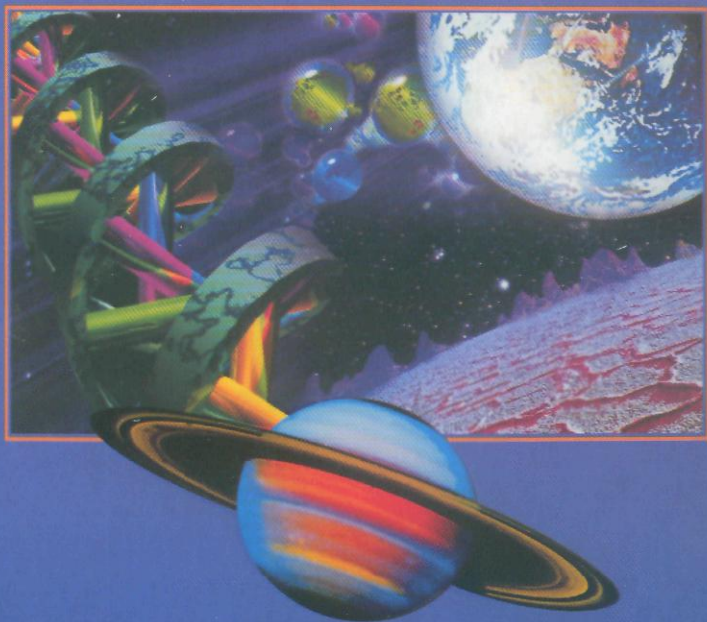


Айзек Азимов

СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ВСЕЛЕННОЙ

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНАЯ БИБЛИОТЕКА



Вся Галактика
в таблице Менделеева



Ц Е Н Т Р П О Л И Г Р А Ф

Isaac Asimov

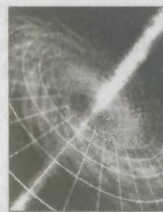
BUILDING BLOCKS OF THE UNIVERSE



Айзек Азимов

СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ВСЕЛЕННОЙ

Вся Галактика
в таблице Менделеева



Москва
ЦЕНТРОЛИГРАФ
2007

ББК 24
А35

Охраняется Законом РФ об авторском праве.
Воспроизведение всей книги или любой ее части
воспрещается без письменного разрешения издателя.

Любые попытки нарушения закона
будут преследоваться в судебном порядке.

*Оформление художника
И.А. Озерова*

Азимов Айзек

А35 Строительный материал Вселенной. Вся Га-
лактика в таблице Менделеева / Пер. с англ.
А.И. Шмелева. — М.: ЗАО Центрполиграф,
2007. — 269 с.

ISBN 978-5-9524-3063-1

В книге просто и увлекательно рассказано о системе класси-
фикации химических элементов. Азимов всесторонне характери-
зует их, разъясняет особенности применения в быту, промышлен-
ности и даже в искусстве. Автор рассматривает каждый элемент
в отдельности, но группирует их в зависимости от важности в
жизни человека и космоса. Азимов точно определил тенденции
современного развития химического алфавита, которым написана
великая книга нашей Галактики.

ББК 24

© Перевод, ЗАО
«Центрполиграф», 2007
© Художественное
оформление, ЗАО
«Центрполиграф», 2007

ISBN 978-5-9524-3063-1

СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ВСЕЛЕННОЙ

Вся Галактика
в таблице Менделеева

Введение

СТО ДВА

Когда ученые говорят о *материи*, они, как правило, имеют в виду что-либо, имеющее вес: камень, человека, ведро морской воды или автомобиль. Почти все вокруг является материей, включая Солнце, Луну и звезды. Даже воздух имеет вес и является материей. (Такие вещи, как свет, тепло, рентгеновские лучи и радиоволны, не имеют веса и, соответственно, материей не являются.)

Любая материя состоит из мелких частиц. Эти частицы настолько малы, что их невозможно разглядеть ни в один из существующих микроскопов. Они называются *атомами*. Если мы посмотрим вокруг, то увидим тысячи различных видов материи. Но что удивительно, количество разновидностей атомов, составляющих все это разнообразие, не столь велико. Известных нам разновидностей атомов всего сто две. Более того, большая часть из этих ста двух разновидностей крайне редко встречается. Некоторые же не существуют в природе вообще — они созданы учеными искусственно в лабораториях. Действительно распространенными можно назвать не более дюжины разновидностей атомов.

Атомы иногда существуют в виде обособленных частиц, без всякой особой связи с другими. Однако

в большинстве случаев они формируют группы. Такие группы атомов называются *молекулами*. С течением времени они объединяются между собой в той или иной конфигурации. Поведение их в чем-то схоже с поведением людей.

Некоторые люди могут жить в одиночестве, но большинство объединяется в семьи. И хотя существует только два вида людей — мужчины и женщины, формы семей разнообразны и многочисленны.

Это может быть мужчина и его жена. Это может быть вдова с тремя детьми, всеми девочками. Это может быть пожилая пара с сыном, невесткой и двумя внуками. Вариантов великое множество.

Примерно так же из сравнительно немногих разновидностей атомов может формироваться множество различных групп. Вот почему в мире столько разных вещей.

Если молекулы какого-либо вида материи состоят из атомов разных видов, это называется *соединением*. Химикам известны сотни тысяч соединений. Многое из того, что мы видим вокруг, является соединением или смесями соединений. Человеческое тело состоит из многих тысяч соединений.

Когда молекулы какого-либо вещества состоят из атомов одного вида, такой вид материи называется *элементом*. Поскольку известно сто две разновидности атомов, существует ровно сто два различных элемента.

Эти элементы являются материалом, из которого построена Вселенная. Из этих элементов природа создала все существующие соединения. Сегодня химики могут получить почти любое желаемое соединение, если у них в качестве сырья имеются необходимые элементы.

Некоторые из ста двух элементов хорошо вам знакомы. Вы, конечно, слышали о золоте, серебре,

меди, железе и алюминии. Другие известны лишь профессиональным химикам.

В этой книге я хочу рассказать вам понемногу о каждом элементе, начиная с самых известных и распространенных.

Но сначала несколько слов обо всех элементах сразу. Они часто сильно отличаются один от другого по внешнему виду и свойствам. Одни из них черные и твердые, другие сверкают и легко поддаются обработке, одни хрупкие, другие, при определенных условиях, жидкие или газообразные (как воздух), одни бесцветны, другие окрашены. Атомы разных элементов по-разному сцепляются между собой и с атомами других элементов. (Это значит, что их химические свойства различны.)

Химики попытались как-то упорядочить все это разнообразие. Они нашли, что атомы состоят из более мелких частиц. Наружные части атомов содержат определенное число мелких частиц, называемых *электронами*. Каждая разновидность атома содержит свое количество электронов. Простейший атом содержит всего один электрон. Более сложные атомы содержат по два, три и так далее вплоть до ста двух, не пропуская ни одного номера. Поэтому химики присваивают элементам не только название, но и *номер*. Атом, содержащий при нормальных условиях двадцать три электрона, имеет атомный номер 23 и так далее.

Эти электроны расположены вокруг центров атомов слоями или в виде оболочек, совсем как слои у луковицы. Когда один слой заполняется электронами, следующие электроны занимают следующие слои. Элемент номер 3, например, имеет первый (ближайший к центру) слой полный и второй слой с одним электроном. Элемент номер 11 имеет два полных слоя и третий с одним электроном. У элемента

1

3	4							
11	12							
19	20	21	22	23	24	25	26	27
37	38	39	40	41	42	43	44	45
55	56	с 57 по 71	72	73	74	75	76	77
87	88	с 89 по 102						



57	58	59	60	61	62
89	90	91	92	93	94

2

			5	6	7	8	9	10
			13	14	15	16	17	18
28	29	30	31	32	33	34	35	36
46	47	48	49	50	51	52	53	54
78	79	80	81	82	83	84	85	86

63	64	65	66	67	68	69	70	71
95	96	97	98	99	100	101	102	

номер 19 заполнены первые три слоя, а четвертый содержит один электрон. Химические свойства и внешний вид элементов в большой степени зависят от количества и расположения электронов в крайнем слое.

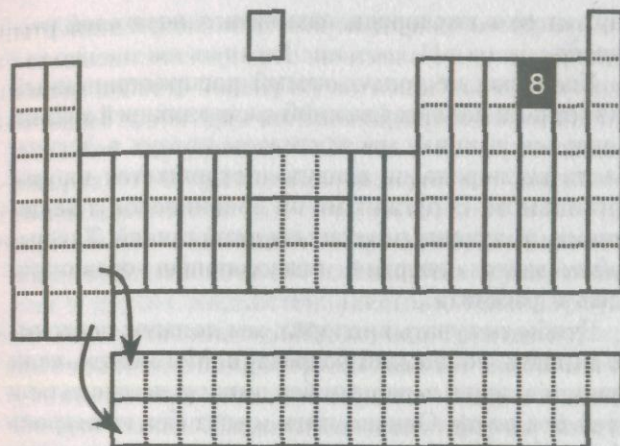
Элементы под номерами 3, 11 и 19 похожи между собой тем, что их наружные оболочки содержат по одному электрону. Все они являются мягкими металлами, которые быстро тускнеют на воздухе, легко плавятся и так далее.

Химики решили расставить элементы так, чтобы элементы с похожей организацией электронов оказались в одной колонке или, иногда, в одном ряду. Такая расстановка элементов называется *периодической таблицей*. Элементы в ней расставлены в порядке возрастания их атомных номеров.

