она превращалась в красную окись ртути, тот самый порошок, который при более сильном нагревании даёт кислород, как мы видели.

**12 ДНЕЙ 50 КУБ. Д.
→ 42 КУБ. Д.**

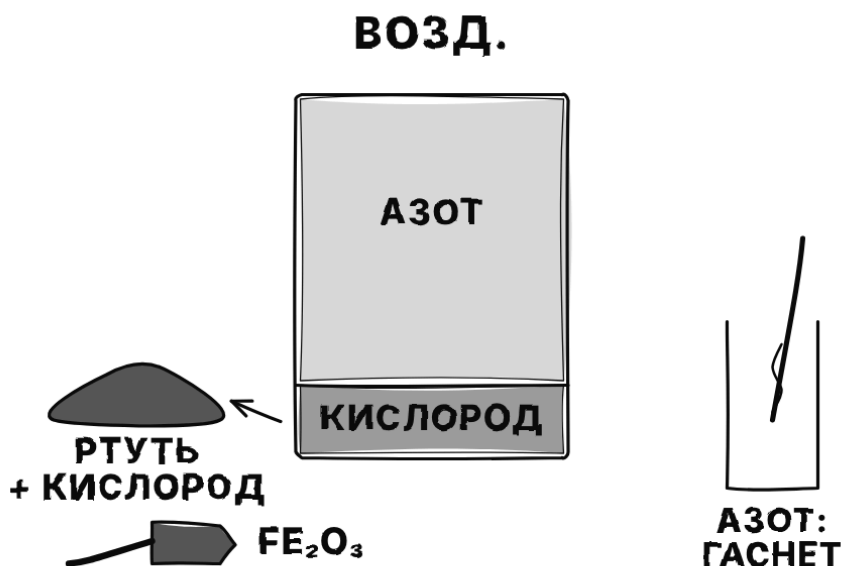


Пятьдесят сократились до сорока двух

Когда прибор остыл, воздух оказался сократившимся. Из 50 кубических дюймов воздуха осталось только 42. Прочтём эти числа вслух. Воздух потерял $50 - 42 = 8$ кубических дюймов. В долях взятого воздуха это $8/50 = 16/100$, около одной шестой. Современные измерения дают кислорода в воздухе около одной пятой; ртуть Лавуазье поглотила не весь его, но важно было направление. Воздуха не стало больше, как требовал бы флогистон; он сократился, и теория немецкого химика была опровергнута.

Остальное сказали весы. Воздух потерял ровно столько веса, сколько прибавила ртуть. Значит, никакая часть воздуха не уничтожилась: одна его часть просто соединилась со ртутью. Эту

часть можно снова выгнать из красной окиси ртути более сильным нагреванием, и это тот газ, в котором тлеющая лучинка вспыхивает пламенем: кислород. Часть, оставшаяся под колоколом, была совсем другой. Она не окисляла металлов и не поддерживала ни горения, ни дыхания. Лавуазье писал, что зажжённая лучинка «гаснет в нём, как будто её опустили в воду». Этот газ мы называем азотом.

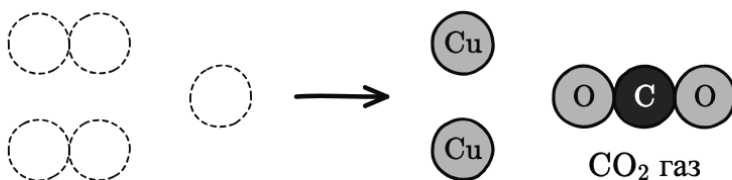
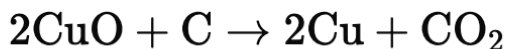


Воздух — это кислород и азот

Значит, воздух — не одно простое тело, как думали две тысячи лет, а смесь двух газов, кислорода и азота. Смешайте кислород снова с азотом, и получится обычный воздух. Горение и окисление металлов поглощают кислород воздуха. А землистые порошки, получающиеся при окислении, — это соединения

металла с кислородом. Глядя на бурые чешуйки на старом садовом инструменте, вы видите железо, забравшее кислород из воздуха, точно как ртуть Лавуазье.

Ещё один опыт довершил картину, и он перевернул и восстановление. Когда окисел нагревают с углём, кислород окисла переходит к углю. Выходит тот же самый газ, который даёт уголь, сгорая на воздухе. В современной записи для чёрной окиси меди реакция такова: $2\text{CuO} + \text{C} \rightarrow 2\text{Cu} + \text{CO}_2$. Словами: две порции окиси меди отдают свой кислород одной порции углерода; медь остаётся чистой, а углерод уходит в виде углекислого газа. У Штalia уголь что-то давал земле; у Лавуазье он что-то у неё отнимает, и весы согласны с Лавуазье. Значит, и углекислый газ — соединение, углерода с кислородом, так же как окислы — соединения металлов с кислородом.



ЧИСТАЯ МЕДЬ

✗ ФЛОГИСТОН ОТДАН

✓ КИСЛОРОД ЗАБРАН

Уголь забирает кислород

Опыт

Смочите изнутри узкую стеклянную банку, затолкайте на дно комок стальной мочалки, чтобы он держался, и поставьте банку вверх дном в чашку с водой. Отметьте фломастером уровень воды внутри банки. Оставьте на два-три дня. Мочалка ржавеет, и вода поднимается в банку, потому что железо поглотило кислород запертого воздуха, точно как ртуть Лавуазье. Вода поднимается примерно на пятую часть воздушного пространства, а то, что остаётся над ней, — в основном азот.

3 ДНЯ



Стальная мочалка в перевёрнутой банке

Запомним

Окисление превращает металл в землистый порошок; восстановление углём превращает порошок обратно в металл. Шталь объяснял и то и другое флогистоном, который уходит из металла и возвращается из угля, так что для него металл был телом сложным. Двенадцатидневный опыт Лавуазье показал, что нагретая ртуть поглощает часть запертого воздуха: 50 кубических дюймов сократились до 42, а воздух потерял ровно столько веса, сколько прибавила ртуть. Воздух — смесь кислорода, который поддерживает горение и соединяется с металлами, и азота, который не поддерживает ни горения, ни дыхания. Окислы — соединения металлов с кислородом, и при восстановлении уголь забирает этот кислород и уходит в виде углекислого газа, который сам есть соединение углерода с кислородом.

Вопросы

1. Шталь и Лавуазье предсказывали противоположное о воздухе, запертом с нагретой ртутью. Что предсказывал каждый?
 - а. Шталь: воздух не должен сократиться, ведь в него уходит флогистон; Лавуазье: воздух должен сократиться, ведь ртуть забирает его часть
 - б. Шталь: воздух должен сократиться; Лавуазье: воздуха должно стать больше

- c. Оба предсказывали, что воздух останется прежним
 - d. Шталь: ртуть должна потяжелеть; Лавуазье: ртуть должна полегчать
2. Почему Лавуазье нужно было знать температуру и давление, когда он измерял запертый воздух?
- a. Потому что ртуть кипит только при одном давлении
 - b. Потому что газ расширяется от тепла и сжимается под давлением, и иначе объёмы нельзя было сравнить
 - c. Потому что колокол мог лопнуть от сильного нагрева
3. Воздух потерял ровно столько веса, сколько прибавила ртуть. Что из этого следует?
- a. Что часть воздуха уничтожил жар
 - b. Что флогистон имеет отрицательный вес
 - c. Что одна часть воздуха соединилась со ртутью, и ничего не уничтожилось
 - d. Что ртуть отчасти превратилась в воздух
4. Когда чёрную окись меди нагревают с углём, металл возвращается. Что происходит с кислородом, по Лавуазье?
- a. Он остаётся в меди в виде флогистона
 - b. Он уничтожается в жару
 - c. Он уходит в воздух в виде азота
 - d. Он переходит к углю, который уходит в виде углекислого газа

Ответы

1. **a)** Если флогистон уходит в воздух, воздуха должно стать больше или хотя бы не меньше; если металл забирает часть воздуха, воздух должен сократиться.
2. **b)** Нужно было знать температуру и давление в момент измерения, потому что газ расширяется от тепла и сжимается под давлением.
3. **c)** Никакая часть воздуха не уничтожилась: одна его часть просто соединилась со ртутью.
4. **d)** Кислород окисла переходит к углю, и выходит тот же газ, что даёт уголь, сгорая на воздухе.

Разобранные примеры

Сколько воздуха забрала ртуть Лавуазье запер со ртутью 50 кубических дюймов воздуха; после двенадцати дней нагревания осталось только 42 кубических дюйма. Сколько воздуха соединилось со ртутью и какую долю воздуха это составляет?

Соединившийся воздух — это то, чего недостаёт: $50 - 42 = 8$ кубических дюймов.

Его доля во взятом воздухе — $8/50$.

Умножим числитель и знаменатель на 2: $8/50 = 16/100$, то есть 16 частей из ста.

Это около одной шестой; воздух сократился, как предсказывает картина Лавуазье, а не Штала.

Ответ: 8 кубических дюймов, 16 частей из ста взятого воздуха

Задачи

1. Пусть тот же опыт проделан со 100 кубическими дюймами воздуха, и ртуть поглотила ту же долю, что и в опыте Лавуазье. Сколько воздуха останется?

Подсказка: Сначала найдите поглощённую долю, 8 из 50, и примените её к 100.

Ответ: 84 кубических дюйма. Поглощённая доля $8/50 = 16/100$, значит, со ртутью соединятся 16 кубических дюймов и останется $100 - 16 = 84$.

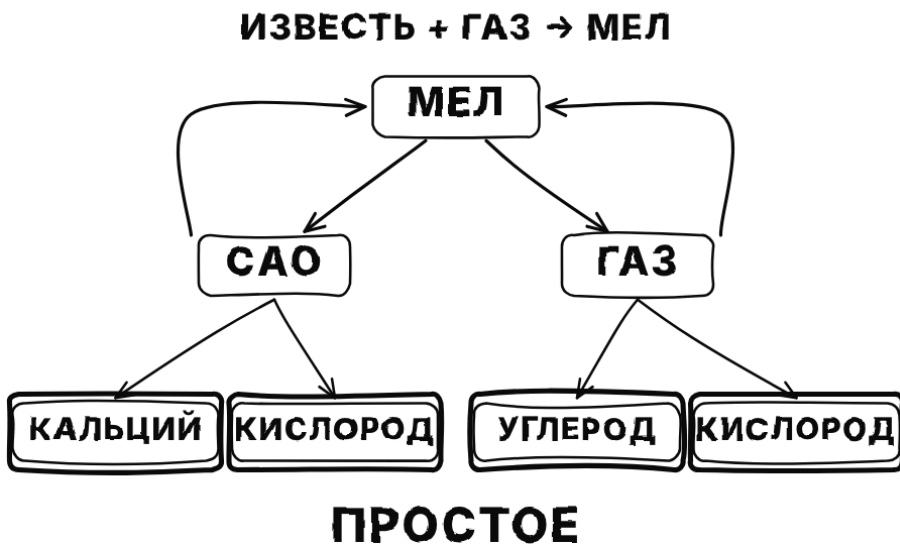
2. Последователь Штalia говорит, что уголь восстанавливает окисел, отдавая ему флогистон. Объясните ответ Лавуазье, опираясь на то, что происходит с кислородом и с выделяющимся газом.

Подсказка: Спросите себя, что уходит из окисла и куда.

Ответ: При восстановлении уголь ничего не даёт окислу, а отнимает у него кислород. Кислород переходит к углю, который уходит в виде углекислого газа, того же газа, что даёт уголь, сгорая на воздухе; значит, этот газ — соединение углерода с кислородом, а окисел был соединением металла с кислородом.

Простые тела и буквы химии

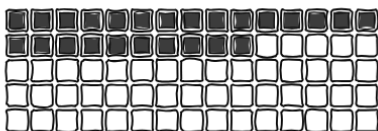
Положите кусок мела в жаркий огонь, и он выделит газ и оставит белую известь. Теперь оставьте эту известь в том же газе, с небольшим количеством воды, при комнатной температуре, и она медленно превратится обратно во что-то вроде мела. Значит, мел можно разобрать и собрать снова: это сложное тело. Белый известковый раствор между старыми кирпичами твердеет именно так, месяцами вбирая этот газ из воздуха. Но конец ли пути его две части, известь и газ?



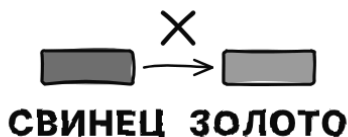
До простых тел

Нет, говорит Менделеев. Газ, углекислый газ, — это углерод, соединённый с кислородом, как мы видели в прошлой части. А известь — окисел металла, который называется кальцием. Продолжайте так разлагать вещества на части, и наконец дойдёте до таких, которые никакими средствами нельзя разделить на два или более других и которые нельзя составить ни из чего другого. Такие вещества могут только соединяться с другими или действовать на них. Их называют простыми телами, или простыми веществами, и всякое однородное вещество либо простое, либо сложное. Это деление восходит к Лавуазье.

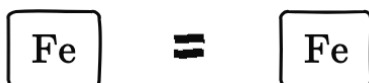
Простых тел мало по сравнению со сложными, которые они образуют. Во времена Менделеева с уверенностью было известно около семидесяти пяти простых тел, и из них не более двадцати пяти встречаются в соединениях обыденной жизни. И простые тела не превращаются друг в друга. Ни одного такого случая никогда не наблюдали, несмотря на огромные усилия, так что один металл нельзя превратить в другой, и никто не нашёл ни малейшего признака того, что кислород, железо или сера на самом деле сложные тела. Вот ответ алхимикам, теперь в точной форме.



**75 ПРОСТЫХ
25 ОБИХОДНЫХ**



$A + B + \dots = M + N + \dots$
ДЛЯ КАЖДОГО ПРОСТОГО ТЕЛА



Немного, неизменны и сохраняются

Сложите это с законом сохранения, и последует нечто более сильное. Простое тело нельзя разложить, а вещество никогда не теряется и не создаётся; значит, количество каждого простого тела остаётся тем же при всяком химическом изменении. Прежнее уравнение, $A + B + \dots = M + N + \dots$, теперь верно не только для общего веса, но и для каждого простого тела в отдельности. Словами: всё железо, вошедшее в реакцию, выходит железом, соединённым с чем-то новым, и весь вошедший кислород выходит кислородом. Химия, говорит Менделеев, сводится к изучению того, с чем и как соединено каждое простое тело до изменения и после него.

Чтобы писать такие уравнения, химики условились о буквах. Каждое простое тело обозначают одной или двумя начальными буквами его латинского названия. Кислород, Oxygenium, — это O; азот, Nitrogenium, — N; ртуть, Hydrargyrum, — Hg; железо, Ferrum, — Fe. Сложное тело пишут, ставя рядом буквы его простых тел, так что красная окись ртути — это HgO: ртуть и кислород. Но буквы несут не только названия. Каждая буква означает ещё и определённый вес, который Менделеев называет паем, или весом атома. Так что формула говорит не только, из чего состоит сложное тело, но и сколько в нём каждого простого, и в каждом уравнении, построенном из формул, вес каждого простого тела должен быть одинаков с обеих сторон.

O	OXYGENIUM		
N	NITROGENIUM		
Hg	HYDRARGYRUM		HgO
Fe	FERRUM		HGO
ВЕСА АТОМОВ			

Теперь формула, о которой на самом деле эта часть. Сложное тело из двух простых тел А и В пишут как A_nB_m , где n и m показывают, сколько паёв каждого в него входит. Обозначим атомный вес А через a , а вес В через b . Тогда одна частица сложного тела содержит na тела А и mb тела В и весит всего $na + mb$. Значит, в каждой ста частях сложного тела доля А равна $na \cdot 100 / (na + mb)$, а доля В — $mb \cdot 100 / (na + mb)$. Словами: часть А, делённая на целое и умноженная на сто, — это процент А. Это похоже на рецепт. Если на пирог идут 2 стакана муки и 1 стакан сахара, то мука — это два стакана из трёх, какого бы размера пирог вы ни пекли. Формула — рецепт вещества, а атомные веса превращают её счёт в веса.

A_nB_m

N, m: СКОЛЬКО

вес = $na + mb$

$\% A = \frac{na \cdot 100}{na + mb}$



МУКА МУКА САХАР

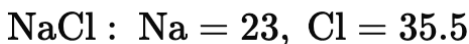
$\leftarrow$



МУКА САХАР
2/3 1/3

Формула — это рецепт

Пример самого Менделеева — поваренная соль NaCl , где натрий $\text{Na} = 23$, а хлор $\text{Cl} = 35,5$, и каждого по одному, так что n и m равны 1. Вся частица весит $23 + 35,5 = 58,5$. Натрий составляет $23 \cdot 100/58,5$, то есть около 39,3 процента. Хлор — $35,5 \cdot 100/58,5$, около 60,7 процента. И вместе они дают сто, как и должно быть.



$$23 + 35.5 = 58.5$$



Na 39.3 %

Cl 60.7 %



1000 Г



393 Г

607 Г

$$393 + 607 = 1000$$

Соль: 39,3 и 60,7 процента

Вот где формула окупается, говорит Менделеев: дайте мне действительный вес сложного тела, и формула скажет мне действительный вес каждого простого тела в нём. Возьмите килограмм соли, 1000 граммов. Натрия в нём 39,3 процента, то есть около 393 граммов; хлор — остальные 607 граммов. Пачка соли у вас на кухне, если она весит килограмм, содержит около 393 граммов мягкого металла, который воспламенился бы в воде,

и около 607 граммов ядовитого зелёного газа, скреплённых в то, чем вы посыпаете еду. Эта последняя мысль — довод Менделеева о простых телах, сделанный наглядным: натрий и хлор есть в соли, но ни металла, ни газа как таковых в ней нет.

Опыт

Возьмите чайную ложку соли и взвесьте её на кухонных весах; пусть она весит 6 граммов. По доле 39,3 процента вычислите, сколько в ней натрия: около 2,4 грамма. Теперь прочтите этикетку на пачке солёной еды, где натрий часто указывают отдельно от соли. Умножьте число натрия на $100/39,3$, примерно на 2,5, и получите соответствующее количество соли: этикетка пользуется формулой Менделеева.

Запомним

Разложение веществ на части кончается простыми телами, которые нельзя ни разложить, ни составить из чего-либо другого; всё прочее — сложные тела. Простые тела не превращаются друг в друга, так что количество каждого остаётся тем же при всяком химическом изменении. Каждое простое тело обозначают буквами его латинского названия, и каждая буква означает ещё и определённый вес, вес его атома. Для сложного тела A_nB_m процент A равен $na \cdot 100 / (na + mb)$, как доля муки в рецепте. Поваренная соль $NaCl$, где $Na = 23$ и $Cl = 35,5$, состоит на 39,3 процента из натрия и на 60,7 процента из хлора.

Вопросы

1. Мел можно разложить на известь и углекислый газ и снова получить из них. Почему известь и газ всё же не простые тела?
 - a. Потому что их самих можно разложить: газ на углерод и кислород, известь на кальций и кислород
 - b. Потому что они встречаются только в меле
 - c. Потому что всякое вещество, полученное в огне, сложное
 - d. Потому что они ни с чем не могут соединяться
2. Почему количество каждого простого тела остаётся тем же при всяком химическом изменении?
 - a. Потому что простые тела слишком устойчивы, чтобы реагировать
 - b. Потому что простое тело нельзя разложить или превратить в другое, а вещество никогда не теряется и не создаётся
 - c. Потому что весы взвешивают каждое простое тело отдельно
 - d. Потому что формулы всегда пишут буквами
3. У сложного тела формула A_nB_m . Что станет с процентом A, если удвоить и n, и m?
 - a. Он удвоится
 - b. Он уменьшится вдвое
 - c. Он не изменится, потому что удваиваются и часть A, и целое

- d. Он станет равен ста процентам
4. Что можно вычислить по формуле, зная действительный вес сложного тела?
- a. Температуру его разложения
 - b. Его цвет и вкус
 - c. Число известных простых тел
 - d. Действительный вес каждого простого тела в нём

Ответы

1. a) Углекислый газ — это углерод, соединённый с кислородом, а известь — окисел металла кальция, так что оба — сложные тела.
2. b) Простое тело нельзя разложить, а вещество никогда не теряется и не создаётся; значит, количество каждого простого тела остаётся тем же.
3. c) Доля A — это часть A, делённая на целое и умноженная на сто; если всё удвоить, доля не меняется, как и в рецепте.
4. d) Дайте действительный вес сложного тела, и формула скажет действительный вес каждого простого тела в нём.

Разобранные примеры

Проценты в поваренной соли Поваренная соль — NaCl, где Na = 23 и Cl = 35,5. Найдите процент натрия и хлора и вес натрия в 200 граммах соли.

Здесь $n = m = 1$, так что одна частица соли весит $na + mb = 23 + 35,5 = 58,5$.

Натрий: $na \cdot 100 / (na + mb) = 23 \times 100 / 58,5$, около 39,3 процента.

Хлор: $35,5 \times 100 / 58,5$, около 60,7 процента; вместе они дают 100.

В 200 граммах соли натрий составляет 39,3 процента от 200, около 78,6 грамма.

Ответ: 39,3 процента натрия, 60,7 процента хлора; около 78,6 грамма натрия в 200 граммах соли

Задачи

1. Сколько граммов хлора в 50 граммах поваренной соли NaCl , где $\text{Na} = 23$ и $\text{Cl} = 35,5$?

Подсказка: Сначала найдите долю хлора $35,5/58,5$.

Ответ: Около 30,3 грамма. Хлор составляет $35,5/58,5$, около 60,7 процента соли, а 60,7 процента от 50 граммов — около 30,3 грамма.

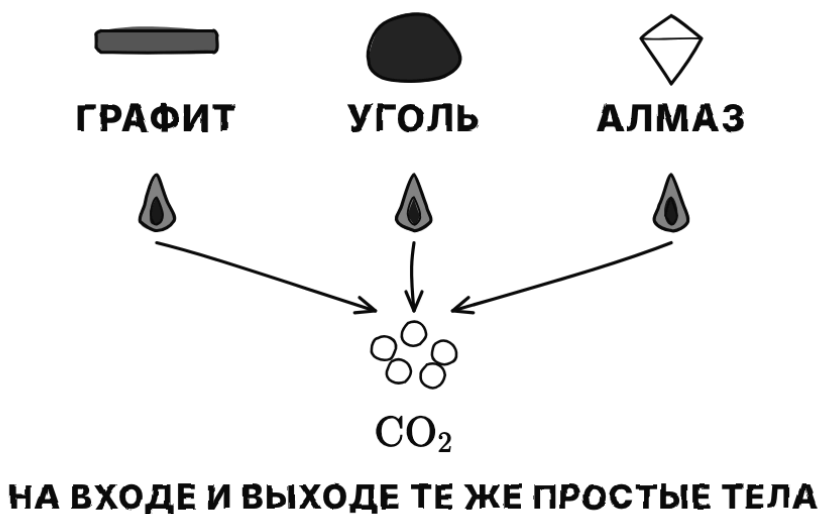
2. Сложное тело AB_2 содержит один пай А весом $a = 12$ и два пая В весом $b = 16$. Сколько процентов в нём составляет А?

Подсказка: Здесь $n = 1$ и $m = 2$; подставьте их в $na \cdot 100 / (na + mb)$.

Ответ: Около 27,3 процента. Целое $na + mb = 12 + 32 = 44$, так что А составляет $12 \times 100 / 44$, около 27,3 процента, а В — остальные 72,7 процента.

Элементы, а не составные части

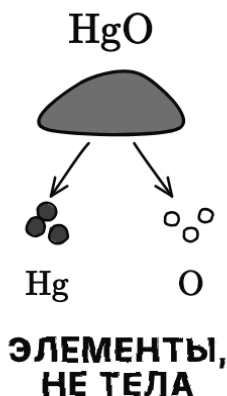
Грифель карандаша, кусок угля для мангала и бриллиант в кольцо выглядят так непохоже, как только могут выглядеть три вещи. Один серый и скользкий, другой чёрный и крошащийся, третий прозрачный и твёрже всего на свете. Но сожгите любой из них в кислороде, и каждый даст один и тот же газ, углекислый газ, и ничего больше. Уголь в садовом мангале и алмаз в витрине ювелира для химика — один и тот же элемент в двух разных одеждах. Как три разных простых тела могут быть одним и тем же? Ответить на это — главное дело этой части.



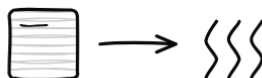
Три тела, один газ

Сначала Менделеев выводит следствие из прошлой части. Раз простые тела никогда не превращаются друг в друга, вещество можно превратить только в вещества, содержащие те же простые тела. Из соли можно получить соединения натрия и хлора, но ни унции железа; вот тот предел химических превращений, которого алхимики так и не нашли. И всё же даже в этом пределе число возможных соединений бесконечно. Изучена лишь малая их доля, и всякий, принявшийся за работу, легко может получить вещество, которого до него никто не получал; многие такие вещества, добавляет он, наука предсказывает прежде, чем их кто-либо получит. Так что цель химии — не перечислять соединения одно за другим. Она в том, чтобы постичь правильность, скрытую в их множестве: законы, управляющие тем, как они образуются и какие у них свойства. На деле это четыре задачи: находить свойства соединения по роду и количеству его простых тел; изучать сами простые тела; находить, какие соединения может образовать каждое простое тело и с какими свойствами; и понять связь, удерживающую простые тела вместе внутри соединений.

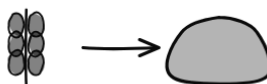
Теперь тонкий пункт, и Менделеев на нём внимательно останавливается. Когда мы говорим, что красная окись ртути содержит кислород, мы не имеем в виду, что внутри красного порошка сидит пузырёк газа кислорода. Мы говорим о том, что порошок может сделать: что из него можно получить ртуть и кислород и что он может передать их другим телам. Его итог стоит запомнить: состав соединения есть выражение тех превращений, к которым оно способно.



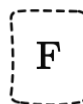
ВЕЩЕСТВО, А НЕ ВЕЩЬ



ЛЁД → ПАР



ЗЕРНО → ХЛЕБ



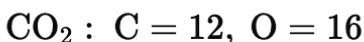
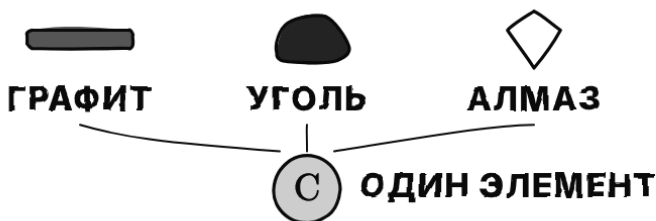
**ПО
СОЕДИНЕНИЯМ**

Элементы, а не составные части

Вот почему он разделяет два понятия, которые обыденная речь смешивает. Простое тело — отдельное вещество, которое можно держать в руках: блестящая жидкая ртуть или газ кислород в банке. Элемент — та материальная часть, которая общая у простого тела и всех его соединений. Красная окись ртути содержит не два простых тела, металл и газ, а два элемента, ртуть и кислород. Менделеев приводит два сравнения. Пар содержит вещество льда, но не сам лёд; хлеб содержит вещество зерна, но не зерно.