Элементы с похожим строением электронных оболочек окружены сплошной линией и отделены друг от друга пунктирной. Обратите внимание, что элементы номер 3, 11 и 19, а также элементы номер 37, 55 и 87 оказались в одной колонке. Элементы номер 2, 10, 18, 36, 54 и 86 находятся в другой колонке. В качестве примера похожих элементов, попавших в один и тот же ряд, можно привести элементы номер 26—28 и 57—71. Используя периодическую таблицу, я смогу рассказывать о нескольких элементах сразу.

В конце книги периодическая таблица будет приведена еще раз, но вместо атомных номеров элементов будут написаны их названия. К тому времени, я надеюсь, вы будете знать уже большую часть элементов.

А теперь давайте посмотрим, что собой представляют различные элементы — строительный материал Вселенной.



Глава 1

КИСЛОРОД: ЭЛЕМЕНТ ВОЗДУХА

В периодической таблице кислород стоит под номером 8. Вы, наверно, удивитесь, почему я начинаю с номера 8, а не с номера 1. Для этого есть несколько причин.

Во-первых, кислород — самый распространенный элемент на Земле. Почти половина атомов, составляющих нашу планету, — атомы кислорода. Если мы будем рассматривать только наружную часть планеты, корку толщиной в 16 км, то почти две трети ее атомов — атомы кислорода.

Кислород является частью многих соединений суши. То есть он образует молекулы со многими другими видами атомов. В воздухе вокруг нас кислород существует и как элемент. Одна из каждых пяти молекул воздуха состоит из двух атомов кислорода и ничего больше. Молекула, состоящая из

двух атомов кислорода, называется *молекулой кислорода*.

Кислород не только самый распространенный элемент, он является важной составляющей жизни. Когда мы дышим, мы втягиваем воздух в легкие. Часть кислорода из воздуха поглощается нашим организмом. В организме он соединяется с веществами, полученными со съеденной пищей. Так вырабатывается энергия, позволяющая организму жить и работать.

Чтобы получать кислород, мы должны постоянно дышать, во сне или бодрствуя. Мы можем, если придется, жить неделями без пищи и по нескольку дней без воды. Однако пять минут без кислорода убьют нас. Поэтому именно с этого элемента я начинаю книгу о строительном материале Вселенной.

Из всего, что мы знаем о кислороде, наиболее достойно внимания то, что это *газ*, и, пока мы не пошли дальше, я должен остановиться и объяснить, что же такое газ.

Большая часть вещей, что мы видим вокруг себя (если мы на суше), является *твердыми веществами*. То есть они представляют собой единое целое и сохраняют свою форму сами по себе. Одни твердые вещества могут быть твердыми, как кирпичи, другие мягкими, как воск. Могут быть жесткими, как железный стержень, и гибкими, как стальная пружина, эластичными, как резиновый мяч, и легко мнущимися, как алюминиевая фольга. Но в любом случае они остаются в виде единого целого — одним куском.

Молекулы в твердых веществах довольно прочно связаны между собой. Каждая определенная молекула занимает свое определенное место. В небольших пределах они могут перемещаться (как нервный человек переминается с ноги на ногу), но в принципе не покидают своего места.

Если твердое вещество подвергнуть нагреву, перемещение молекул усиливается. И в конце концов, можно достичь температуры, когда молекулы теряют связь друг с другом. Они обретают возможность свободно перемещаться. Когда такое происходит, говорят, что твердое вещество *плавится*. Оно становится *жидкостью*.

Вода является самой распространенной и самой известной жидкостью, но все мы знаем о существовании и других жидкостей: алкоголь, бензин, ртуть, оливковое масло и т. д. Жидкости, в отличие от твердых веществ, не держатся как единое целое. Вы не можете схватить пальцами кусочек воды и поднять так весь стакан. Жидкости не имеют формы сами по себе, они принимают форму сосуда, куда их налили.

(Иногда, если молекула достаточно сложна и состоит из нескольких атомов, повышение температуры приводит к ее распаду. И тогда твердое вещество вместо того, чтобы расплавиться, *разлагается*. Если нагреть обыкновенный сахар, он не плавится, но обугливается и выделяет летучие фракции. Он разлагается. В некоторых случаях, например с динамитом, разложение происходит так быстро и бурно, что вещество *взрывается*.)

Несмотря на то что молекулы в жидкостях тесно не связаны, они все же находятся достаточно близко друг к другу. При нагреве жидкости проходит некоторое время, прежде чем молекулы начинают разлетаться и рассеиваться, каждая двигаясь своим путем. Когда это происходит, говорят, что жидкость *кипит*. Она превращается в газ.

Твердая, жидкая и газообразная формы вещества называются *тремя агрегатными состояниями*. Многие простые соединения и все элементы могут находиться в любой из этих трех форм. Они существуют как твердые вещества, жидкости или газы в

зависимости от температуры и отчасти от других условий окружающей среды.

Вода — наилучший пример этого. Обычно вода — жидкость. Если воду достаточно охладить, она становится твердой и называется *льдом*. Если ее достаточно нагреть, она превращается в газ, который мы называем *паром*. Лед, вода и пар суть одно и то же вещество в трех разных состояниях. Они могут переходить из одного в другое в любом направлении в процессе нагревания или охлаждения.

Различные вещества плавятся и кипят при разных температурах. Температура, при которой то или иное вещество плавится, зависит от того, насколько прочно соединены в нем молекулы. Молекулы камня, например, держатся друг за друга настолько крепко, что камень надо раскалить докрасна или даже больше, чтобы молекулы расшатались и он превратился в жидкость. (Лава, выливающаяся из вулканов во время извержений, во многом является жидким камнем.) Молекулы льда, с другой стороны, соединены достаточно слабо. Даже весенний день может оказаться настолько теплым, чтобы растопить лед и превратить его в воду.

Но есть молекулы, которые держатся друг за друга еще слабее. Примером этого могут быть молекулы кислорода. Если температура достаточно низкая, кислород превращается в жидкость. Если еще ниже — становится твердым, однако в природе на поверхности Земли не бывает температур настолько низких, чтобы кислород превратился в жидкость, не говоря уже о твердом состоянии. В природе кислород всегда газ.

Химики пытались достичь низких температур в лаборатории — низких настолько, чтобы кислород превратился в жидкость. В 1877 году они, наконец, добились успеха. Требовалась температура около

300 градусов ниже нуля по привычной для нас шкале Фаренгейта.

Поэтому, когда мы говорим, что кислород — газ, имеется в виду при обычной температуре.

Исследовать газы непросто. Возьмите, например, воздух — самый распространенный газ. Что вы знаете о нем? Он прозрачный и бесцветный. Сквозь него можно смотреть. У него нет запаха или вкуса. Откуда вы знаете, что он здесь есть?

Вы узнаете о его присутствии, потому что можете чувствовать его движение (или сами двигаетесь достаточно быстро). Разные части воздуха нагреваются солнцем до разных температур (в зависимости от того, в горах этот воздух или в низине, на юге или на севере, около воды или вдалеке от нее). Теплый воздух поднимается вверх, а холодный опускается вниз. Когда таким образом перемещаются большие массы воздуха, возникает то, что мы называем *ветром*. Иногда ветер бывает настолько сильным, что вызывает неудобства. Кто, как и я, пережил несколько ураганов, может подтвердить это. Так мы убеждаемся в том, что воздух существует.

Вряд ли вам придет в голову, что воздух имеет вес. Мы передвигаемся сквозь него, не испытывая никакого гнета. Однако газы — это все-таки вещества, такие же как твердые вещества или жидкости. И они имеют вес.

Конечно, у газов вес меньше, чем у твердых веществ или жидкостей. Литр воды весит примерно 900 г. Литр воздуха, при определенных условиях, весит всего 1,4 г. При больших количествах вес увеличивается. Воздух, заполняющий обычную комнату, примерно 3,5 м в ширину, 5,4 м в длину, 2,4 м в высоту, весит 68 кг.

Мы находимся на самом дне воздушного слоя, который простирается на многие километры вверх.

Его столько, что на каждый квадратный сантиметр нашего тела приходится более 1 кг воздуха. Но воздух, находящийся внутри нас, оказывает давление во всех направлениях и уравнивается с наружным, поэтому мы не чувствуем веса воздуха.

Как можно различить два разных газа? Представьте, что химик поставил перед вами две бутылки и сказал, что в одной воздух, а в другой кислород. Вам они кажутся одинаково пустыми. Газы, находящиеся в них, не имеют ни вкуса, ни запаха, ни цвета. Кислород немного тяжелее воздуха, но не настолько, чтобы вы могли их легко различить.

Дальше вам надо сравнить, как ведут себя эти газы при одинаковых условиях. Возьмите тонкую деревянную лучинку и подожгите с одного конца. Дайте ей немного погореть и задуйте огонь, так чтобы кончик слегка тлел. Опустите тлеющий кончик в бутылку с воздухом. Он продолжит тлеть и через некоторое время потухнет. А теперь опустите тлеющий кончик в бутылку с кислородом. Он тотчас же вспыхнет и будет гореть даже ярче, чем когда вы его подожгли.

Почему это?

Кислород — *активное* вещество. Его молекулы легко соединяются с молекулами других веществ. В процессе этого выделяется энергия, которая проявляется себя в виде тепла и света.

В воздухе же недостаточно кислорода, чтобы поддерживать горение, поэтому тлеющий кончик потухнет. Если же тлеющее дерево поместить в чистый кислород, оно начнет соединяться с кислородом так активно, что вскоре нагреется и загорится снова. (Для этого достаточно одной искры. Если дерево потухло совсем и не тлеет, оно не загорится даже в чистом кислороде.)