Три факта показывают, что разница настоящая. Первый — фтор. Долгое время никто не получал фтор отдельно, и всё же химики должны были считать его элементом, потому что его соединения

были известны и вели себя иначе, чем все сходные соединения. Элемент можно узнать по его соединениям прежде, чем кто-либо увидит его простое тело. Второй — соединения сами могут соединяться в ещё более сложные и потом выделяться из них теми же средствами, какими освобождают простые тела из их соединений, так что выделение из соединения само по себе ещё не делает вещество простым. Третий — карандаш, уголь и алмаз. Это три разных простых тела, которые Менделеев называет видоизменениями, но элемент у них один — углерод. И углекислый газ тоже содержит углерод, хотя в нём нет ни угля, ни графита, ни алмаза.



$$12 + 2 \times 16 = 44$$



С 27.3 %

О 72.7 %

12 Г УГЛЕРОДА → 44 Г ГАЗА

Углерод — 27,3 процента

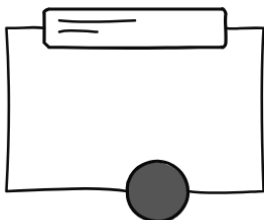
Здесь формула из прошлой части позволяет увидеть это в виде расчёта. В современной записи углекислый газ — CO_2 , где углерод $\text{C} = 12$, а кислород $\text{O} = 16$. Одна частица весит $12 + 2 \times 16 = 44$. Значит, углерод составляет $12 \cdot 100/44$, около 27,3 процента газа. Словами: сожжёте ли вы 12 граммов графита, угля или алмаза, вы получите 44 грамма одного и того же газа, и 12 граммов в нём — углерод. Простые тела различаются; элемент и его вес в соединении — нет.

Затем Менделеев отмечает более свободную группировку. Многие простые тела, хотя и не все, обладают металлическим блеском, непрозрачны, поддаются ковке и хорошо проводят тепло и электричество; это металлы, а их смеси между собой — сплавы. Остальные называют металлоидами. В резких случаях оба рода легко различить, но во многих случаях граница размыта, так что это деление не может быть точной основой для классификации простых тел.

МЕТАЛЛЫ

МЕТАЛЛОИДЫ

НЕТ ГРАНИЦЫ



СЕРА

ПРОВОДИТ

ТУСКЛЫЙ, ХРУПКИЙ

УГЛЕРОД, ДВОЯКО



**СЕРЫЙ,
СКОЛЬЗКИЙ**



**ЧЁРНЫЙ,
ПЫЛЬНЫЙ**

Металлы и металлоиды

Опыт

Возьмите пинцетом короткий кусочек грифеля и подержите его в пламени газовой горелки или свечи. Он раскалется, но горит очень медленно и почти ничего не оставляет. Потрите немного того же грифеля о бумагу, и он оставит серый скользкий след, совсем не такой, как уголь, оставляющий чёрный пыльный. Они выглядят и ведут себя по-разному, но оба — углерод: при достаточном жаре и кислороде оба исчезают в одном и том же невидимом газе.

Наконец Менделеев объясняет, почему он даёт список простых тел в самом начале книги. Понятие об элементах и простых телах — основа химии, и список показывает, что было известно в тот момент. Признано было около восьмидесяти простых тел, но около шести из них были так редки и получены в таких крошечных количествах, что сведения о них были скудны. Обычные тела природы составлены лишь из немногих простых тел, и они изучены лучше всего просто потому, что над ними могло ставить опыты множество людей. Какие же это тела? С этого списка начинается следующая часть.

Запомним

Вещество можно превратить только в вещества, содержащие те же простые тела, но возможных соединений бесконечно много, поэтому химия ищет стоящие за ними законы. Состав соединения выражает то, во что его можно превратить, а не готовые куски, сидящие внутри. Простое тело — отдельное вещество; элемент — материальная часть, общая у этого простого тела и всех его соединений. Уголь, графит и алмаз — три простых тела, но один элемент, углерод, который составляет около 27,3 процента углекислого газа. Металлы и металлоиды — полезное, но размытое деление, а из примерно восьмидесяти простых тел лучше всего известны обычные.

Вопросы

1. Почему никакая химическая работа не превратит поваренную соль в железо?
 - a. Потому что вещество можно превратить только в вещества, содержащие те же простые тела
 - b. Потому что соль растворяется в воде, а железо нет
 - c. Потому что железо тяжелее соли
 - d. Потому что соль — простое тело
2. Что мы на самом деле имеем в виду, говоря, что красная окись ртути содержит кислород?
 - a. Что газ кислород заперт внутри порошка
 - b. Что из неё можно получить ртуть и кислород и что она может передать их другим телам
 - c. Что при нагревании она пахнет кислородом
 - d. Что она весит столько же, сколько кислород
3. Как фтор мог считаться элементом прежде, чем кто-либо получил его отдельно?
 - a. Потому что его предсказывала теория четырёх стихий
 - b. Потому что он встречается свободным в воздухе
 - c. Потому что его соединения были известны и отличались от всех сходных соединений
4. Почему деление на металлы и металлоиды не может служить точной классификацией простых тел?
 - a. Потому что металлы нельзя получить в чистом виде
 - b. Потому что металлоиды проводят электричество лучше металлов
 - c. Потому что все простые тела на самом деле металлы

d. Потому что во многих случаях граница между двумя родами размыта

Ответы

1. a) Раз простые тела никогда не превращаются друг в друга, вещество можно превратить только в вещества, содержащие те же простые тела.
2. b) Мы говорим о том, что порошок может сделать; состав соединения есть выражение тех превращений, к которым оно способно.
3. c) Элемент можно узнать по его соединениям прежде, чем кто-либо увидит его простое тело.
4. d) В резких случаях оба рода легко различить, но во многих случаях граница размыта.

Задачи

1. Объясните своими словами разницу между простым телом и элементом на примере красной окиси ртути.

Подсказка: Спросите себя, что можно положить в банку и что общего у окиси и продуктов её разложения.

Ответ: Простое тело — отдельное вещество, как жидкая ртуть или газ кислород в банке. Элемент — материальная часть, общая у этого простого тела и всех его соединений. Красная окись ртути содержит не металл и газ, а элементы ртуть и кислород, как пар содержит вещество льда, но не сам лёд.

2. Уголь, графит и алмаз — разные простые тела. Объясните, почему химики всё же говорят, что у них один элемент, и при чём тут углекислый газ.

Подсказка: Подумайте, что общего у всех трёх друг с другом и с газом.

Ответ: Это разные видоизменения, но у них один элемент, углерод, который не подвержен изменению. Тот же углерод содержится в углекислом газе, но в газе нет ни угля, ни графита, ни алмаза: в нём есть элемент, а не какое-либо из его простых тел.

3. Если простые тела никогда не превращаются друг в друга, почему говорят, что число возможных соединений всё же бесконечно, и в чём тогда цель химии?

Подсказка: Подумайте, сколькими способами может соединяться небольшое число простых тел.

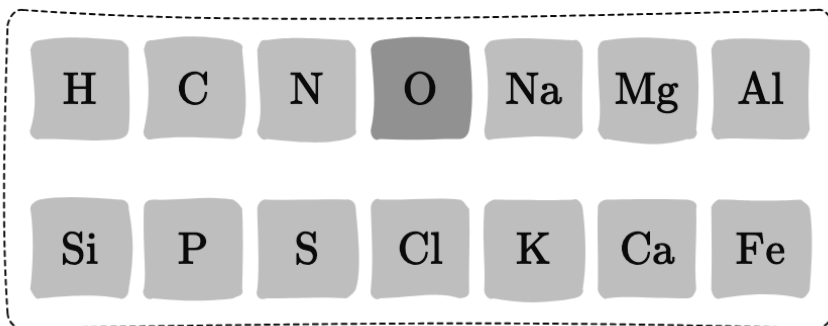
Ответ: Даже ограниченный набор простых тел может соединяться бесконечным числом способов и в бесконечных пропорциях, так что новые соединения можно получать всегда, и многие предсказываются прежде, чем их получают. Поэтому цель химии — не перечислять их, а находить правильности, законы, по которым соединения образуются и получают свои свойства.

Переключка элементов и сила, которая их связывает

Огляните кухню и попробуйте назвать простые тела, которые в ней прячутся. Вода в чайнике — это водород и кислород. Соль — натрий и хлор. Сталь ножей — в основном железо, сахар — углерод, водород и кислород, а стекло окон — в основном кремний и кислород. Иначе говоря, одна кухня уже содержит большинство простых тел, важных в обыденной жизни.

Менделеев говорит то же самое списком, и эта часть проходит по нему, а потом обращается к силе, которая удерживает элементы вместе.

ЧЕТЫРНАДЦАТЬ САМЫХ РАСПРОСТРАНЁННЫХ



Четырнадцать самых обычных

Он делит простые тела на группы. Сначала идут четырнадцать самых распространённых в природе, каждое со своим знаком и с тем, где оно встречается. Водород, H, — в воде и в живых существах. Углерод, C, — в живых существах, угле и известняке. Азот, N, — в воздухе и в живых существах. Кислород, O, — в воздухе, в воде и в земле, и масса его больше всех. Затем натрий, Na, в поваренной соли и многих камнях; магний, Mg, в морской воде и камнях; алюминий, Al, в камнях и глине; и кремний, Si, в песке, глине и камнях. Фосфор, P, — в костях, золе растений и почве; сера, S, — в колчедане, гипсе и морской воде; хлор, Cl, — в соли и морской воде. И наконец калий, K, в камнях, золе растений и селитре; кальций, Ca, в известняке, гипсе и живых

существах; и железо, Fe, в почве, железных рудах и живых существах.

Заметьте знаки, которые не совпадают с русскими названиями. Натрий — Na от латинского *natrium*, калий — K от *kalium*, а железо — Fe от *ferrum*: правило из прошлых частей, одна или две начальные буквы латинского названия. Заметьте и то, как мало этих четырнадцати. Почти всё, к чему можно прикоснуться, от скал до вашего собственного тела, построено из этого короткого списка.

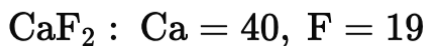
Дальше идёт группа побольше: простые тела, которые в природе нечасты, но применяются в быту или в промышленности. Здесь Менделеев даёт формулы, и читать их стоит медленно, потому что каждая формула — короткий рецепт. Литий, Li, встречается в медицине как Li_2CO_3 : два лития, один углерод и три кислорода. Фтор, F, встречается в плавленом шпате, CaF_2 : один кальций на два фтора. Барий, Ba, встречается в тяжёлом шпате, BaSO_4 , очень плотном белом минерале. Мышьяк, As, встречается как белый мышьяк, яд As_2O_3 . Бор даёт буру и борную кислоту; хром и марганец дают яркие краски и сильные окислители, среди них «хамелеон», фиолетовый марганцовокислый калий, меняющий цвет по ходу реакции. Кобальт окрашивает стекло в синий цвет, никель наносят на другие металлы, цинк идёт на листы, батареи и латунь, а медь — знакомый красный металл. Бром — бурая жидкость, легко испаряющаяся; стронций даёт красный цвет бенгальских огней; кадмий даёт жёлтую краску CdS ; сурьма входит в сплав типографского шрифта; иод применяется в медицине и фотографии. Серебро, олово, платина, золото, ртуть и свинец не нуждаются в представлении, а висмут применяется в медицине и в сплавах, плавящихся при слабом нагреве.

ФОРМУЛА — ЭТО РЕЦЕПТ



Формулы как рецепты

Прочтём одну из этих формул с числами, как учили прошлые части. Возьмём плавленый шпат, CaF_2 , где кальций $\text{Ca} = 40$, а фтор $\text{F} = 19$. Одна частица содержит один кальций и два фтора, так что весит $40 + 2 \times 19 = 78$. Кальций составляет $40 \cdot 100/78$, около 51,3 процента; фтор — остальные 48,7 процента. Словами: кристалл плавленого шпата весом 100 граммов содержит около 51 грамма кальция и 49 граммов фтора, хотя ни того, ни другого как такового вы в нём не увидите. Тюбик фтористой зубной пасты восходит к тому же элементу; фтор в ней содержится в виде соединения, а не свободного желтоватого газа.



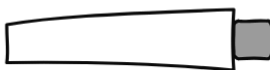
$$40 + 2 \times 19 = 78$$



Ca 51.3 %

F 48.7 %

$$100 \text{ Г} \rightarrow 51 \text{ Г} + 49 \text{ Г}$$



ФТОРИД: СОЕДИНЕНИЕ

Плавиковый шпат: 51,3 процента кальция

Затем идут две группы более редких элементов. Четырнадцать хорошо известны и довольно часто встречаются в природе в небольших количествах, но применений у них мало: среди них титан, вольфрам, уран и торий. Ещё восемнадцать ещё реже и во времена Менделеева не имели практического применения, хотя их соединения были изучены довольно тщательно: среди них галлий, германий и скандий.

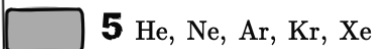
МАЛОУПОТР.



РЕДКИЕ



ГАЗЫ ВОЗД.



РАДИОАКТ.



СОЛНЦЕ



Более редкие группы

Затем особая группа: газы, открытые Рамзаем, присутствующие в воздухе в малых количествах и непохожие на все другие элементы одной поразительной чертой. Никому ещё не удалось получить ни одного их соединения с каким-либо другим элементом. Это гелий, неон, аргон, криптон и ксенон. Неон в старой вывеске магазина и аргон внутри многих электрических лампочек принадлежат к этой группе, и выбраны они именно потому, что почти ни с чем не реагируют. После них Менделеев упоминает некоторые основания причислить к элементам металлы актиний, полоний и радий, открытый госпожой Кюри, которые встречаются в крошечных количествах в соединениях урана и тория и называются радиоактивными. Так его счёт доходит до семидесяти семи, и ещё несколько, вроде гадолиния и

тербия, так редки, что их свойства почти не известны, а про некоторые не было даже уверенности, что это отдельные элементы.

Обзор закрывают два замечания. Первое поражает и сейчас. Изучая свет далёких звёзд и солнца, химики несомненно доказали, что водород, натрий, магний, железо и другие обычные элементы земли есть и там. Значит, простые тела, известные нам на земле, — не местная случайность; то же вещество рассеяно по всей вселенной. Второе — признание: почему одних элементов так много, а других так мало, никто ещё не знал.

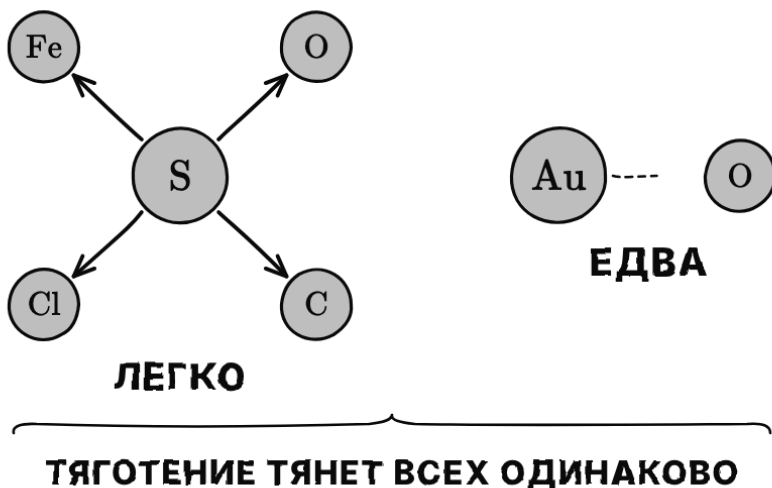
Опыт

Подержите щепотку поваренной соли в синем пламени газовой горелки и посмотрите, как пламя вспыхивает ярко-жёлтым. Этот жёлтый — свет натрия. Разложите солнечный свет призмой, и ровно на этом оттенке жёлтого окажется тёмная линия, знак натрия на солнце. По этому совпадению света химики и доказали, что натрий есть на солнце, ни разу там не побывав.

Теперь Менделеев переходит от списка к тому, что делает каждый элемент тем, что он есть. У каждого элемента своя готовность соединяться с другими, образовывать более или менее прочные соединения и переходить в ещё более сложные; эта готовность и есть его основной характер. Сера легко соединяется с металлами, с кислородом, с хлором и с углеродом. Серебро и золото соединяются неохотно, и многие их соединения непрочны

и распадаются при нагревании. Причина, побуждающая вещества изменяться, — та же, что потом удерживает элементы вместе и сообщает соединению прочность. Химики называют её **сродством**, или химическим сродством.

СРОДСТВО

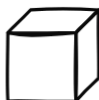


Одни соединяются легко, другие едва

На что похоже сродство? Оно тянет, и только тянет, поэтому в конце восемнадцатого и начале девятнадцатого века Бергман и Бертолле предполагали, что это, может быть, просто тяготение, действующее на крошечных расстояниях вместо больших. Менделеев отвечает: нет. Тяготение зависит только от масс и расстояний и никогда — от того, что за вещество; сродство же очень сильно зависит от того, каковы вещества. Грамм серы и грамм золота притягивают третье тело тяготением одинаково, а в

своём стремлении соединяться они различаются как нельзя больше.

Не совпадает сродство и со сцеплением, силой, которая удерживает вместе одно вещество, даёт твёрдому телу твёрдость, кристаллическую форму и упругость, а жидкости — капли и поднятие в тонких трубках. Сцепление действует между однородными частицами, сродство — между разнородными, хотя обе силы действуют лишь при соприкосновении и имеют много общего. И сродство — не прилипание разнородных тел: две полированные пластинки, сцепившиеся друг с другом, вода, смачивающая стекло, газ, сгущающийся на поверхности. При прилипании ничего нового не образуется; при химическом изменении одно вещество входит в другое и появляется новое. Всё же, признаёт Менделеев, эти силы прилипания — своего рода мост между механическим и химическим, потому что и они действуют только при полном соприкосновении.

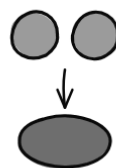


ТЯГОТЕНИЕ СЦЕПЛ. ПРИЛИП.

**ЛИШЬ
МАССА**

**ОДНО ТЕЛО
ДЕРЖИТСЯ**

**КАЖДОЕ
САМО ПО
СЕБЕ**



ХИМИЯ

**НЕЧТО
НОВОЕ**

ОДНА СЕМЬЯ СИЛ



Не тяготение, не сцепление и не прилипание

Большую часть девятнадцатого века химики отождествляли химические силы с электрическими. Связь здесь тесная: реакции дают электричество, а электрический ток может разлагать соединения. Но и у теплоты точно такая же связь: реакции дают теплоту, а теплота может разлагать соединения. Такие связи показывают лишь, что силы природы — одна семья и могут переходить друг в друга, а не что химическая сила есть электричество; и электрическая теория не выдержала проверки.

Что же остаётся? Теплота лучше всех прочих скрытых движений вещества понята, потому что сведена к простым понятиям механики, энергии, равновесия и движения, с которыми со времён Ньютона можно обращаться с точной математикой.

Естественно поэтому пытаться связать химию с теплотой, не утверждая, что химические изменения — это только теплота. Менделеев проводит сравнение с астрономией. Никто не знает, что такое тяготение на самом деле, а астрономы, применяя механику, до мелочей предсказывают движение планет; так и химики, не зная, что такое сродство, могут надеяться на большие успехи через механическую теорию теплоты. Эта область ещё не завершена и называется теоретической или физической химией, хотя сам Менделеев предпочитает название «химическая механика». А раз она предполагает, что вы уже знаете вещества, их превращения и то, что эти превращения сопровождает, она может идти только после основных понятий и самих веществ, которым и учит его книга.

Запомним

Четырнадцать простых тел, среди них водород, углерод, азот, кислород, кремний, кальций и железо, составляют почти всё обычное вещество природы, и кислорода в нём больше всего. Формула вроде CaF_2 — рецепт, который вместе с атомными весами даёт долю каждого элемента, здесь около 51 процента кальция. Затем идут более редкие группы, в том числе газы Рамзая, не образующие никаких соединений, и радиоактивные металлы; а свет звёзд показывает, что те же элементы есть во всей вселенной. У каждого элемента своя готовность соединяться, и сила, стоящая за ней, химическое сродство, зависит от того, каковы вещества, в отличие от тяготения, сцепления или электричества. Природа сродства неизвестна, поэтому химическая механика надеется продвинуться через механическую теорию теплоты, после того как будут изучены сами вещества.

Вопросы

1. Почему калий обозначают К, а железо — Fe?
 - а. Потому что знаки берутся из начальных букв латинских названий, kalium и ferrum
 - б. Потому что русские названия уже были заняты другими элементами
 - с. Потому что эти знаки выбраны случайно

- d. Потому что это сокращения немецких названий
2. Чем газы, открытые Рамзаем, отличаются от всех других элементов?
- a. Это самые тяжёлые из известных элементов
 - b. Никому ещё не удалось получить ни одного их соединения с каким-либо другим элементом
 - c. Они встречаются только на солнце
 - d. Они радиоактивны
3. Почему химическое сродство не может быть просто тяготением, действующим на малых расстояниях?
- a. Потому что тяготение не только притягивает, но и отталкивает
 - b. Потому что сродство действует только в жидкостях
 - c. Потому что тяготение зависит только от массы и расстояния, а сродство сильно зависит от того, каковы вещества
4. Почему Менделеев говорит, что связь химии с электричеством не доказывает, что химические силы электрические?
- a. Потому что электричество не действует на соединения
 - b. Потому что реакции никогда не дают электричества
 - c. Потому что электричество тогда совсем не было изучено
 - d. Потому что у теплоты точно такая же связь, а это показывает лишь, что силы природы переходят друг в друга

Ответы

- 1. а)** Каждое простое тело обозначают одной или двумя начальными буквами его латинского названия: калий — К от kalium, железо — Fe от ferrum.
- 2. б)** Никому ещё не удалось получить ни одного соединения гелия, неона, аргона, криптона или ксенона с каким-либо другим элементом.
- 3. в)** Тяготение зависит только от масс и расстояний и никогда — от того, что за вещество; сродство же очень сильно зависит от того, каковы вещества.
- 4. г)** Теплоту тоже дают реакции, и она тоже может разлагать соединения; такие связи показывают лишь, что силы природы — одна семья и могут переходить друг в друга.

Задачи

- 1.** Сера легко соединяется с металлами, кислородом, хлором и углеродом; серебро и золото соединяются неохотно, и их соединения распадаются при нагревании. Объясните, что это говорит о характере элемента и как называют причину.

Подсказка: Подумайте, что эта причина делает до образования соединения и после него.

Ответ: У каждого элемента своя готовность соединяться и образовывать более или менее прочные соединения, и в этом его основной характер. Причина, побуждающая вещества изменяться, — та же, что удерживает элементы вместе в соединении и сообщает ему прочность; её называют химическим сродством.

- 2.** Объясните, чем сродство отличается от сцепления и от прилипания двух полированных пластинок.

Подсказка: Спросите себя, между какими частицами действует каждая сила и образуется ли что-нибудь новое.

Ответ: Сцепление действует между частицами одного и того же вещества и удерживает его вместе; сродство действует между разнородными веществами. Прилипание тоже действует между разнородными телами, но ничего нового при этом не образуется; при химическом изменении одно вещество входит в другое и появляется новое. Все эти силы действуют только при соприкосновении.

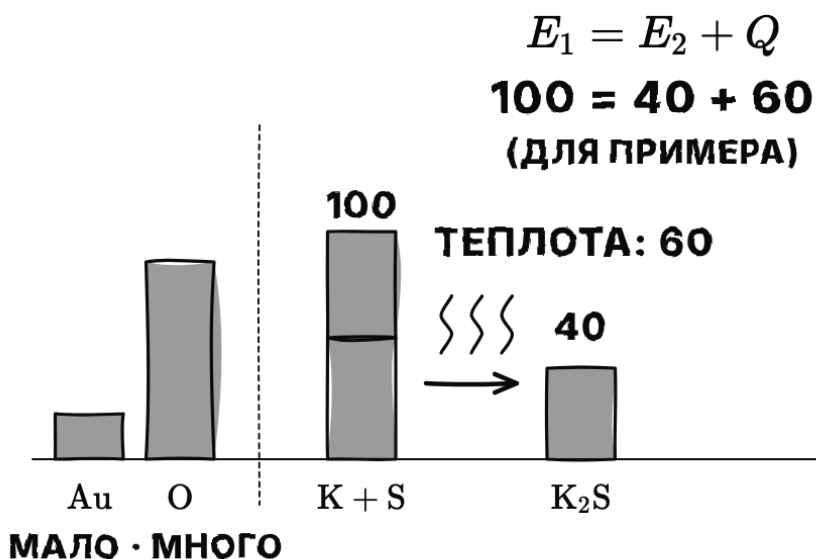
3. Менделеев сравнивает химическую механику с астрономией. Объясните это сравнение и почему химическая механика должна идти после изучения самих веществ.

Подсказка: Что неизвестно о тяготении и чего тем не менее добились астрономы?

Ответ: Никто не знает, что такое тяготение на самом деле, а механика позволяет астрономам до мелочей предсказывать небесные явления; так и химики, не зная, что такое сродство, надеются продвинуться через механическую теорию теплоты. Но химическая механика предполагает, что вещества, их превращения и то, что их сопровождает, уже известны, поэтому она может идти только после изучения основных понятий и веществ.

Запасённая энергия, постоянные рецепты и дороги в обе стороны

Поднесите кусочек калия к пламени, и он бурно горит; сделайте то же с серой, и она горит синим пламенем. Теперь нагрейте их вместе, пока они не соединятся, и попробуйте поджечь то, что получилось. На воздухе оно не загорится так, как горело каждое из них. Из них что-то ушло, и Менделеев говорит что: энергия, выделившаяся в виде теплоты в момент соединения.



Энергия уходит теплотой

Его рассуждение таково. Химические изменения происходят от сил внутри веществ; химические явления — всегда движения мельчайших частиц вещества; а физика показала, что энергия сохраняется, лишь меняя форму. Значит, всякое вещество, и в особенности всякий элемент, должно содержать запас химической энергии, невидимого движения, которое и вовлекает его в реакции. Когда реакция выделяет теплоту, часть этой химической энергии перешла в теплоту. Когда реакция поглощает теплоту, теплота отчасти скрывается в виде химической энергии. Батарейка — запас именно такого рода: химическая энергия, заложенная на заводе и выделяющаяся в виде электричества, когда цепь замыкается.

Запишем этот счёт формулой, в духе закона сохранения. Обозначим химическую энергию исходных веществ E_1 , энергию продуктов E_2 , а выделенную теплоту Q . Тогда $E_1 = E_2 + Q$. Словами: энергия до равна энергии после плюс то, что ушло в виде теплоты. Это как банковский счёт: если вы с него тратите, остаток уменьшается ровно на потраченное. В виде расчёта: пусть калий и сера содержали 100 единиц химической энергии, а при соединении выделилось 60 единиц теплоты; соединение сохраняет $100 - 60 = 40$ единиц, слишком мало, чтобы гореть, как горели элементы. Эти числа только для наглядности; в книге их нет, но логика — книжная.

После нескольких соединений, каждое из которых выделяет теплоту, у вещества может остаться так мало энергии, что оно почти не вступает в реакции. Но и тогда оно не кончено: такое вялое соединение может соединиться с энергичным элементом или соединением и дать более сложное, снова деятельное тело. Одни простые тела содержат мало энергии, как золото, платина и

азот; другие — очень много, как калий, хлор и кислород. А разнородные тела, соединяясь, часто дают соединения с меньшей энергией, как это было с калием и серой. Короче, говорит Менделеев, как вещество поглощает или выделяет теплоту, плавясь или кипя, так и всякое соединение и разложение меняет его запас химической энергии и выделяет или поглощает теплоту.

Для изучения того, как идут реакции, — области, которую он называет химической механикой, — Менделеев называет пять самых важных предметов. Первый — стехиометрия: учение о том, сколько каждого вещества вступает в реакцию, по весу и по объёму. Второй — различные виды химического взаимодействия; третий — как меняются свойства при изменении состава; четвёртый — что сопровождает реакцию, например теплота; и пятый — условия, при которых реакции происходят. Из них полнее всего была разработана стехиометрия. Её законы, найденные Дальтоном, Авогадро и Жераром и другими, так глубоки, что Менделеев называет всю свою эпоху эпохой их приложения и говорит, что всё в его книге расположено по ним.