Поскольку кислород способствует возгоранию, про него говорят, что он поддерживает *горение*. Именно кислород, находящийся в воздухе, позволяет дереву, бумаге, бензину и многим другим вещам загораться при нагревании. Если бы кислорода в воздухе не было, оставшиеся газы не смогли бы поддерживать горение. Зажженная свеча или кусок горящего дерева в воздухе, лишенном кислорода, сразу бы потухли.

При обычных условиях горючие вещества не загораются до тех пор, пока не достигнут *температуры воспламенения*. Если температура ниже, соединение с кислородом происходит очень медленно. В процессе соединения выделяется совсем небольшое количество тепла. Если вещество не отдает тепло в воздух сразу, оно задерживается и накапливается. Лучшим примером могут служить замасленные тряпки. По мере того как на протяжении дней и недель тепло накапливается в них, они могут, наконец, достичь температуры воспламенения и загореться. Это называется *самовозгоранием*, поскольку огонь возникает как бы сам по себе. В результате таких самовозгораний сгорело множество домов.

Ваша жизнь зависит от сгорания съеденной вами пищи внутри организма. Такое сгорание дает вашему телу тепло и энергию для разного рода деятельности. Без кислорода, способствующего горению, вы не проживете и пяти минут. Воздух поддерживает жизнь потому, что в его составе находится кислород. Если вы попробуете дышать воздухом, из которого удален кислород, то вы скоро задохнетесь и умрете. За час в спокойном состоянии вы вдыхаете более 20 л кислорода и гораздо больше, если вы работаете или занимаетесь спортом.

Даже рыбы и другая морская живность не могут жить без кислорода. Они «дышат водой», и это

правда, но в воде растворено небольшое количество кислорода, и их жабры отбирают кислород из воды и направляют его в кровь точно так же, как ваши легкие отбирают кислород из воздуха и направляют его в вашу кровь. Если бы в воде не было кислорода, все рыбы утонули бы так же быстро, как и человек.

У людей случаются заболевания, которые затрудняют отбор легкими кислорода из воздуха. Таким людям часто дают для дыхания чистый кислород. Кислород направляется в пластиковый навес, который называется *кислородной палаткой* и закрывает голову и грудь больного. Люди, страдающие от сердечных приступов, также иногда помещаются в кислородные палатки. В результате в кровь попадает больше кислорода и сердцу, которое гонит кровь по всему телу, не приходится так тяжело работать. После сердечного приступа в сентябре 1955 года президент Эйзенхауер провел в кислородной палатке несколько дней.

Чистый кислород хранится в прочных металлических баллонах разного размера (бывают размером с человека). Он находится там под давлением, то есть молекулы сжаты и это позволяет поместить в баллон больше кислорода. Полный баллон содержит в 135 раз больше кислорода, чем если бы тот находился не под давлением. Если широко открыть выпускное отверстие, кислород начнет с силой вырываться наружу, как из сопла ракеты. Поэтому все баллоны снабжены специальными устройствами, которые позволяют выпускать газ медленно.

При использовании кислорода необходимо быть особо внимательным, чтобы рядом не было открытого огня, искр или легковоспламеняющихся предметов.

Кислород не загорится и не взорвется сам по себе, но может помочь бурному возгоранию других веществ.

Откуда же берется чистый кислород, которым наполняют баллоны?

Один из способов получения кислорода — это отбор атомов кислорода из соединений, в которых они держатся достаточно свободно. Когда такое соединение нагревается, атомы кислорода высвобождаются и собираются как газообразный кислород. Кислород по трубке можно направить в сосуд с водой. Поступающий кислород будет вытеснять воду, и то, что останется в сосуде, и будет чистым кислородом.

В 1772 году шведский химик Карл Шееле, а в 1774 году английский химик Джозеф Пристли независимо друг от друга открыли кислород именно таким путем. Оба заметили, что полученный газ отличается от воздуха. Шееле назвал его *огненным газом*.

Через год или два французский химик Антуан Лавуазье утвердил за газом название «кислород», основываясь на греческих словах, означающих «повышающий кислотность». Он считал, что кислород присутствует в молекулах определенных соединений, известных как кислоты и имеющих кислотный вкус. Лавуазье ошибался. Кислоты с тем же успехом могут и не содержать кислорода, а кислород не имеет ничего общего с кислотностью вкуса, но название прижилось.

Нагревание различных соединений с целью разрушения их молекул — это правильный путь, но полученное в результате количество кислорода крайне невелико. Чтобы получать кислород в больших количествах, используется *жидкий воздух*.

Если достигается достаточно низкая температура, воздух превращается в жидкость. Кипящий жид-

кий воздух превращается обратно в газ, так же как вода при кипении превращается в пар.

В воздухе содержится более одного вида молекул. Одна пятая из них кислород.

Остальные четыре пятых в основном приходятся на газ под названием азот. Жидкий кислород закипает и становится газом при очень низкой температуре, но жидкий азот при еще более низкой. Если жидкий воздух, являющийся смесью этих двух газов, медленно нагревать, азот закипит и испарится быстрее, чем кислород.

Процесс можно увидеть невооруженным глазом. Жидкий азот не имеет цвета, как вода. Жидкий кислород голубой. Если наблюдать за жидким воздухом, то можно заметить, как он становится, по мере испарения азота, все более голубым, то есть в сосуде остается чистый жидкий кислород.

Благодаря разнице температур кипения азота и кислорода мы можем *фракционировать* жидкий воздух. То есть мы разделяем его на фракцию кислорода и на фракцию азота. И та и другая фракция может быть помещена в баллон для дальнейшего использования.

Кислород применяется в медицине не только в кислородных палатках, но и в смеси с анестезирующими препаратами. Пациент, получающий анестезию через легкие, вдыхает эфир (или другой препарат) в смеси с кислородом.

В промышленности кислород добавляют к горючим газам, чтобы получить пламя горячее настолько, что становится возможной сварка и резка стали.

Сжижение кислорода — это один из способов помещения больших количеств кислорода в сравнительно небольшой объем. Жидкий кислород применяется для сжигания топлива в современных ре-

активных снарядах и ракетах. Ракетчики называют жидкий кислород аббревиатурой ЖК.

Молекула кислорода, как я уже говорил выше, состоит из двух атомов кислорода.

Иногда молекулу образуют три атома. Такие трехатомные молекулы в полтора раза тяжелее обычного кислорода. Трехатомная молекула — это все равно кислород, но он реагирует иначе, чем обычный, двухатомный, настолько иначе, что химики дали ему отдельное название. Они назвали его *озон*.

Вы могли слышать слово «озон» в качестве жаргонного выражения, обозначающего очень свежий воздух за городом и особенно в горах. Возможно, вы могли подумать, что озон с его тремя атомами кислорода в молекуле в полтора раза лучше обычного кислорода. Все это совершенно не так. В обычном воздухе практически нет озона, даже в горах, а если бы он там был, то вам бы это не понравилось, поскольку он обладает сильным, резким запахом (слово «озон» происходит от греческого «пахну») и довольно ядовит.

Третий атом кислорода присоединяется к молекуле совсем не запросто. Его необходимо туда запихнуть. Для этого нужна энергия. Такая энергия может быть получена от электричества высокого напряжения. Некоторая часть кислорода вблизи определенных электрических приборов превращается в озон. Запах озона легко узнаваем. Другим источником энергии может быть ультрафиолетовое излучение, вроде того, что исходит от ртутных или «солнечных» ламп. Поблизости от таких ламп можно ощутить запах озона.

В солнечном свете много ультрафиолетовых лучей. Когда он проходит через верхние слои атмосферы, часть кислорода превращается в озон. Этот тонкий *озоновый слой* на высоте 24 км поглощает большую часть ультрафиолетового излучения Солн-

ца и защищает от него поверхность Земли. Для нас это очень хорошо, потому что в противном случае количество ультрафиолета было бы смертельным.

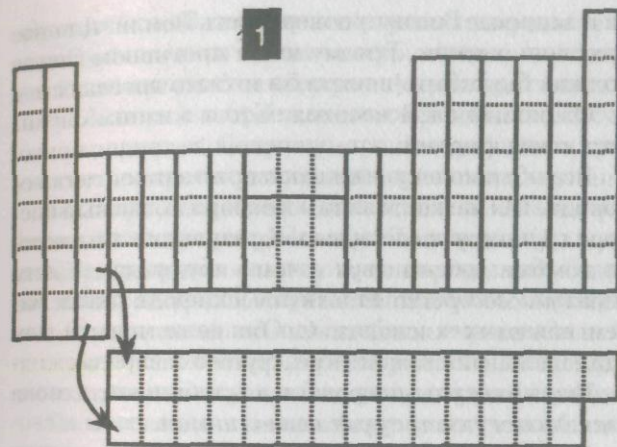
Озоновый слой необходим для жизни. Как мы уже знаем, третьему атому кислорода трудно присоединиться к молекуле кислорода, но зато он легко ее покидает. Озон постоянно переходит в обычный кислород. Он *нестабилен*. Освободившийся атом кислорода готов соединиться с чем-нибудь еще. Таким образом, озон вступает в химические реакции легче, чем обычный кислород. Он более активен. Были даже идеи использовать в реактивных снарядах жидкий озон вместо кислорода, но нестабильность озона сделала эту задачу трудновыполнимой.