СТЕХИОМЕТРИЯ

ДАЛЬТОН · АВОГАДРО · ЖЕРАР

ОПРЕДЕЛЁННОЕ



Hg 200

$$16 \cdot 100 / 216 \approx 7.4 \%$$

108 Г → 8 Г КИСЛОРОДА

НЕОПРЕДЕЛЁННОЕ



ЛЮБАЯ ДОЛЯ

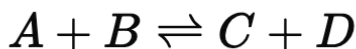
Постоянные и подвижные рецепты

Стехиометрия принесла новое деление соединений на определённые и неопределённые. В начале девятнадцатого века Бертолле такого различия не делал. Затем Пруст показал, что очень многие соединения содержат свои части в точной весовой пропорции, которая никогда не меняется, каковы бы ни были условия. Пример Менделеева — красная окись ртути: 16 частей кислорода на каждые 200 частей ртути, что пишется HgO. Воспользуемся этой пропорцией вслух. Вся частица весит $200 + 16 = 216$ частей, так что кислород составляет $16 \cdot 100 / 216$, около 7,4 процента. Словами: всякий образец красной окиси ртути, откуда бы он ни был взят, содержит по весу около 7,4 процента кислорода; например, в 108 граммах её $108 \times 16 / 216 = 8$ граммов кислорода и 100 граммов ртути.

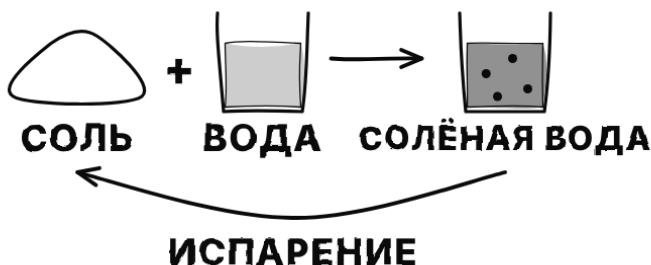
Сплав меди и серебра — другое дело. Можно добавить любое количество того или другого металла и всё равно получить однородное целое, свойства которого — смесь свойств частей. Так же и раствор сахара в воде: его можно сделать слабее или крепче, как угодно. Это неопределённые соединения. Латунь дверной ручки и сладкий чай в чашке — неопределённые соединения в этом смысле; рецепт может меняться. Менделеев подчёркивает, что сплавы и растворы не менее важны в природе, в лабораториях и на заводах, но так как законы стехиометрии выработаны на определённых соединениях, о неопределённых известно гораздо меньше, и лишь недавно химики обратились к ним.

Далее он отделяет реакции обратимые от необратимых. Реакция обратима, если при той же температуре её продукты могут снова превратиться в исходные вещества. Соль растворяется в воде при комнатной температуре, и при той же температуре раствор отдаёт соль обратно, когда вода испаряется. Сероуглерод образуется из серы и угля при температуре, при которой он может и распадаться на них обратно. Раскалённое железо отнимает кислород у воды и освобождает водород, образуя окись железа; но при той же температуре водород превращает окись железа обратно в железо и воду.

ОБРАТИМАЯ



БОЛЬШЕ В ↑



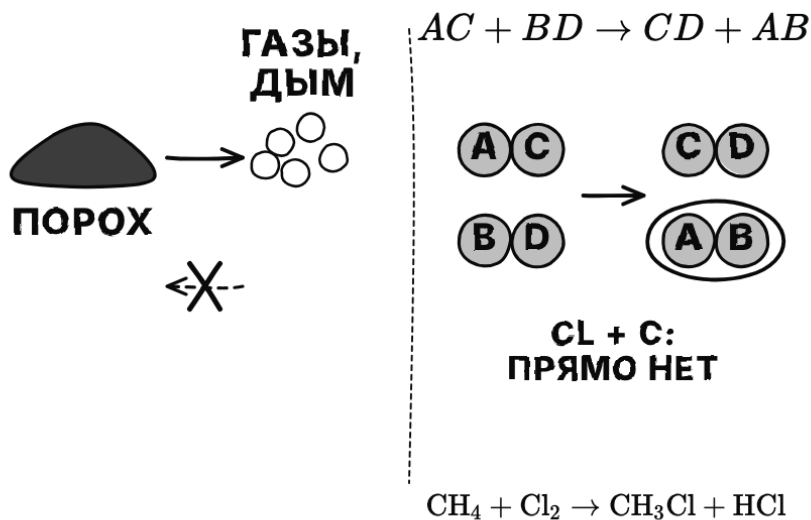
РАВНОВЕСИЕ



Дороги в обе стороны

Запишем буквами: $A + B \rightleftharpoons C + D$, где двойная стрелка значит, что дорога идёт в обе стороны. Начните с A и B или начните с соответствующих количеств C и D — в обоих случаях вы придёте к тому, что все четыре будут рядом. Такое состояние называется химическим равновесием. Это как две комнаты, соединённые открытой дверью, через которую люди ходят туда и обратно: через некоторое время число людей в каждой комнате перестанет меняться, хотя люди продолжают ходить. Добавьте побольше одного вещества, и равновесие сдвинется в новое положение; так обратимые реакции позволяют химикам изучать, как количество вещества влияет на ход реакции.

Необратимые реакции обычны среди очень сложных веществ и смесей. Многие вещества растений и животных распадаются при нагревании, но их части никогда, ни при какой температуре, не восстанавливают их. Порох, смесь селитры, серы и угля, сгорает в газы и дым, и они никогда не превращаются обратно в порошок. Чтобы получить такие вещества вновь, нужен обходной путь.



В одну сторону и в обход

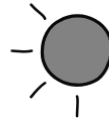
Этот обходной путь — последний и самый тонкий пункт Менделеева: то, что два элемента не соединяются прямо, не значит, что они не могут образовать соединения. Пусть А никогда не соединяется с В прямо. Соедините А с С, а В с D, причём выберите С и D так, чтобы у них было сильное сродство друг к другу. Тогда $AC + BD \rightarrow CD + AB$. Словами: С и D бросаются друг

к другу, а А и В, внезапно освободившиеся в одном и том же месте, соединяются между собой. Мысль в том, что вещества особенно склонны соединяться в момент выделения, «в состоянии рождения», *in statu nascendi*, как говорят по-латыни.

Его пример — хлор и углерод. Хлор прямо не действует ни на уголь, ни на графит, ни на алмаз, а между тем существует множество соединений хлора с углеродом, и некоторые из них очень прочны. Их получают, действуя хлором на углеводороды, соединения углерода с водородом. В современной записи простейший случай таков: $\text{CH}_4 + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl} + \text{HCl}$. Словами: хлор отнимает водород, а углерод, освобождённый в этот самый миг, принимает на его место хлор, так что хлор оказывается соединённым и с водородом, и с углеродом.

Опыт

Растворите ложку соли в блюде с водой и оставьте блюдо на солнечном подоконнике на несколько дней. По мере испарения воды по краям, а потом и по всему дну появляются кристаллы соли. Добавьте воды снова, и они растворятся; дайте высохнуть, и они вернутся. При одной и той же комнатной температуре изменение идёт в обе стороны — именно это Менделеев и называет обратимой реакцией.



СУХО $\rightleftharpoons$ МОКРО

НЕСКОЛЬКО ДНЕЙ



КРИСТАЛЛЫ

ТА ЖЕ ТЕМПЕРАТУРА, В ОБЕ СТОРОНЫ

Соль, которая уходит и возвращается

Запомним

Всякое вещество содержит запас химической энергии; теплота, выделенная в реакции, — энергия, ушедшая из этого запаса, а поглощённая теплота отчасти запасается. Стехиометрия, учение о том, сколько вещества вступает в реакцию, была самой разработанной частью химии, и она делит соединения на определённые и неопределённые. Определённое соединение имеет постоянную пропорцию, как красная окись ртути с 16 частями кислорода на 200 ртути, около 7,4 процента кислорода; сплавы и растворы могут меняться. В обратимой реакции продукты могут при той же температуре дать обратно исходные вещества, и все четыре приходят к равновесию; в необратимой — не могут. Элементы, которые никогда не соединяются прямо, всё же можно соединить обходным путём, встретив их в момент выделения, как углерод и хлор.

Вопросы

1. Калий и сера легко горят, а их соединение на воздухе так не горит. Как это объяснить?
 - a. Часть их химической энергии ушла в виде теплоты при соединении, так что у соединения её меньше
 - b. В соединении нет ни калия, ни серы
 - c. Соединение удваивает энергию, и вещество становится слишком прочным

- d. Соединение нельзя нагреть
2. Что показал Пруст, чего не различал Бертолле?
- a. Что все соединения могут иметь любые пропорции
 - b. Что многие соединения содержат свои части в точной весовой пропорции, которая никогда не меняется
 - c. Что сплавы — простые тела
 - d. Что теплота не действует на соединения
3. Что окажется в конце обратимой реакции $A + B \rightleftharpoons C + D$, если начать только с C и D?
- a. Только C и D без изменений
 - b. Только A и B, полностью превращённые
 - c. Все четыре рядом, в химическом равновесии
 - d. Новое вещество, образовавшееся в состоянии рождения
4. Хлор никогда не действует прямо на уголь, а соединения хлора с углеродом существуют. Как это согласуется с мыслью Менделеева?
- a. Хлор реагирует с углеродом только на свету
 - b. Эти соединения получают, нагревая хлор с алмазом
 - c. Эти соединения на самом деле смеси, а не соединения
 - d. Хлор, действуя на углеводороды, освобождает углерод в тот миг, когда он может принять хлор, в состоянии рождения

Ответы

1. а) Из них что-то ушло: энергия, выделившаяся в виде теплоты в момент соединения.

2. **b)** Пруст показал, что очень многие соединения содержат свои части в точной весовой пропорции, которая никогда не меняется, каковы бы ни были условия.
3. **с)** Начните с А и В или с соответствующих количеств С и D — в обоих случаях в конце все четыре будут рядом: химическое равновесие.
4. **d)** Хлор отнимает водород, а углерод, освобождённый в этот самый миг, принимает на его место хлор.

Разобранные примеры

Кислород в красной окиси ртути Красная окись ртути содержит 16 частей кислорода на 200 частей ртути, и эта пропорция постоянна. Сколько процентов в ней кислорода и сколько граммов кислорода в 108 граммах её?

Пропорция определённая, так что каждые $200 + 16 = 216$ частей окиси содержат 16 частей кислорода.

Процент кислорода равен $16 \times 100 / 216$, около 7,4 процента.

В 108 граммах содержится $108 \times 16 / 216$ граммов кислорода.

$108/216$ — это половина, так что получается $16/2 = 8$ граммов, а остальные 100 граммов — ртуть.

Ответ: Около 7,4 процента; 8 граммов кислорода в 108 граммах

Задачи

1. Сколько красной окиси ртути можно получить из 50 граммов ртути, если окись всегда содержит 16 частей кислорода на 200 частей ртути?

Подсказка: Найдите, сколько кислорода приходится на 50 граммов ртути, и сложите.

Ответ: 54 грамма. 50 — это четверть от 200, значит, нужна четверть от 16, то есть 4 грамма кислорода, и $50 + 4 = 54$ грамма окиси.

2. Смесь меди и серебра можно сделать в любых пропорциях, а красную окись ртути нельзя. Объясните, что здесь определённое соединение, а что неопределённое, и почему стехиометрия знала больше о первом роде.

Подсказка: Спросите себя, может ли меняться весовая пропорция.

Ответ: Красная окись ртути — определённое соединение: её весовая пропорция постоянна. Сплав меди и серебра — неопределённое: можно добавить любое количество того или другого металла, и целое останется однородным. Законы стехиометрии выработаны главным образом на определённых соединениях, поэтому знание неопределённых, сплавов и растворов, было менее полным.

3. Объясните, почему горение пороха называют необратимым, а растворение соли в воде — обратимым.

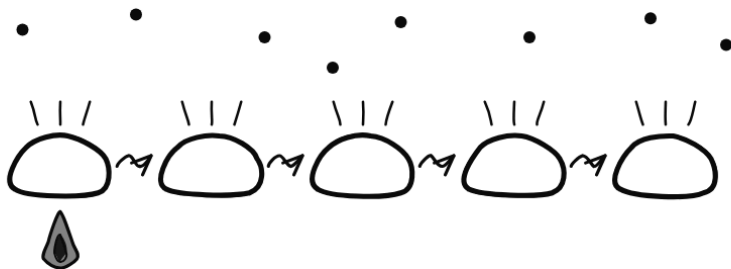
Подсказка: Могут ли продукты дать обратно исходные вещества при той же температуре?

Ответ: Газы и дым пороха ни при какой температуре не превращаются обратно в селитру, серу и уголь, так что эта реакция необратима. Раствор соли отдаёт соль обратно, когда вода испаряется при той же температуре, так что растворение обратимо.

Теплота, работа и температурное ОКНО

Подержите кусок угля в воздухе прохладной комнаты. Он окружён кислородом, тем самым газом, в котором горит, и всё же ничего не происходит; он может пролежать так годы. Теперь коснитесь одного его угла пламенем, пока тот не раскалится докрасна. Раскалённое место загорается, выделяет теплоту, раскаляет соседнее место, и скоро весь кусок горит сам. Розжиг для мангала работает именно так: нужно лишь раскалить докрасна один угол угля, а остальное последует. Почему же кислород и уголь, вполне готовые соединиться, ждут теплоты, прежде чем это сделать?

КИСЛОРОД ВОЗДУХА



ДОКРАСНА ЖАР ПЕРЕДАЁТСЯ

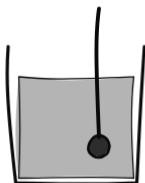
Уголь ждёт теплоты

Менделеев начинает с более широкого начала. Химическая реакция не только производит движение, теплоту, свет, электрическое напряжение и ток; каждое из них, в свою очередь, может изменить ход реакции. Влияние идёт в обе стороны, и он объясняет почему: все явления природы — разные виды движения, видимого и невидимого, а невидимые — это движения молекул. Физика показала, что звук, а затем и свет — колебания и что теплота связана с механической работой.

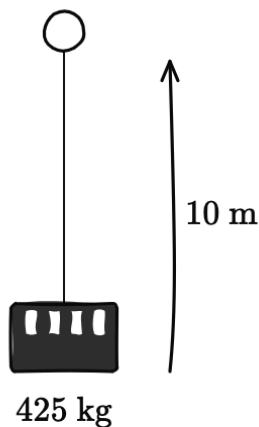
У этой последней связи есть точное число, и это формула этой части. Менделеев пишет её в единицах своего времени: $425 \text{ кгм} = 1 \text{ Кал}$. Словами: 425 килограмметров механической работы стоят одной килограммовой единицы теплоты. Килограммометр

— это работа поднятия одного килограмма на один метр, а килограммовая единица теплоты, большая калория, — теплота, нагревающая один килограмм воды на один градус. Мысль в том, что теплота и работа — две валюты одних и тех же денег, а 425 — обменный курс. Теперь расчёт вслух. Чтобы нагреть один литр воды, который весит один килограмм, с 20 до 30 градусов, нужно 10 больших калорий. В работе это $10 \times 425 = 4250$ килограммометров — достаточно, чтобы поднять пианино весом 425 килограммов на десять метров. Так что малое количество теплоты — удивительно большое количество работы, и потому сжигание топлива вообще может двигать машины.

$$425 \text{ kgm} = 1 \text{ Cal}$$



$$1 \text{ kg} : 20^{\circ} \rightarrow 30^{\circ} \\ = 10 \text{ Cal}$$

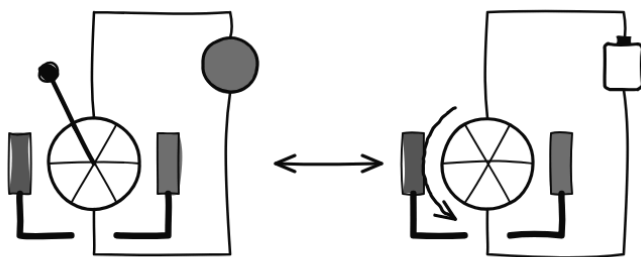


$$10 \times 425 = 4250 \text{ kgm}$$

Обмен теплоты и работы

Электричество тоже обменивается с движением. Вращайте машину Грамма, замечает Менделеев, и получите ток; пропустите ток через ту же машину, и она завертится. Превращение идёт в обе стороны, так же как у теплоты и работы. Электромотор кухонного блендера и генератор электростанции — одна и та же машина, работающая в противоположных направлениях. Значит, заключает он, химическая механика должна брать свои главные линии из связей химии с физикой. Но предмет был ещё слишком сложен и слишком нов для прочной теории или даже удовлетворительной гипотезы, поэтому он выделяет его в особую ветвь — физическую химию.

ХИМИЯ СЛЕДУЕТ ЗА ФИЗИКОЙ



ВРАЩЕНИЕ → ТОК ТОК → ВРАЩЕНИЕ



ГЕНЕРАТОР



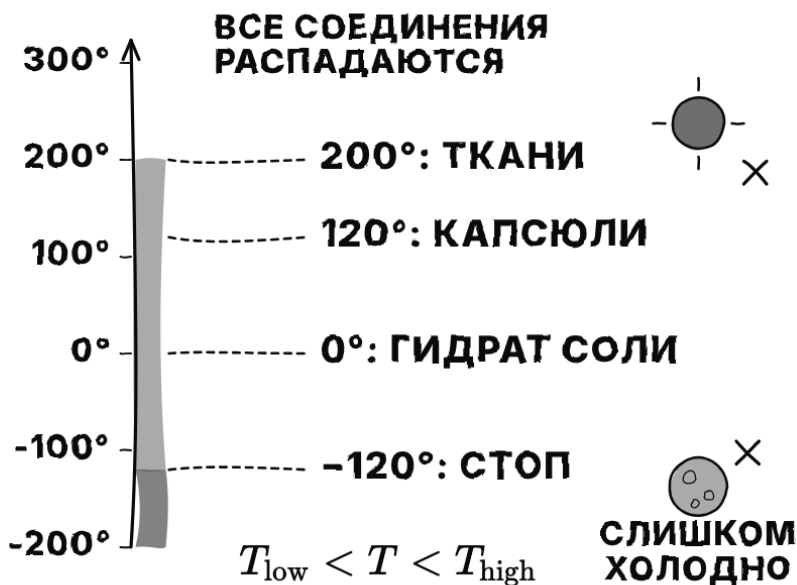
**УСЛОВИЯ:
СНАЧАЛА ЖАР**



**МОТОР
БЛЕНДЕРА**

Движение и ток в обе стороны

Что он излагает, так это условия. Реакция идёт так или иначе не только из-за масс, состава и сродства веществ, но и из-за условий, в которых они находятся. Часто реакции нужны условия, сильно отличающиеся от тех, в которых вещества встречаются в природе. Таков уголь: ему нужен не только кислород, но и красный жар. Раскалённая часть соединяется с кислородом, выделенная ею теплота доводит соседнюю часть до красного каления, и только тогда та начинает гореть. Всякая реакция, говорит Менделеев, идёт только при определённых физических и механических условиях, и первое из них — степень нагревания.



Температурное окно

Соединения происходят только в определённых пределах температуры. Горение — один пример: оно начинается и

продолжается только при красном калении. Пример более странный: хлор и поваренная соль образуют соединение с водой только ниже 0° ; выше этого соединения не образуется, а если уже образовалось, то распадается целиком или отчасти.

Почему теплота помогает реакции? Менделеев даёт две причины. Во-первых, теплота может расплавить или превратить в пар одно из веществ, а жидкость или газ позволяет частицам прийти в более полное соприкосновение, которое нужно каждой реакции. Во-вторых, теплота ослабляет сцепление, связь между однородными частицами, так что части исходных веществ легче расходятся и свободнее образуют новые соединения. А когда реакция должна поглотить теплоту, как при разложениях, нужда в нагревании очевидна.

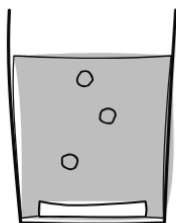
На самом деле, говорит Менделеев, все соединения разлагаются, если нагреть их достаточно сильно. Примеры нам встречались: красная окись ртути, распадающаяся на ртуть и кислород, и дерево, распадающееся от жара. Некоторым соединениям нужно совсем немного. Гремучая ртуть в капсуле ружья разлагается при температуре чуть выше 120° . Многие вещества животных и растительных тканей разлагаются к 200° .

У окна есть и нижний край. В сильный холод реакции прекращаются: зимой растения останавливают свою химию. В 1892 году Рауль Пикте с помощью кипения сжиженных газов достиг примерно -200° . Ниже -120° , нашёл он, не реагируют даже серная кислота и едкий натр, ни серная кислота и металлический натрий, хотя при комнатной температуре они реагируют бурно. Даже лакмус, краска, краснеющая в кислоте, меняет цвет только выше -80° .

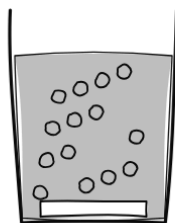
Запишем это окно формулой. Для каждой реакции есть нижний предел $T_{\text{низ}}$ и верхний предел $T_{\text{верх}}$, и реакция идёт, только когда $T_{\text{низ}} < T < T_{\text{верх}}$. Словами: слишком холодно — и частицы слишком вялы, чтобы реагировать; слишком жарко — и соединение распадается так же быстро, как образуется. Для кислоты и натра в опыте Пикте нижний предел лежит где-то выше -120° ; для соединения соли с водой верхний предел — около 0° . И Менделеев делает поразительный вывод: на солнце, где очень жарко, или на луне, где очень холодно, многие реакции, которые мы каждый день видим на земле, наверняка вовсе не могут происходить.

Опыт

Насыпьте по две чайные ложки пищевой соды в два стакана. В один налейте холодной воды из холодильника и выжмите сверху лимонного сока; в другом стакане сделайте то же с горячей водой из чайника. Посмотрите на шипение: в горячем стакане оно быстрое и живое, в холодном — медленное и ленивое. Реакция та же, но её скорость зависит от температуры — маленький взгляд в температурное окно.



ХОЛОДНО



ГОРЯЧО

ТА ЖЕ РЕАКЦИЯ, ИНОЙ ТЕМП

Холодный стакан, горячий стакан

Запомним

Реакции производят движение, теплоту, свет и электричество, и каждое из них в свою очередь может изменять реакции, потому что все они — формы движения. Теплота и работа обмениваются по постоянному курсу: 425 килограммометров работы равны одной большой калории теплоты. Каждой реакции нужны свои условия, и первое из них — температура, как уголь горит, лишь раскалившись докрасна. Теплота помогает реакциям, расплавляя или испаряя вещества и ослабляя сцепление, а достаточно сильный жар разлагает всякое соединение. Каждая реакция идёт только внутри температурного окна: Пикте нашёл, что ниже минус ста двадцати градусов прекращаются даже бурные реакции.

Вопросы

1. Почему, когда один уголок куска угля раскалён докрасна, весь кусок продолжает гореть сам?
 - а. Потому что теплота горячей части доводит соседнюю часть до красного каления, а горит только раскалённый уголь
 - б. Потому что пламя разносит кислород по углю
 - в. Потому что зажжённый уголь горит при любой температуре

- d. Потому что воздух нагревается и сразу всюду начинает реакцию
2. Почему теплота, свет или электричество могут изменить реакцию, а не только быть ею произведены?
- a. Потому что реакции — род электричества
 - b. Потому что все явления природы — разные виды движения, видимого и невидимого
 - c. Потому что теплота и свет — вещества, входящие в соединения
3. Какую из этих причин Менделеев называет, объясняя, почему нагревание помогает реакции?
- a. Теплота добавляет в смесь новые простые тела
 - b. Теплота делает вещества тяжелее
 - c. Теплота ослабляет сцепление, и части исходных веществ легче расходятся
 - d. Теплота усиливает связь между однородными частицами
4. Что показали опыты Пикте со сжиженными газами?
- a. Что холод ускоряет все реакции
 - b. Что серная кислота и едкий натр лучше всего реагируют замороженными
 - c. Что лакмус никогда не меняет цвет в кислоте
 - d. Что ниже примерно минус ста двадцати градусов не идут даже бурные реакции

Ответы

1. **a)** Раскалённая часть соединяется с кислородом, а выделенная ею теплота доводит соседнюю часть до красного каления; только тогда та начинает гореть.
2. **b)** Влияние идёт в обе стороны, потому что все явления природы — разные виды движения, а невидимые из них — движения молекул.
3. **c)** Теплота ослабляет сцепление, связь между однородными частицами, так что части исходных веществ легче расходятся.
4. **d)** Ниже минус ста двадцати градусов не реагируют даже серная кислота и едкий натр, так что у каждой реакции есть нижний предел температуры.

Разобранные примеры

Теплота как работа Пользуясь механическим эквивалентом теплоты, 425 килограммометров работы на одну килограммовую единицу теплоты, найдите, какая работа соответствует 6 единицам теплоты.

Эквивалент — это обменный курс: одна единица теплоты стоит 425 килограммометров работы.

Значит, 6 единиц стоят в 6 раз больше.

$$6 \times 425 = 2550.$$

Ответ: 2550 килограммометров

Задачи

1. Машина совершает 3400 килограммометров работы, и вся она переходит в теплоту. Сколько это килограммовых единиц теплоты?

Подсказка: Разделите работу на курс, 425 килограммометров на единицу теплоты.

Ответ: 8 единиц теплоты, так как $3400 / 425 = 8$.

2. Менделеев говорит, что многие реакции, наблюдаемые на земле, наверняка не могут идти на солнце или на луне.

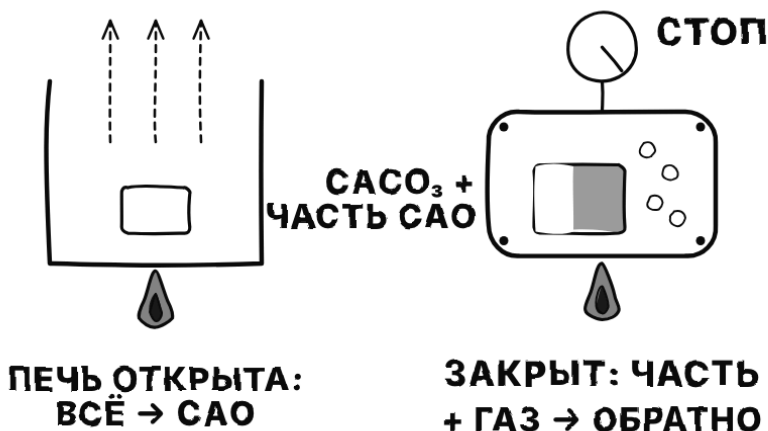
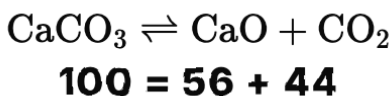
Объясните почему, опираясь на сказанное в этой части о температуре.

Подсказка: У каждой реакции есть нижний и верхний предел температуры.

Ответ: Каждая реакция идёт только в определённых пределах температуры. На солнце так жарко, что соединения разлагаются, ведь всякое соединение разлагается от достаточно сильного жара; на луне так холодно, что, как нашёл Пикте, прекращаются даже бурные реакции. Поэтому многие земные реакции оказываются там вне своего окна.