Молекулы отдельных окрашенных веществ под влиянием озона теряют цвет, то есть озон действует как *отбеливатель*. Также озон может быть *дезодорантом*, поскольку молекулы некоторых пахучих веществ он превращает в молекулы без запаха. Например, если небольшое электрическое устройство, превращающее кислород в озон, поместить в промышленный холодильник, то выделившийся озон, превращаясь в обычный кислород, будет дезодорировать все, что его окружает.

У озона есть и другое применение. Это идеальное средство для очистки водопроводной воды. Небольшое количество озона смешивается с воздухом и затем пропускается через воду. Бактерии умирают, а химические загрязнения разлагаются. Озон же превращается в кислород, не оставляя следов.

Когда элемент существует в двух или более формах, это называют *аллотропией*. Озон — это аллотропическая модификация кислорода.

Озон отличается от кислорода даже по внешнему виду. Он обладает легким голубым оттенком. Жидкий озон темно-синий, почти черный.



Глава 2

ВОДОРОД: САМЫЙ ЛЕГКИЙ ЭЛЕМЕНТ

Самым простым элементом является водород. Это элемент номер 1. Атом водорода самый маленький, самый легкий и самый простой из известных атомов. И может быть, по этой причине водород — самое распространенное вещество во всей Вселенной. (Кислород — самое распространенное вещество на Земле, но Земля лишь малая частичка Вселенной.)

Люди, изучающие звезды, считают сейчас, что 90% атомов во Вселенной — атомы водорода.

Наше Солнце, например, состоит по большей части из водорода. И так же многие другие звезды. Это отличный строительный материал для звезд.

На Земле, однако, водород встречается нечасто. Из атомов на поверхности Земли только 3% состав-

ляет водород. Во внутренних слоях Земли этот процент еще меньше. Тем не менее изначально Земля должна была быть построена из того же вещества, что и остальная Вселенная. Что же потом случилось с водородом?

Все объясняется маленьким размером атома водорода. Так же как и атомы кислорода, атомы водорода группируются парами. В результате получается комбинация из двух атомов водорода, то есть *молекула водорода*. Молекула водорода самая маленькая из всех известных. Она даже меньше, чем единственный атом любого другого вещества.

Все молекулы находятся в постоянном движении. Молекулы твердых веществ привязаны к своим местам, хотя и вибрируют. Молекулы жидкостей двигаются более свободно, а молекулы газов двигаются еще свободнее.

При нормальной температуре молекулы кислорода в воздухе двигаются со скоростью более шести километров в минуту. Конечно, они постоянно сталкиваются и отскакивают друг от друга. Чем выше температура, тем быстрее двигаются молекулы. Они заметно ускоряются, например, в воздухе, окружающем источники тепла.

Мелкие молекулы двигаются быстрее больших. При нормальной температуре молекулы водорода двигаются со скоростью более одиннадцати километров в минуту. (Это средняя скорость. Отдельные молекулы могут двигаться чуть быстрее или чуть медленнее.)

Объект, который движется достаточно быстро, может даже покинуть Землю.

Если вы бросите камень в воздух, он достигнет некоторой высоты, а затем притяжение Земли вернет его обратно. Если вы бросите сильнее, он достигнет большей высоты, но все равно упадет

обратно. Если выстрелить из пушки, снаряд может подняться на многие километры, прежде чем упадет. Если вам удастся запустить что-нибудь с достаточно большой скоростью, этот предмет на Землю уже не вернется. Скорость, при которой такое происходит, называется *скоростью убегания*.

Молекулы водорода двигаются со скоростью близкой к скорости убегания. Поэтому, если в атмосфере имеются молекулы водорода, они будут удаляться от Земли и просачиваться в космос. Земля в период своей молодости была горячее, намного горячее, чем сейчас. А потому молекулы водорода двигались быстрее и быстрее покидали Землю.

Поэтому сейчас в атмосфере практически не осталось водорода. То небольшое количество водорода, которое можно обнаружить на Земле сейчас, осталось потому, что его атомы были связаны в молекулах, содержащих более тяжелые атомы.

Молекулы кислорода в шестнадцать раз тяжелее молекул водорода, двигаются медленнее и никогда не приближаются к скорости убегания. Поэтому кислород не утекает в космос, а остается в атмосфере.

Некоторые планеты больше и тяжелее Земли, в результате чего имеют большую силу притяжения. На таких планетах молекулам придется двигаться гораздо быстрее, чтобы покинуть планету. На Юпитере, чья сила притяжения в два с половиной раза сильнее, чем на Земле, молекулы водорода двигаются медленнее, потому что Юпитер холоднее Земли, и из-за этого в его атмосфере много водорода. То же происходит и на других внешних планетах: на Сатурне, Уране и Нептуне.

На планетах меньшего размера дела обстоят гораздо хуже, чем у нас. Например, на Марсе гравитация составляет всего две пятых земной. Большая

часть его атмосферы улетучилась, а оставшийся слой очень тонкий. Наша Луна, которая еще меньше и имеет гравитацию в одну шестую земной, вообще не имеет атмосферы.

Тем не менее в земной коре присутствуют атомы водорода, а в воде океанов каждые два из трех атомов — водород. Земное притяжение позволяет, так или иначе, сохранить это количество водорода. А поскольку водород необходим для живой материи (три пятых атомов нашего тела — водород), то это очень важно.

При обычной температуре водород, как и кислород, является газом. Он остается газом и при температуре превращения кислорода в жидкость. В конце концов, водород все же превращается в жидкость или в твердое вещество, но при гораздо более низких температурах.

Водород самый легкий из известных газов. В первой главе я говорил, что воздух в обычной комнате весит 68 кг. Если бы та же комната была наполнена водородом, вместо воздуха, он бы весил только 4,5 кг.

Также жидкий водород является самой легкой жидкостью, а твердый самым легким твердым веществом. Литр воды, например, весит 900 г. А литр жидкого водорода — только 58 г.

Легкость водорода — самое поразительное его свойство. Дерево плавает в воде, потому что оно легче воды. Точно так же водород будет плавать в воздухе.

Если легкий мешок наполнить водородом и отпустить, он взлетит в воздух. Если ко дну мешка привязать груз, он поднимется вместе с мешком. Чем больше мешок, тем больший груз он может поднять. Достаточно большой мешок может поднять человека.

Поскольку на пути вверх воздух становится разреженнее и легче, мешок, наполненный водородом, поднимается все медленнее и медленнее. В конце концов, он достигнет мертвой точки. Если от него отвязать груз, он поднимется еще немного. Если из мешка выпустить часть водорода, он начнет медленно опускаться. Мешок, наполненный водородом, сделанный таким образом, чтобы подниматься, зависать и опускаться, называется *воздушный шар*.

Воздушные шары — относительно недавнее изобретение. Первый достаточно большой, чтобы поднять человека, шар был построен в 1783 году во Франции братьями Жозефом и Этьеном Монгольфье. Они, правда, использовали не водород, а нагретый воздух, который легче холодного. Но до применения водорода оставалось всего несколько месяцев.

Обычно шары беспомощно парят в воздухе по воле ветра, как щепка плывет по воле волн. Если шар достаточно велик, чтобы поднять запас бензина и мотор с пропеллером, он сможет двигаться по воздуху в желаемом направлении, как моторная лодка по воде. Такие шары с моторами называются *дирижаблями* (то есть они могут менять направление движения).

Первый удачный дирижабль был построен в 1900 году в Германии графом Фердинандом фон Цеппелином. Вместо того чтобы использовать тканевые мешки, он построил алюминиевый корпус в виде толстой сигары и поместил емкости с водородом внутри него.

До конца 30-х годов XX века интерес к таким сигарообразным дирижаблям не ослабевал. Соединенные Штаты Америки, Великобритания, Франция, Италия и особенно Германия построили более 150 дирижаблей.

Самый большой из них был длиннее, чем Эмпайр-Стейт-Билдинг в высоту. Снизу у них находились кабины, которые на фоне дирижабля выглядели небольшими, но иногда вполне могли вместить сто и более человек. Самым удачным из дирижаблей был «Граф Цеппелин» (названный в честь его изобретателя), построенный в Германии и совершивший много полетов через Атлантический океан и даже вокруг света.

Самый большой из построенных дирижаблей, «Гинденбург», был уничтожен водородом, заполнявшим его емкости. Водород оказался опасным газом. Давайте посмотрим почему.

Водород — достаточно активный элемент. Молекулы водорода могут соединяться с молекулами кислорода, и, если это происходит, высвобождается энергия, которая проявляется в виде тепла и небольшого количества света. Другими словами, водород горит в кислороде (или воздухе) жарким бледно-голубым пламенем.

Вы, наверно, видели это пламя, поскольку газ для домашних плит содержит водород. Приготовление пищи — один из примеров удачного применения тепла от горящего водорода.

В промышленности применяют специальные водородные факелы. Чистый водород (из металлического баллона, где он находится под давлением) направляется по одной трубке, а чистый кислород по другой. Концы этих трубок находятся настолько близко друг от друга, что выходящие из них газы перемешиваются. Если эту смесь поджечь, можно получить пламя с очень высокой температурой. Это называется *кислородно-водородная горелка*. Пламя настолько горячее, что позволяет резать сталь, как масло. Вы, должно быть, видели такие на стройках.

Работающие с такими горелками люди должны носить специальные маски и защитную одежду, потому что раскаленный металл светится очень ярко и из него летят фонтаны искр.

Топливо, использующееся в реактивных снарядах, часто является веществом, содержащим водород, как керосин или спирт, которое вступает в бурную реакцию с жидким кислородом, давая необходимый толчок. Собственно жидкий водород был бы более эффективным, но он превращается в жидкость при таких низких температурах, что сохранить его в этом виде надолго чрезвычайно сложно.