Незавершённые разложения и сила тока

Известковая печь — высокая печь, набитая кусками известняка, с огнём внизу. Нагревайте её сутки, и каждый кусок превратится в жжёную известь, а углекислый газ уйдёт в трубу. Теперь представьте то же самое в закрытой железной трубке. Менделеев описывает именно это: положите известняк в ружейный ствол, заклепайте конец и нагрейте докрасна. На этот раз разлагается только часть камня, а остальное остаётся известняком, сколько бы вы ни ждали. В чём разница?



Открытая печь, запаянный ствол

Ответ — явление, которое Менделеев называет диссоциацией. Возьмите соединение, которое может снова образоваться из своих продуктов, то есть обратимое, и нагрейте его. При определённой температуре оно начинает разлагаться, но в закрытом пространстве не доходит до конца. Распадается лишь доля; остальное остаётся нетронутым. Поднимите температуру, и доля растёт; при каждой температуре, при данном объёме, есть постоянное отношение разложившегося вещества к нетронутому, пока наконец не будет достигнута температура, при которой соединение распадается полностью. Это неполное, зависящее от температуры разложение и есть диссоциация, и у неё есть начальная и конечная температура.

Для известняка реакция в современной записи такова: $\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{CO}_2$. Словами: известняк распадается на известь и углекислый газ, а известь и газ могут снова соединиться в известняк. По весу 100 граммов известняка дают 56 граммов извести и 44 грамма газа, так как $56 + 44 = 100$. В открытой печи газ уходит так же быстро, как образуется, поэтому обратная дорога не используется, и все 100 граммов переходят в известь. В запаянном стволе газ уйти не может. Его давление растёт, пока не достигнет наибольшего давления, свойственного этой температуре, — его называют давлением диссоциации, — и тогда разложение прекращается. Накачайте больше газа, и известь с газом снова начнут соединяться; выпустите часть, и разложение возобновится.

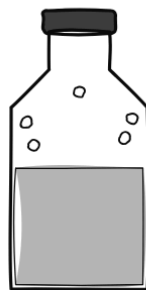
Сравнение Менделеева позволяет легко это себе представить: диссоциация совсем как испарение. Оставьте воду в закрытой банке, и она будет испаряться, пока пар над ней не достигнет наибольшего давления для этой температуры; тогда испарение

прекратится. Добавьте пара, и часть его стухитиса обратно в жидкость; уберите часть, и вода испарится ещё. Закрытая бутылка воды на тёплом подоконнике запотеваёт изнутри, но никогда не высыхает именно по этой причине, а открытый стакан рядом медленно пустеет. Печь — это открытый стакан, а ружейный ствол — закрытая бутылка. Эти понятия, говорит Менделеев, ввёл в науку Анри Сент-Клер Деви́ль, и он будет часто к ним возвращаться.



ОТКРЫТ: ПУСТЕЕТ

КАК ПЕЧЬ



ЗАКРЫТ: СТОП

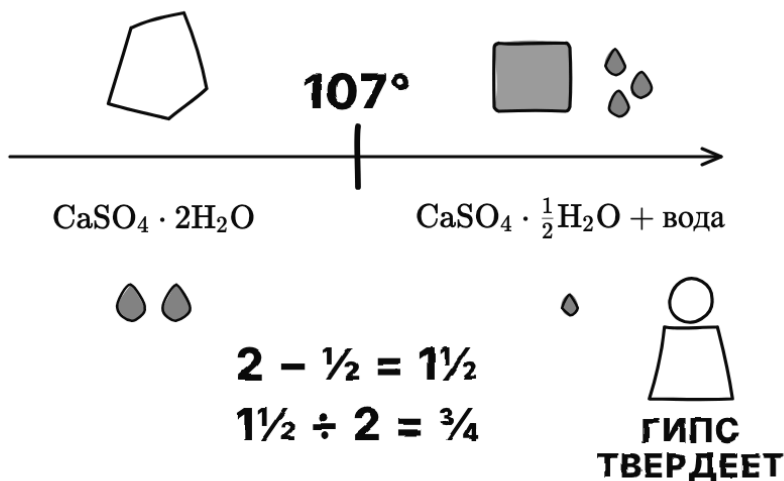
КАК СТОЛ

СЕНТ-КЛЕР ДЕВИЛЬ

Как вода в закрытой бутылке

Отсюда следуют ещё два пункта. Во-первых, разделённые части легче всего соединяются вблизи той температуры, при которой начинается диссоциация; так что температура, при которой соединение начинает распадаться, близка к температуре, при

которой его части начинают реагировать. Во-вторых, некоторые изменения происходят при одной резкой температуре, как плавление или кипение. Выше неё соединение распадается, ниже — образуется вновь, и переход можно увидеть по термометру или по внезапному изменению объёма, измеренному дилатометром.

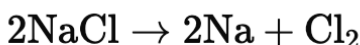
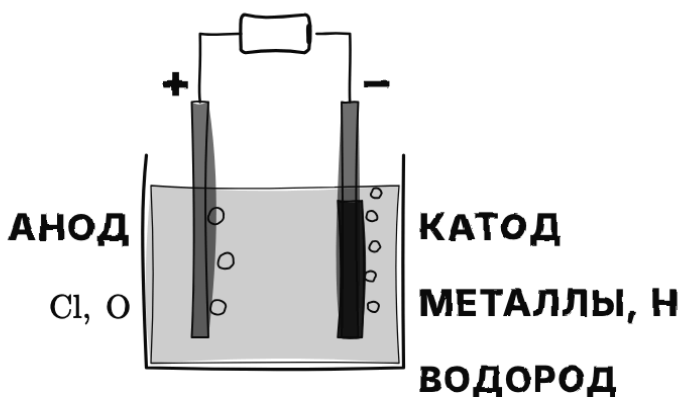


Гипс при 107 градусах

Его пример — гипс, минерал с двумя водами, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. В закрытом пространстве при 107° он полностью распадается на мокрую массу: соль лишь с половиной воды, $\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$, и жидкую воду. Сосчитаем воду. До этого на каждую частицу приходилось 2 воды; после соль удерживает $\frac{1}{2}$. Значит, освободившейся воды $2 - \frac{1}{2} = 1\frac{1}{2}$, а в доле от исходной $1\frac{1}{2} / 2 = \frac{3}{4}$ — ровно те три четверти, о которых пишет Менделеев.

Охладите ниже 107° , и соль с двумя водами образуется снова. Алебастр, или жжёный гипс, — это и есть соль с половиной воды; смешайте её с водой, и она затвердевает, забирая воду обратно, — поэтому гипсовые слепки можно отливать при комнатной температуре.

Теперь второй деятель этой части — электричество. Его действие, говорит Менделеев, очень похоже на действие теплоты. Большинство соединений, проводящих гальванический ток, им разлагаются, а вблизи условий разложения происходит и соединение, точно как при нагревании. Электричество, как и теплота, — род молекулярного движения. Но у него есть одно большое преимущество: оно может разлагать соединения при обычной температуре и может расщепить даже самые прочные из них.



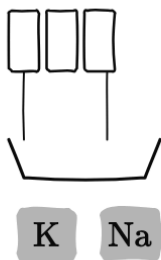
Ток расщепляет соль

И оно показывает то, чего теплота никогда не могла: части появляются у разных полюсов. Ток входит в вещество и выходит из него через два электрода. У положительного полюса, анода, появляются вещества, называемые электроотрицательными: в основном неметаллы, как хлор и кислород, а также кислоты и им подобные. У отрицательного полюса, катода, появляются электроположительные: металлы, водород и подобные им продукты, которые называют ионами. Так для поваренной соли, разлагаемой током, в современной записи $2\text{NaCl} \rightarrow 2\text{Na} + \text{Cl}_2$: натрий идёт к катоду, хлор — к аноду.

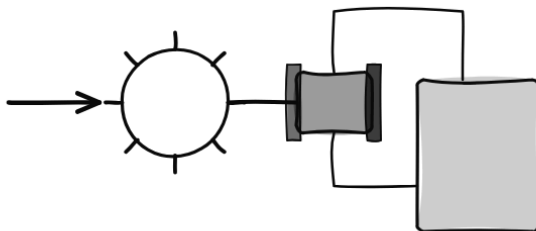
Опыт

Налейте в стакан тёплой воды и размешайте в ней чайную ложку соли. Присоедините два карандашных грифеля или два зачищенных провода к клеммам батарейки на 9 вольт и опустите их свободные концы в воду, немного поодаль друг от друга. Посмотрите на провод, присоединённый к минусу: от него поднимается струйка мелких пузырьков — водород, как и говорит Менделеев, появляющийся у отрицательного полюса. Делайте это не дольше минуты, в проветриваемой комнате, и не нюхайте воду у другого провода: она может выделять немного хлора.

Этот способ вошёл в историю. Многие простые тела были впервые получены с помощью тока. Самые знаменитые — калий и натрий: Лавуазье и его современники не могли разложить их соединения с кислородом, а англичанин Дэви пропустил через них ток и нашёл металлы, появляющиеся у отрицательного полюса. Долгое время это оставалось лабораторным подвигом. Потом динамо-машины, вращаемые сжиганием топлива или водой и другими двигателями, сделали ток дешёвым, и способ Дэви стал заводским. Натрий получали из расплавленного едкого натра, NaOH , который во времена Менделеева писали NaHO , а хлор — из растворов поваренной соли.



ДЭВИ



ЗАВОД

$\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}, \quad \text{NaCl} \rightarrow \text{Cl}$

От стола Дэви до завода

Запомним

Диссоциация — неполное разложение обратимого соединения, при котором в закрытом пространстве при каждой температуре распадается постоянная доля. Если продукты уходят, как из открытой известковой печи, разложение идёт до конца; если их удерживают, как в запаянном стволе, оно останавливается на давлении диссоциации, так же как испарение останавливается в закрытой банке. Некоторые изменения происходят при одной резкой температуре, как у гипса при ста семи градусах: он теряет три четверти своей воды и при охлаждении забирает её обратно. Электрический ток разлагает соединения даже при комнатной температуре, причём неметаллы появляются у положительного полюса, а металлы и водород — у отрицательного. Так Дэви получил калий и натрий, а дешёвый ток динамо-машин сделал это заводским способом получения металлов и хлора.

Вопросы

1. Почему известняк в открытой печи разлагается полностью, а в запаянном ружейном стволе — лишь отчасти?
 - а. В печи газ уходит; в стволе он остаётся, и разложение прекращается, когда его давление достигает давления диссоциации
 - б. Ствол нельзя нагреть так сильно, как печь

- c. Железо реагирует с известняком и защищает его
 - d. Печь добавляет кислород, которого нет в стволе
2. В запаянный ствол при той же температуре накачивают ещё углекислого газа. Что происходит?
- a. Разлагается больше известняка
 - b. Известь и газ начинают снова соединяться в известняк
 - c. Ничего не меняется
 - d. Известь плавится
3. Какое преимущество перед теплотой имеет электрический ток при разложении соединений?
- a. Он добавляет к соединению новые элементы
 - b. Он действует только на непрочные соединения
 - c. Он действует при обычной температуре и может расщепить даже самые прочные соединения
4. Где появляется натрий, когда поваренную соль разлагают током, и почему это согласуется с правилом?
- a. У анода, потому что металлы электроотрицательны
 - b. У обоих полюсов, потому что в соли два элемента
 - c. Нигде, потому что натрий остаётся в растворе
 - d. У катода, потому что металлы электроположительны

Ответы

1. а) В запаянном стволе газ уйти не может; его давление растёт до наибольшего для этой температуры, и тогда разложение прекращается.

2. **b)** Накачайте больше газа, и известь с газом снова начнут соединяться; выпустите часть, и разложение возобновится.
3. **с)** Электричество может разлагать соединения при обычной температуре и может расщепить даже самые прочные из них.
4. **d)** Металлы и водород появляются у отрицательного полюса, катода; хлор идёт к аноду.

Разобранные примеры

Вода, теряемая гипсом Гипс, соль сернокислого кальция с двумя водами, при 107° в закрытом пространстве распадается на соль с половиной воды и жидкую воду. Какая доля его воды освобождается?

До изменения каждая частица содержит 2 воды.

После него новая соль удерживает $\frac{1}{2}$ воды.

Значит, освобождается $2 - \frac{1}{2} = 1\frac{1}{2}$ воды.

В доле от исходной воды это $1\frac{1}{2} / 2 = \frac{3}{4}$.

Ответ: Три четверти воды

Задачи

1. Объясните своими словами, почему диссоциацию сравнивают с испарением, на примере открытой печи и запаянного ствола.

Подсказка: Что происходит, когда пар или газ может уйти, и когда не может?

Ответ: В обоих случаях, если пар или газ не удаляют, его давление растёт до наибольшего значения, заданного температурой, и процесс прекращается; если добавить ещё, он идёт обратно, если убрать часть — продолжается. Открытая печь — как открытый стакан воды, где

всё уходит; запаянный ствол — как закрытая банка, где изменение останавливается на полпути.

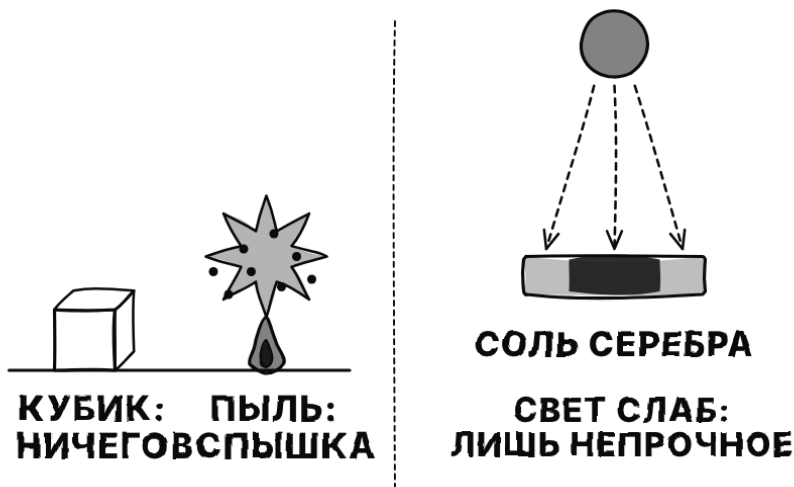
2. Лавуазье не мог разложить соединения калия и натрия с кислородом. Объясните, как это сделал Дэви и почему способ потом перешёл на заводы.