Это замечательно, когда вам нужно, чтобы водород горел, но иногда он это делает совсем некстати, например когда у вас его огромное количество внутри дирижабля. Всегда есть опасность, что небольшая течь в емкости позволит водороду просочиться в кабину внизу. Водород может легко воспламениться и поджечь емкость наверху. Смесь водорода и кислорода взорвется с большой силой, за это ее называли *гремучий газ*.

Именно поэтому в отношении огня на дирижаблях существовали самые строгие правила. Разумеется, было запрещено курение и открытый огонь во всех видах. Запрещались даже гвозди в подметках обуви, потому что они могли высечь искру из пола.

И все-таки 6 мая 1937 года, когда гигантский дирижабль «Гинденбург» совершал причальные маневры в Лейкхорсте, Нью-Джерси, несмотря на все меры предосторожности, возникла искра. Через секунду дирижабль превратился в море огня. На этом закончилась эра дирижаблей как средства передвижения.

С тех пор не было построено ни одного крупного дирижабля. Самолеты полностью захватили небо.

Пожар — достаточно неприятная штука, но это не единственная опасность, возникающая при использовании водорода. До тех пор пока водород понемногу подается в воздух или в кислород, управление его горением вполне осуществимо. Но представьте себе, что водород и кислород хорошо перемешаны. При нормальных условиях ничего не происходит. Но если маленькая искорка поднимет температуру небольшой части этой водородно-кислородной смеси? Молекулы водорода и кислорода в этой небольшой части соединятся. Выделившейся при этом энергии будет достаточно, чтобы начался стремительный процесс соединения молекул, который приводит к взрыву.

Любое горючее вещество в виде газа, жидкости или мелкой пыли в смеси с воздухом может взорваться. Самым распространенным из таких веществ является бытовой газ. В его состав часто входит водород или другие, не менее опасные вещества. Если газовый кран остается открытым несколько секунд, а спичка подносится только потом, вы можете заметить легкий хлопок, после чего газ начинает гореть нормально.

Если газ свободно выходит некоторое время (из-за утечки, например), то он может медленно смешаться с воздухом в помещении. Потом запальник, или спичка, или чья-то сигарета поджигает эту смесь, и взрыв может разрушить дом и убить людей. Если вы подозреваете наличие утечки газа, никогда не ищите ее с помощью спички.

По той же причине не ищите течь в бензобаке вашей машины со спичками и не курите, когда пользуетесь горючими чистящими средствами.

Но есть и еще одна, менее известная сфера применения водорода — это повышение качества растительного масла.

Масло, получаемое из семян хлопка, дешево и может производиться в огромных количествах, но, в отличие от сливочного масла, лярда и оливкового масла, не может употребляться в пищу. Оно имеет ярко выраженный и довольно неприятный вкус. Молекула хлопкового масла содержит много атомов водорода (около пятидесяти), но в ней есть место для еще нескольких. Если при определенных условиях масло перемешать с водородом, оно захватит эти недостающие атомы. Новая молекула содержит уже столько атомов водорода, сколько может удерживать, и превращается в твердый жир. Этот белый жир не имеет вкуса, запаха и долго хранится. В таком виде хлопковое масло становится пригодным для употребления в пищу.

Этот процесс называется *гидрогенизацией*. Такие кулинарные жиры, как Crisco и Spry, — типичные примеры гидрогенизированного хлопкового масла.

Горючесть водорода химики заметили в первую очередь. Водород был впервые выделен и исследован английским химиком Генри Кавендишем в 1766 году. Он назвал его *горючим воздухом*. Современное название появилось спустя несколько лет благодаря тому же Лавуазье, который дал название кислороду. Он обозначил новый газ как водород от греческого слова «рождающий воду».

Это очень хорошее название, оно показывает, что происходит при сгорании водорода. Если вы будете держать холодный кусок стекла или фарфора над пламенем небольшой водородной горелки, вы заметите, как на нем собираются капли жидкости.

Химик, проанализировав эту жидкость, придет к выводу, что это чистая вода.

Когда молекулы водорода соединяются с молекулами кислорода, они образуют новые молекулы,

состоящие из двух атомов водорода и одного атома кислорода в каждой. Это *молекула воды*. Вся вода, которую вы видели, все океаны, озера, реки, дожди (и снег, и лед, и пар), состоит из таких трехатомных молекул, собранных из двух атомов водорода и одного атома кислорода.

Воды вокруг настолько много, что мы воспринимаем ее как нечто дарованное свыше, и это действительно удивительное вещество. Можно написать множество книг (и они уже отчасти написаны) о том, как вода сделала жизнь возможной. Оценить значение воды можно по одному только факту, свидетельствующему о том, что более 60% веса человеческого тела приходится на воду. Из-за молекул воды атомов водорода в человеческом теле оказалось больше, чем всех остальных атомов, вместе взятых.

Поскольку вода образуется при соединении атомов водорода и кислорода, то и из воды можно получить водород и кислород. Если опустить в воду провода и при определенных условиях пропускать по ним электрический ток, то газообразный кислород начнет собираться вокруг одного провода, а газообразный водород вокруг другого. Провода называются *электродами*, а весь процесс расщепления воды *электролизом*.

В промышленных масштабах водород получают именно методом электролиза. Электролиз воды является также важнейшим способом получения кислорода.

Раньше водород получали из соединений, называемых кислотами. Кислоты содержат атомы водорода в довольно свободном состоянии. Чем свободнее атомы водорода, тем сильнее кислота. Если определенные металлы поместить в кислоту, кислота вступает в реакцию с металлом и высвобождает

атомы водорода. Атомы при этом образуют молекулы и собираются в виде газообразного водорода. Аккумуляторные батареи в автомобилях содержат кислоту и металл, поэтому время от времени там может накапливаться водород. Случается, что люди, пытающиеся с помощью спички посмотреть уровень воды в батарее, получают ранения в результате происходящих при этом взрывов.

Вода не единственное соединение, состоящее из атомов водорода и кислорода. Так же как прибавление лишнего атома к обычному кислороду превращает его в нестабильный и активный озон, прибавление атома кислорода к воде превращает ее в нестабильную и активную *перекись водорода*.

Молекула перекиси водорода состоит из двух атомов водорода и двух атомов кислорода. Перекись водорода похожа на озон в том смысле, что при первой возможности высвобождает лишний атом кислорода. Так же как озон, перекись водорода является отбеливателем и антисептиком. Перекись водорода настолько активна, что ее применяют как часть топлива для ракет и торпед.

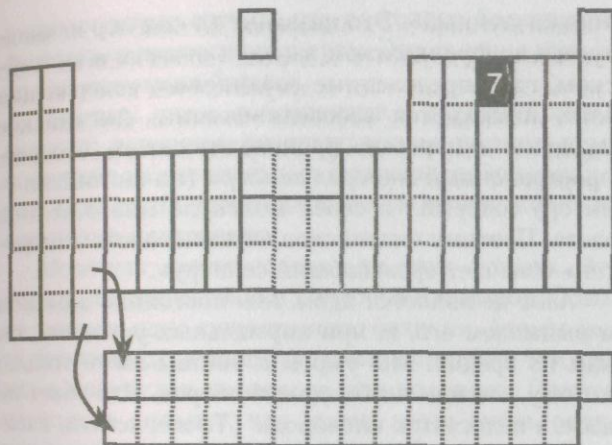
Для безопасности перекись водорода разбавляют водой. То, что вы покупаете в аптеках, на 97% состоит из воды и на 3% из перекиси водорода. Тем не менее вас не обманывают, просто более крепкий раствор применять было бы небезопасно.

Под действием света и воды перекись водорода быстро превращается в обычную воду.

Поэтому в аптеках она продается в темно-коричневых или темно-синих флаконах, чтобы не пролился свет, и с указанием о том, что хранить ее нужно в прохладном месте.

Перекисью водорода иногда обрабатывают раны, чтобы убить бактерии и снизить опасность заражения. Соединения, содержащиеся в крови, быстро

разлагают перекись водорода. Должно быть, вы замечали, как перекись водорода, нанесенная на порез, начинает пузыриться и превращается в белую пену. Эти пузырьки вызываются газообразным кислородом, который быстро формируется при разложении перекиси водорода.



Глава 3

АЗОТ: «БЕЗЖИЗНЕННЫЙ» ЭЛЕМЕНТ

В первой главе я говорил о том, что кислород составляет только одну пятую часть воздуха. Почти всю оставшуюся часть занимает азот — элемент номер 7.

Когда в конце XVIII века химики открыли кислород, они обнаружили присутствие в воздухе и другого газа. Этот газ не поддерживал горения. Свеча, зажженная в закрытом сосуде, использовала около одной пятой воздуха и тухла.

Когда кислород кончался, то оставшийся газ не позволял свече гореть. Он также не поддерживал жизнь. Мыши, помещенные в закрытый сосуд, задыхались и умирали, как только заканчивался кислород.

Шееле в 1772 году назвал этот газ *испорченным воздухом*, а Лавуазье — *азотом* от греческого слова

«безжизненный». Это название до сих пор используется во французском языке и отчасти в английском, где определенные соединения, содержащие азот, называются азосоединениями. Английское название «нитроген» происходит оттого, что распространенный минерал *селитра* (по-английски — нитер) содержит в своей молекуле много атомов азота. Поэтому английское название азота «нитроген» означает «рождающий селитру».