Подсказка: Подумайте, к какому полюсу идут металлы и что сделало ток дешёвым.

Ответ: Дэви пропустил через эти соединения гальванический ток, и металлы появились у отрицательного полюса. Позже динамо-машины, вращаемые топливом или силой воды, сделали ток дешёвым, и его способ стал выгодным путём получения натрия из расплавленного едкого натра и хлора из растворов соли.

Свет, удары, время и соприкосновение

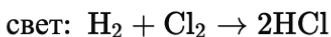
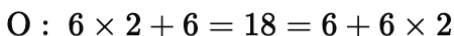
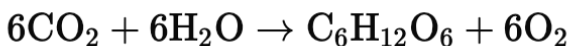
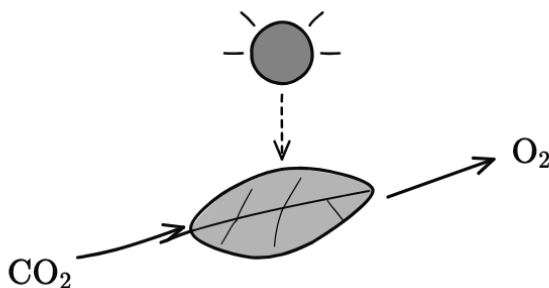
Оставьте кусок сахара на столе, и с ним годами ничего не случится. Смелите тот же сахар в тонкую пыль и вдуньте облаком через пламя, и оно вспыхнет. Мельницы и сахарные заводы очень берегутся пыли именно поэтому: облако тонкого порошка может сгореть в одно мгновение. То же вещество, тот же воздух, то же пламя; разница только в том, какая часть сахара соприкасается с воздухом. Эта последняя часть — о таких условиях, кроме теплоты и электричества, которые направляют реакцию: о свете, ударах и давлении, времени и соприкосновении.



Кубик и пыль; свет на серебре

Сначала свет. Некоторые непрочные соединения распадаются, когда на них падает свет, и на этом основана фотография: соли серебра темнеют там, куда падает свет. Но свет — деятель слабый, говорит Менделеев, потому что механическая работа его колебаний очень мала, и в обычных условиях он может разрушать только непрочные соединения. И всё же в растениях свет делает то, что во времена Менделеева было неразгаданной загадкой. Углекислый газ так прочен, что теплота и ток почти его не трогают, а в зелёных листьях на свету он разлагается и выделяется кислород. В современной записи общее изменение таково: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$. Словами: углекислый газ и вода, движимые светом, становятся сахаром и кислородом. Сосчитайте кислороды, чтобы увидеть, что счёт сходится: слева 6

$\times 2 + 6 \times 1 = 18$; справа $6 + 6 \times 2 = 18$. Свет может и начинать соединения: хлор и водород соединяются не только при нагревании, но и когда на них падает свет.



Свет в зелёном листе

Далее механические воздействия, которые тоже могут вызывать и соединение, и разложение. Некоторые вещества разлагаются от простого трения или удара. Таков йодистый азот, соединение азота, иода и водорода; такова и гремучая ртуть в капсуле ружья, которая взрывается, когда по ней ударяет курок. Трение может заставить серу гореть за счёт кислорода, содержащегося в бертоллетовой соли. Головка спички действует на той же мысли: трение о коробок запускает реакцию между горючим вроде серы и солью, богатой кислородом.



КИСЛОТА + СПИРТ $\rightleftharpoons$ ЭФИР + ВОДА

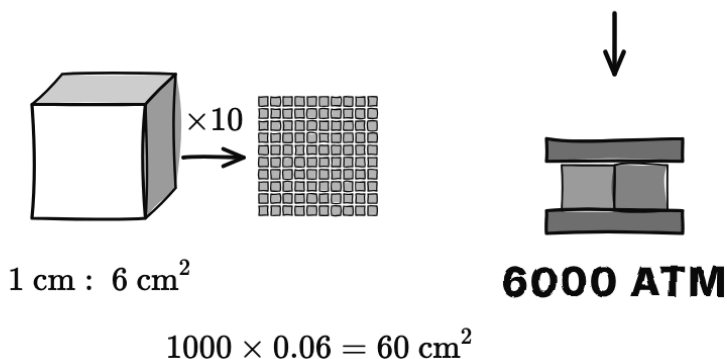
Удары, давление и время

Важно и давление, вместе с температурой, и больше всего для газов, объём которых сильно меняется от давления. Сожмите газ вдвое, и его частицы будут встречаться с частицами другого вещества примерно вдвое чаще. Поэтому сжатый водород энергичнее действует на иод и на растворы многих солей, при подходящей температуре.

Затем время. Всякой реакции время нужно в двух смыслах. Во-первых, вещества нужно свести вместе, а это движение имеет ограниченную скорость: кусок угля горит с поверхности и лишь так быстро, как открывается свежая поверхность и притекает свежий воздух. Во-вторых, даже при полном соприкосновении внутренняя перестройка, которая и есть сама реакция, идёт со

своей определённой скоростью. Знакомый пример Менделеева — созревание вина. Молодое вино содержит кислоты и спирт порознь; по мере хранения они медленно реагируют двойным разложением, давая воду и душистые сложные эфиры, которые и создают «букет». Реакция обратима, кислота + спирт $\rightleftharpoons$ сложный эфир + вода, и при температуре погреба её скорость явно ограничена и зависит от тепла и других условий. Большинство ярких реакций, с которыми встречается начинающий, идут так быстро, что временем можно пренебречь, но медленных, как эта, много.

Последнее и, может быть, самое удивительное — состояние соприкосновения. Увеличить число точек соприкосновения — значит, при прочих равных, усилить реакцию. Серная кислота, спокойно стоящая под маслородным газом, который мы называем этиленом, не поглощает его, но если долго взбалтывать их вместе, поглощает, потому что точки соприкосновения умножаются чрезвычайно. Твёрдые вещества нужно как можно тоньше измельчить и хорошо перемешать, чтобы они прореагировали полно и быстро.



Вдесятеро больше поверхности

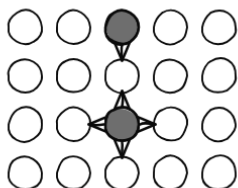
Выразим числом, что даёт измельчение. Кубик сахара со стороной один сантиметр имеет поверхность $6 \times 1 \times 1 = 6$ квадратных сантиметров. Разрежьте его на кубики со стороной один миллиметр: их будет $10 \times 10 \times 10 = 1000$, и у каждого поверхность $6 \times 0,1 \times 0,1 = 0,06$ квадратного сантиметра. Вместе это $1000 \times 0,06 = 60$ квадратных сантиметров, в десять раз больше поверхности целого кубика. Словами: всякий раз, как вы делаете куски в десять раз мельче, поверхность, которая может соприкоснуться с воздухом или другим веществом, вырастает вдесятеро, — вот почему облако сахарной пыли может вспыхнуть.

Бельгийский химик Спринг довёл соприкосновение до крайности. Порошки твёрдых тел, не реагирующие при

комнатной температуре, показал он, реагируют под большим давлением: при 6000 атмосфер сера соединяется со многими металлами, а порошки многих металлов образуют сплавы, и всё это при обычной температуре. Менделеев объясняет это увеличением точек и плоскостей соприкосновения, и это показывает, что в твёрдых телах, как в жидкостях и газах, есть внутреннее движение и подвижные частицы.

Затем он добавляет глубокую мысль. Частицу в глубине вещества тянут со всех сторон её соседи; частицу на поверхности тянут только с одной стороны. Значит, вещество на поверхности находится в ином состоянии, и там, где оно соприкасается с другим телом, это состояние может измениться так, как будто температура поднялась. Этим объясняется целый класс реакций, происходящих только в присутствии некоторых тел, которые Менделеев называет контактными реакциями, или катализом. Лучше всего это делают пористые и порошкообразные тела, прежде всего губчатая платина и уголь. Сернистый газ не соединяется прямо с кислородом, а над губчатой платиной соединяется, выделяя теплоту: в современной записи $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$, причём платина в конце остаётся неизменной. Каталитический нейтрализатор под современным автомобилем пользуется тем же приёмом: тонкая плёнка металлов платиновой группы помогает выхлопным газам реагировать, пока они проходят.

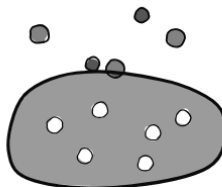
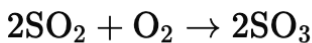
ПОВЕРХНОСТЬ



ВНУТРИ



**КРУПИНКИ
БЫСТРЕЕ**



ГУБЧАТАЯ ПЛАТИНА



КАТАЛИЗ.

Поверхности и катализ

Опыт

Бросьте целый кусок сахара в один стакан холодной воды, а чайную ложку сахарного песка — в другой, и не размешивайте. Отметьте, сколько времени каждому нужно, чтобы исчезнуть. Песок растворяется гораздо быстрее, хотя это то же вещество в той же воде. Его многие мелкие крупинки дают гораздо больше поверхности, тех точек соприкосновения, которые, по Менделееву, ускоряют всякую реакцию.

Менделеев заканчивает своё введение коротким размышлением. Все эти общие понятия получают свой настоящий смысл лишь тогда, когда знакомишься с отдельными веществами и реакциями, к которым теперь и переходит книга. И всё же нужно было начать с самых широких начал, с сохранения вещества и энергии, потому что только с ними изучение частных случаев может быть посильным и плодотворным. Так этот курс кончается там, где начинается его химия: с весами в одной руке и законом сохранения в другой.

Запомним

Свет разрушает непрочные соединения, как в фотографии, а в растениях расщепляет даже прочный углекислый газ, выделяя кислород; он может и начинать соединения, как хлора с водородом. Удары, трение и давление могут начинать реакции, от капсюлей до сжатого водорода, действующего на иод. Реакциям нужно время, и на то, чтобы вещества встретились, и на саму перестройку, как при медленном созревании вина. Больше соприкосновения — быстрее реакция: если раздробить кубик на тысячные доли, поверхность станет в десять раз больше, а Спринг заставил порошки реагировать под большим давлением. Поверхности вроде губчатой платины могут заставить реагировать вещества, которые иначе не реагируют, и всё это покоится на сохранении вещества и энергии.

Вопросы

1. Почему свет в обычных условиях может разлагать только непрочные соединения?
 - a. Потому что механическая работа колебаний света очень мала
 - b. Потому что свет достигает лишь поверхности тела
 - c. Потому что свет действует только на серебро
 - d. Потому что свет вызывает соединения, но никогда не разложения
2. Почему сжатый газ энергичнее реагирует с другим веществом?
 - a. Потому что давление превращает газ в жидкость
 - b. Потому что его частицы чаще встречаются с частицами другого вещества
 - c. Потому что давление добавляет газу теплоты
3. Серная кислота поглощает маслородный газ только после долгого взбалтывания. В чём причина?
 - a. Взбалтывание нагревает кислоту
 - b. Взбалтывание делает газ тяжелее
 - c. Взбалтывание чрезвычайно умножает точки соприкосновения
 - d. Взбалтывание удаляет воздух из сосуда
4. Как Менделеев объясняет, почему губчатая платина заставляет сернистый газ соединяться с кислородом?

- a. Платина соединяется с кислородом и расходуется
- b. Платина выделяет собственную теплоту
- c. Платина доставляет добавочную серу
- d. На поверхности частицы притягиваются только с одной стороны, и вещество, соприкасающееся с ней, изменяется как бы от нагревания

Ответы

1. **a)** Свет — деятель слабый, потому что механическая работа его колебаний очень мала, и он может разрушать только непрочные соединения.
2. **b)** Объём газа сильно меняется от давления, и, сжатый в меньший объём, он чаще сталкивает свои частицы с частицами другого вещества.
3. **c)** Взбалтывание чрезвычайно умножает точки соприкосновения, а больше соприкосновения — сильнее реакция.
4. **d)** Вещество на поверхности находится в ином состоянии, и там, где оно соприкасается с другим телом, это состояние может измениться так, как будто температура поднялась; это и есть катализ.

Задачи

1. Объясните своими словами два смысла, в которых реакции нужно время, на примере горения твёрдого тела и созревания вина.

Подсказка: Один касается сведения веществ вместе; другой — того, что происходит, когда они соприкоснулись.

Ответ: Во-первых, вещества нужно свести вместе, а это идёт с ограниченной скоростью: твёрдое тело горит с поверхности, лишь

так быстро, как открывается свежая поверхность и притекает свежий воздух. Во-вторых, даже при полном соприкосновении сама реакция идёт со своей определённой скоростью: в вине кислоты и спирт медленно реагируют, давая воду и душистые сложные эфиры, — обратимая реакция, которая при обычной температуре идёт долго.

2. Спринг заставил серу соединяться с металлами при обычной температуре. Как он это сделал и что это показывает о твёрдых телах?

Подсказка: Подумайте, что делает большое давление с соприкасающимися порошками.

Ответ: Он сжимал порошки примерно при 6000 атмосфер, что увеличивало точки и плоскости соприкосновения между ними. Это показывает, что в твёрдых телах, как в жидкостях и газах, есть внутреннее движение и подвижные частицы, так что они могут реагировать, когда соприкосновение достаточно тесно.

3. Почему Менделеев начинает свою книгу с общих начал, сохранения вещества и энергии, прежде отдельных веществ?

Подсказка: Каким было бы изучение частных без них?

Ответ: Общие понятия получают полный смысл лишь вместе с отдельными веществами, но самые широкие начала должны были идти первыми, потому что только признав сохранение вещества и энергии, можно сделать изучение частных посильным и плодотворным.