Азот не является ядом. Мы постоянно вдыхаем и выдыхаем его, и, при нормальных условиях, он нам не вредит. Мы умрем в чистом азоте только потому, что нам необходим кислород. Нас убьет не азот, а недостаток кислорода. (То же, кстати, касается и водорода: он непригоден для дыхания, но не ядовит.)

Только в одном случае азот может нам повредить. В небольших количествах азот растворяется в воде и в жирных веществах. (То же происходит и с кислородом и водородом.) Часть азота, попадающего в наше тело через легкие, растворяется в крови и тканях. Это нормально, не приносит вреда и ни на что не влияет.

Однако, когда азот подается под давлением, он растворяется в большем количестве. Такое случается, когда люди работают в водолазных колоколах под водой и при постройке тоннелей под реками. Чтобы вытеснить воду, давление воздуха специально повышается.

Тела работающих там людей наполняются лишним азотом. Пока газ находится в растворенном состоянии, он не опасен.

Но представьте, что человек выходит из тоннеля под рекой и давление воздуха быстро возвращается в норму. Кровь и ткани не могут удержать столько азота. Бурно пузырясь, азот выходит через суставы

и кровеносные сосуды, что не только болезненно, но и может привести к смерти. Это явление известно как *кессонная болезнь*.

Поэтому люди, работающие в условиях повышенного давления, возвращаются к нормальному давлению в специальных *декомпрессионных камерах*. При таких условиях лишний азот выходит из организма постепенно.

Молекула азота состоит из двух атомов. Это должно напоминать вам кислород и водород. Однако тут есть одно существенное отличие. Атомы азота держатся друг за друга гораздо сильнее, чем атомы в молекулах кислорода или водорода. Причем настолько сильнее, что атомы азота очень редко удаляются достаточно далеко, чтобы соединиться с другими видами атомов или молекул.

В результате можно сказать, что молекулы азота равнодушны и недружелюбны. Они не вступают в реакцию с большинством других веществ, кроме как при особых условиях. Азот не горит в кислороде. Никакие или почти никакие вещества не горят в азоте. Химики говорят об азоте как об *инертном* элементе.

Но то, что азот инертен, вовсе не значит, что бесполезен. В определенных обстоятельствах требуется именно инертность.

Например, в электрической лампочке находится тонкая металлическая нить, которая раскаляется добела при прохождении через нее электрического тока. Если бы лампочка была наполнена воздухом, раскаленный металл соединился бы с кислородом и сразу же сгорел бы. Поначалу воздух из лампочек просто откачивали. В них не было ничего, даже газа. Такое состояние полной пустоты называется *вакуум*. Но вакуум устраивал не полностью. В вакууме атомам металла легче улетучиться. Раскален-

ная добела нить будет становиться все тоньше и, в конце концов, порвется. Поэтому лампочки стали наполнять азотом, который получали в больших количествах из жидкого воздуха. Газ замедлял улетучивание атомов металла и, будучи инертным, не вступал с ним в реакцию. Лампочки стали служить гораздо дольше.

Иногда, когда металлы сваривают при высокой температуре, горячий металл вступает в реакцию с кислородом воздуха. Поскольку водородно-кислородной горелке не нужен воздух (у нее есть свой запас кислорода, как мы видели в главе 2), свариваемый металл может быть защищен постоянным потоком азота. Металл не вступает с ним ни в какие реакции, даже при высокой температуре, и процесс сварки идет без проблем.

Несмотря на то что азот сам по себе для жизни не нужен, определенные вещества, содержащие азот, абсолютно необходимы. Все наиболее важные вещества в нашем организме (и у других форм жизни) содержат азот.

Откуда же берется этот азот? Ни мы, ни животные не могут получать его из воздуха. Азот, который мы вдыхаем, никак не используется. В наш организм азот попадает с веществами, содержащимися в пище, которую мы едим.

Часть нашей пищи состоит из мяса других животных, а в нем содержится азот. А откуда же его взяли животные? Они получают его из съеденных растений или из мяса животных, которые ели растения. Если мы проследим всю цепочку, то станет ясно, что весь азот, находящийся в нашем организме и организмах других животных, попал туда из растений.

А откуда же берут азот растения? Они берут его из определенных соединений почвы, содержащих

атомы азота в своих молекулах. Такие соединения называются *нитратами*. Селитра, о которой я упоминал в начале главы, является нитратом.

Когда растение или животное умирают, они разлагаются, и большая часть содержащегося в них азота попадает в почву в форме пригодной для потребления растениями. Таким образом, почва остается плодородной. Выделения животных, такие как навоз, также содержат азот в пригодной для растений форме. В примитивном земледелии навоз считается *удобрением*, и поэтому эта продукция конюшен и коровников высоко ценится и тщательно сберегается.

Такой путь азотосодержащих соединений из почвы через растения к животным и обратно в почву называется *циклом превращений азота и его соединений в живых организмах*. Есть, правда, два момента, при которых описанный выше процесс дает сбой. Во-первых, пока мертвое животное разлагается, а навоз остается на месте, некоторое количество атомов азота высвобождается. Они становятся молекулами азота и улетучиваются в воздух, откуда их уже так просто не вернуть. Во-вторых, нитраты, содержащиеся в почве, растворяются в воде и могут постепенно вымываться дождями, попадая затем в море. Если бы эти потери не восполнялись, жизнь на Земле закончилась бы. Каким-то образом азотосодержащие соединения должны попадать в почву. Единственно, откуда эти соединения могут получить свежую порцию азота, — это воздух, но как?

Ответ дает гроза. Каждый раз, когда сверкает молния, азот поблизости от нее вынужден соединиться с кислородом. Энергии удара молнии достаточно, чтобы это произошло. Азотно-кислородное соединение растворяется в дождевой воде и превращается в вещество, известное как *азотная кис-*

лота. Ее молекула состоит из одного атома азота, одного водорода и трех атомов кислорода. Когда азотная кислота достигает почвы, она превращается в нитрат.

Азотная кислота является одной из самых сильных кислот и может быть очень опасной для кожи и глаз при неосторожном обращении, но количество этой кислоты в одной дождевой капле настолько ничтожно, что его можно проигнорировать. Огромное количество дождевых капель падает на землю каждый день. По приблизительным оценкам, с грозами на землю проливается 250 тысяч тонн азотной кислоты каждый день.

Кажется, что это огромное количество, но при распределении по всей поверхности Земли получается, что вовсе нет. Этого количества все равно недостаточно, чтобы поддерживать цикл превращений азота и его соединений в живых организмах на необходимой скорости. К счастью, второй, и более важный, ответ дают бактерии.

Определенные бактерии, живущие в почве, способны усваивать молекулы азота из воздуха. Никакое другое живое существо не способно на это. Эти бактерии соединяют атомы азота с атомами других видов и создают соединения, которые могут усваивать растения. Эти бактерии в основном живут небольшими комками на корнях определенных растений, таких как горох, бобы, клевер, люцерна и арахис. Установлено, что бактериями связывается более 18 кг газообразного азота на 4000 м³ земли в год.

Даже древние римляне знали, что если на земле раньше росли эти растения, то плодородность такой почвы увеличивается, и другие растения, посаженные на ней, дадут на следующий год больший урожай.

Действительно, весь живой мир в большом долгу у этих маленьких почвенных бактерий.

Как я уже говорил, азот неохотно вступает в соединения с другими элементами. И если такие соединения удастся создать, они, как правило, быстро распадаются. Аммиачная селитра является примером такого соединения. В своей молекуле она содержит два атома азота, четыре атома водорода и три атома кислорода. При обычных условиях это безобидное белое вещество, похожее на соль.

Однако при нагревании молекула аммиачной селитры распадается, выделяя достаточно энергии, чтобы инициировать процесс распада. В очень короткое время весь объем аммиачной селитры распадается с громким хлопком. Аммиачная селитра является взрывчатым веществом. Обратите внимание на разницу между водородом и аммиачной селитрой. Водород взорвется только в смеси с кислородом: если держать кислород подальше, то ничего не произойдет. Аммиачной селитре помощь не нужна. Она может взорваться сама по себе.

Например, в 1947 году в бухте города Тексас-Сити, штат Техас, взорвалось судно, груженное аммиачной селитрой. Город был разрушен так, как будто его бомбила эскадрилья самолетов.

Другими часто применяемыми взрывчатыми веществами являются нитроцеллюлоза, нитроглицерин и тринитротолуол. Обратите внимание, что «нитро» в каждом названии указывает на наличие атомов азота в молекулах всех этих веществ. Возможно, вам чаще встречались другие названия тринитротолуола: тол или тротил.

В мирное время взрывчатые вещества применяются для устранения препятствий при прокладке дорог, в горном деле и т. д.

Среди сырья, необходимого для производства взрывчатых веществ, важное место занимают нитраты в качестве источника азота. До Первой мировой войны основным источником нитратов была сухая пустыня на севере Чили. Нитраты скопились здесь во времена, когда доисторические озера высохли, а дождей, способных смыть нитраты, больше не было.

С началом Первой мировой войны Британия контролировала все моря, и Германия из-за блокады не могла принимать суда, груженные селитрой из Чили. По мере расширения боевых действий в Германии стал ощущаться недостаток боеприпасов. Это поставило немцев в сложное положение: в воздухе находилось огромное количество азота, но выделить его оттуда было пока невозможно.

Немецкий химик Фриц Габер нашел выход. Он обнаружил, что азот можно заставить соединиться с водородом, если газы хорошо перемешать и достаточно нагреть под высоким давлением в присутствии определенных металлов. Если все условия соблюдены, удастся получить молекулы, состоящие из одного атома азота и трех атомов водорода. Такое соединение азота и водорода называется *аммиак*.

С получением аммиака проблема была решена. Из аммиака легко получить нитраты, а из нитратов взрывчатые вещества. Теперь у Германии были все необходимые взрывчатые вещества. Она сражалась еще два года и почти выиграла Первую мировую войну.

Если бы не *процесс Габера*, Германия, скорее всего, вынуждена была бы капитулировать еще в 1916 году.

Процесс Габера, разумеется, можно применять и в мирное время. Только в США из азота, содержащегося в воздухе, и водорода, содержащегося в

воде, производится около 300 000 тонн аммиака в год. Этот аммиак может быть превращен в удобрение, что существенно сокращает зависимость современных фермеров от биоудобрений.

(Кстати, Германия оказалась не особенно благодарной Габеру. Когда в 1933 году к власти пришли нацисты, Габер лишился работы и был выдворен из страны, потому что оказался евреем.)

Аммиак, о котором я только что говорил, знаком каждой семье. При нормальной температуре это легкий газ (вдвое легче воздуха), обычно встречающийся растворенным в воде, известен нам более под названием *нашатырный спирт*. В домашнем хозяйстве его используют для чистки стеклянных поверхностей.

В отличие от водорода, кислорода и азота аммиак обладает запахом. Запах въедливый, острый, достаточно неприятный и удушающий. Обычная аммиачная вода применяется в хозяйстве сильно разбавленной, а потому она неопасна. Более насыщенные растворы используются в химических лабораториях, обращаться с ними нужно крайне осторожно и при наличии хорошей вентиляции.

То, что аммиак растворяется в воде, необычно по одной причине. Ни один газ не растворяется в воде так легко, как аммиак. Помните, в первой главе я говорил, что кислород немного растворяется в воде и что рыбы живут за счет этого растворенного кислорода?

Действительно, в литре воды могут раствориться только 49 см³ кислорода. А в случае с азотом и водородом в воде растворится только по 24 см³ этих газов. Однако в том же самом литре может раствориться до 0,9 м³ аммиака. В этой книге нам еще встретятся растворимые газы, но в такой степени растворяться не может ни один из них.

В отличие от кислорода, водорода и азота превратить аммиак в жидкость очень легко. Для этого достаточно температуры в 33 °С ниже ноля. А под давлением аммиак можно превратить в жидкость даже при комнатной температуре.

Газ, который так легко превращается в жидкость, очень полезен. Когда жидкость испаряется, она забирает тепло из своего окружения. Ей приходится это делать, потому что ее молекулам необходима дополнительная энергия для перехода в газообразное состояние. (Если вы поместите каплю воды, а лучше спирта, на вашу кожу и осторожно подуете на нее, вы почувствуете, как кожа под испаряющейся жидкостью охлаждается.)

Если под давлением аммиак превратить в жидкость, а затем убрать давление, чтобы он быстро испарился и превратился обратно в газ, то он заберет из окружающих его предметов много тепла. Если повторять этот цикл снова и снова, все больше и больше тепла будет уходить. Холодильники и морозильники сохраняют холод именно таким путем. Аммиак является *хладагентом*. Это не самый безопасный хладагент: если из змеевика, содержащего газ, случится утечка, это может быть не только неприятно, но и опасно. Тем не менее он остается самым дешевым и потому широко применяется в промышленных холодильниках.

Жидкий аммиак химически во многом напоминает воду. Ученые даже предположили, что на планетах холоднее Земли могут существовать океаны из жидкого аммиака.

Вся химическая система и наверно, некоторые формы жизни могут существовать там на основе аммиака, так же как на основе воды на Земле.

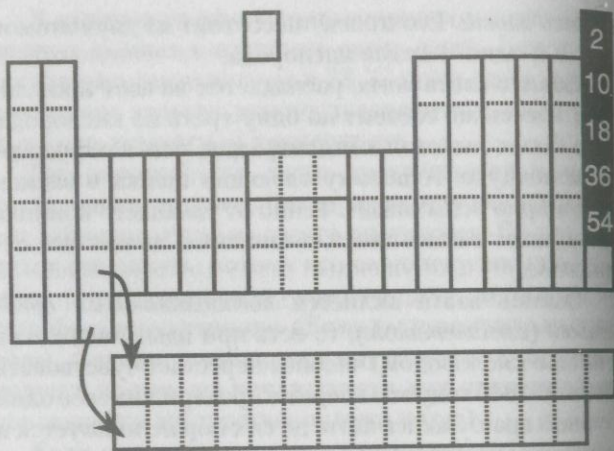
Азот может соединиться с кислородом несколькими способами. Наиболее известным является газ

закись азота. Его молекула состоит из двух атомов азота и одного атома кислорода.

Закись азота легко распадается на азот и кислород. Смесь же состоит на одну треть из кислорода. Это более высокая концентрация, чем в окружающем воздухе. А потому тлеющая щепка в закиси азота ярко вспыхивает. Тепло от тлеющего кончика разрушает закись азота, а кислород делает все остальное.

Закись азота является *обезболивающим средством (анестетиком)*, то есть при вдыхании его (в смеси с кислородом) человек перестает чувствовать боль. В 1840 году это впервые проверил на себе один зубной врач. Закись азота до сих пор используется и дантистами, и хирургами. В малых дозах закись азота иногда оказывает на людей странное действие, заставляя их вести себя необычно. Они могут ползать в драку, кричать или смеяться. За это закись азота часто называют *веселящим газом*. На самом деле смешного тут мало, закись азота может и убить человека.

Применение анестетиков — непростое дело. Во время хирургических операций за этим следят специалисты, которые после тщательного обучения и в результате большого опыта действительно знают, как нужно поступать.



Глава 4

ГЕЛИЙ: САМОДОСТАТОЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Солнечный свет на самом деле является смесью всех возможных цветов. Если свет пропустить через треугольный кусок стекла, называющийся *призмой*, он разветвляется в некое подобие радуги. Такая радуга называется *спектр*.

Когда элементы нагреваются до высокой температуры, свет, испускаемый ими, при прохождении через призму распадается на яркие линии разных цветов. У каждого элемента свой набор таких линий.

Если вы знаете точное положение линий в спектре, вы можете определить, какой элемент их испускает. Таким путем астрономы смогли узнать, из каких элементов состоит Солнце и другие звезды.

В 1868 году во время солнечного затмения французский астроном Пьер Жансен и английский астроном сэр Джозеф Норманн Локьер заметили

странные линии в спектре. Они не принадлежали ни одному из известных элементов. Локьер решил, что они принадлежат новому элементу, и назвал его *гелием*, от греческого слова «Солнце».

В 1898 году английский химик сэр Уильям Рэмзи исследовал газ, выделенный из определенного вида урановой руды. Среди прочего, он изучал и свет, испускаемый им при нагревании. Ученый был поражен. Свет, пропущенный через призму, распался на линии в точности такого же цвета, что Локьер обнаружил на Солнце. Элемент был обнаружен на Земле через 30 лет после того, как он был обнаружен на Солнце!

Гелий является элементом номер 2. После водорода это самый простой атом из всех известных, и, вероятно, по той же причине гелий второй по распространенности элемент во Вселенной. Как мы уже видели, 90% атомов во Вселенной — водород. Более 9% — гелий. Все остальные атомы, вместе взятые, составляют менее 1%.

Гелий *очень* редко встречается на Земле по той же причине, что и водород. Он настолько легкий, а его молекулы двигаются настолько быстро, что земное притяжение не может его удержать. Внешние планеты в своих атмосферах содержат гораздо большее количество гелия.

На Земле гелий встречается гораздо реже, чем водород. Во-первых, его просто слишком мало. Во-вторых, атомы гелия самодостаточны. Они совершенно не склонны к соединению с другими атомами.

Атомы гелия не соединяются даже друг с другом. Гелий в газообразном виде состоит из отдельных атомов, которые двигаются сами по себе. Это *одноатомный* газ, в то время как кислород, водород

и азот с их двумя атомами являются *двухатомными*, а озон *трехатомным* газом.

Некоторая часть водорода осталась на Земле в соединениях с более тяжелыми атомами. Гелий не создает никаких соединений, и поэтому на Земле его практически не осталось.

Если вы посмотрите на периодическую таблицу, то увидите, что элемент номер 2 (гелий) относится к группе, в которую входят элементы номер 10, 18, 36, 54 и 86. Все эти элементы в определенном смысле похожи друг на друга. Главной чертой сходства является то, что все они газы и что их атомы неохотно соединяются с другими атомами. Они все одноатомные. Поэтому всю группу было решено назвать *инертными газами*. Некоторым людям кажется, что в таких свойствах есть что-то аристократическое. И эти газы иногда называют еще и *благородными*.

Инертность этих газов в иных случаях делает их даже более полезными, чем азот. Как уже говорилось, иногда металлы сваривают в потоке азота. Но некоторые металлы при нагревании становятся настолько активными, что соединяются даже с азотом. С гелием не может соединиться ни один.

Вследствие своей легкости гелий является хорошей заменой водороду в воздушных шарах и дирижаблях. Конечно, атом гелия вдвое тяжелее молекулы водорода, но все же в семь раз легче воздуха.

Подъемная сила гелия составляет 93% подъемной силы водорода, и этого вполне достаточно. Более того, у гелия есть два больших преимущества перед водородом. Во-первых, поскольку гелий не горит ни при каких условиях, нет опасности пожара или взрыва. Во-вторых, атомы гелия тяжелее молекул водорода, и поэтому гелий не так быстро просачивается сквозь стенки емкостей.

А где взять гелий, чтобы применять его в дирижаблях? Наверняка гелий присутствует в воздухе, но его там меньше чем один атом на миллион других. Если отбирать тот один атом из всего кислорода и азота, чтобы собрать достаточно гелия и потом наполнить газовые емкости огромного дирижабля, то получится слишком дорого.

Гелий добывают в газовых и нефтяных скважинах на юго-западе Соединенных Штатов. В этих скважинах находится смесь горючих газов, называемая *природным газом*, часть которого подается в дома к газовым плитам, а из части добывают гелий. Гелий может составлять от 1 до 2% всего объема газа, но выделить его достаточно легко. Соединенные Штаты были единственной страной, имевшей достаточно гелия, чтобы наполнять им дирижабли и продавать оставшийся гелий другим странам. (В 30-х годах по политическим соображениям Соединенные Штаты отказались продавать гелий в Германию, и поэтому «Гинденбург» был наполнен водородом.) Но даже наполненные гелием дирижабли не стали основным видом воздушного транспорта, потому что, застигнутые штормами, многие из них деформировались и разваливались.

Гелий — наименее растворимый из всех известных газов. Он растворяется в половину хуже, чем азот. По этой причине глубоководные ныряльщики используют специальную дыхательную смесь, состоящую на 20% из кислорода, как воздух, и на 80% из гелия, вместо азота. Гелий, как и остальные инертные газы, непригоден для дыхания, но не ядовит.

Гелий даже менее опасен для ныряльщиков, чем азот, потому что меньше растворяется в крови и тканях, что позволяет подниматься на поверхность быстрее и с меньшей опасностью заболеть кессонной болезнью.

Кислородно-гелиевая смесь легче, чем кислородно-азотная, и требуется меньше усилий для ее вдыхания и выдыхания. Эту смесь дают иногда больным астмой или пациентам под наркозом, которые испытывают затруднения дыхания.

Из-за своей легкости гелий применяют в аэродинамических трубах. Конечно, гелий дорог, но его легче разогнать до высоких скоростей, чем воздух (он гораздо тяжелее). Самолеты можно испытывать и в потоке гелия.

Если вам случалось покупать летающие воздушные шары на ярмарках или праздниках, знайте — вы держите в руках гелий. Им наполняют такие шары.

В мире существует несколько систем измерения температуры. Наиболее привычная здесь, в Соединенных Штатах, *шкала Фаренгейта*. В других странах, в частности в Великобритании и странах Британского Содружества Наций, применяется *шкала Цельсия*. По этой шкале лед тает при 0 градусов, а вода кипит при 100. (И это гораздо удобнее.) Комнатная температура составляет около 25 градусов, а температура человеческого тела около 37.

Градус шкалы Цельсия в 1,8 раза больше градуса шкалы Фаренгейта. Ученые всего мира и даже Соединенных Штатов пользуются только шкалой Цельсия.

Молекулы, как вы, наверно, помните, находятся в постоянном движении, вроде вибрации. Чем выше температура, тем сильнее вибрация. Чем температура ниже, тем слабее вибрация. Но есть ли температура настолько низкая, чтобы молекулы остановились совсем?

Да. Температура, при которой молекулы прекращают движение, называется *абсолютный ноль*. Это

самая низкая возможная температура. Абсолютный ноль — это 273 градуса ниже ноля по шкале Цельсия. Это значение является нулем в *абсолютной шкале*. (Также называется шкалой Кельвина. — *Примеч. пер.*) Градусы в абсолютной шкале такие же, как и в шкале Цельсия. По абсолютной шкале лед тает при 273 градусах, а вода кипит при 373. Комнатная температура — 298, а температура тела — 310 градусов.

Атомы гелия настолько индифферентны, что не вступают в соединение даже с другими подобными атомами, поэтому, чтобы привести гелий в жидкое состояние, необходима такая низкая температура, при которой его атомы почти полностью прекращают двигаться. Из всех известных веществ гелий труднее всех переходит в жидкое состояние. Например, по абсолютной шкале, где ноль — самая низкая возможная температура, кислород становится жидким при 90 градусах. Азот необходимо охладить еще, он превращается в жидкость при 78 градусах. С водородом еще сложнее: ему нужна температура в 20 градусов. Но гелий не станет жидким, пока температура не опустится до 4 градусов! Только при 1 градусе гелий становится твердым, да и то только под большим давлением.

При температуре жидкого гелия начинают происходить странные вещи. Такие вещества, как ртуть и свинец, полностью теряют электрическое сопротивление. Электрический ток может двигаться в них вечно.

Это явление называется *сверхпроводимостью*. Однако сверхпроводимые вещества теряют эту способность, если через них пропущено слишком много тока.

Были созданы специальные переключатели толщиной с волос, которые позволяют при температу-

ре жидкого гелия включать или отключать эффект сверхпроводимости. Их называют *криотронами*. Разумеется, все это будет работать только при температуре жидкого гелия.

При температуре ниже $2,2^\circ\text{K}$ гелий и сам приобретает такие необычные свойства, что для него применяется специальное название — *гелий II*. Гелий II проводит тепло со скоростью гораздо более высокой, чем остальные известные вещества. Он может просачиваться в такие маленькие отверстия, куда воздух не проходит. Он покрывает стекло химического стакана и поднимается по его стенкам вверх, чтобы, достигнув края, опуститься вниз. Такой феномен называется *сверхтекучестью*. Эти свойства очень заинтересовали химиков, поскольку не укладывались в привычные представления о веществе, и для их объяснения пришлось разрабатывать новые теории. Гелий при температуре выше $2,2^\circ\text{K}$ теряет все свои необычные свойства и называется *гелий I*.

Первый инертный газ был открыт в 1894 году лордом Рейли и сэром Уильямом Рэмзи (который четыре года спустя обнаружит гелий на Земле).

Но первые догадки о его существовании появились в 1785 году, когда английский ученый Генри Кавендиш пытался заставить азот соединиться с кислородом в воздухе, пропуская через смесь электрический разряд.

Он обнаружил, что небольшая часть газа не желает вступать в соединение, что бы с ним делал.

Сто лет спустя Рейли заметил, что азот из воздуха немного тяжелее азота, выделенного химическим путем. Он решил, что в воздухе содержится неизвестный элемент тяжелее азота. Вдвоем с Рэмзи они тщательно фракционировали жидкий воздух и нашли новый элемент. Это был элемент номер 18. Поскольку его атомы не желали соединяться с

другими, они называли его *аргоном* от греческого слова «ленивый».

Аргон — самый распространенный инертный газ. Он составляет почти 1% воздуха. Сейчас его используют в электрических лампочках вместо азота, потому что он более инертен и оказывает меньшее воздействие на раскаленную металлическую нить. По тем же причинам его используют вместо азота при сварке.

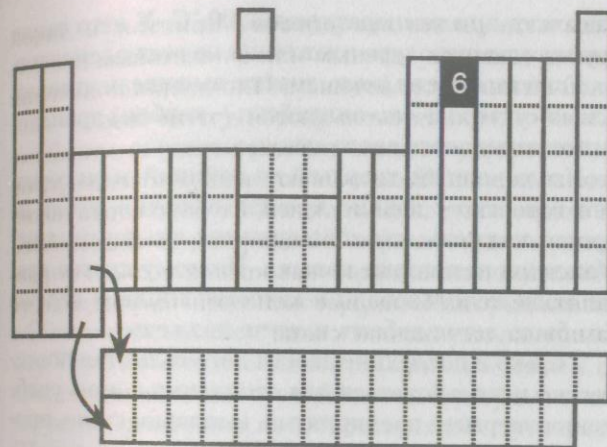
В конце XIX века Рэмзи обнаружил в воздухе три других инертных газа. Элемент номер 10 по предложению 12-летнего сына Рэмзи был назван *неоном* от греческого слова «новый». Элемент номер 36 был назван *криптоном* от греческого слова «спрятанный». Элемент номер 54 называли *ксеноном* от греческого слова «незнакомец».

Чем более сложный атом у инертного газа, тем легче этот газ привести в жидкое состояние. Неон кипит при 27°C абсолютной шкалы, чуть выше, чем водород. Аргон кипит при 87°C , чуть ниже, чем кислород. Криптон кипит при 120°C , а ксенон при 166°C . (Я не буду здесь рассказывать об элементе номер 86. Это самый сложный инертный газ, и подробнее о нем будет рассказано в конце книги.)

Кроме аргона, остальные инертные газы встречаются достаточно редко. Однако из жидкого воздуха можно получить достаточное количество этих газов, чтобы найти им еще одно интересное применение. Когда эти газы помещают в длинные стеклянные трубки (которые могут быть согнуты в любом направлении и даже в виде букв) и пропускают через них электрический ток, они начинают светиться яркими цветами. Неон дает замечательный красно-оранжевый цвет, в честь него огни, которые заливают Бродвей и другие улицы города,

называют *неоновыми огнями*. Криптон в такой трубке светится зеленым или фиолетовым цветом, ксенон синим или зеленым. Иногда для получения новых оттенков используются другие газы.

Ксенон достаточно тяжелый газ, и его тяжелые атомы хорошо задерживают рентгеновские лучи. Рентгеновские снимки людей, глубоко вдохнувших ксенон, могут дать много информации об их легких. В электрических лампочках ксенон позволяет раскалить нить до более высокой температуры, то есть лампочка даст больше света.



Глава 5

УГЛЕРОД: ЭЛЕМЕНТ ЖИЗНИ

Элементы, которые мы описывали в этой книге, состоят или из отдельных атомов, или из молекул, состоящих из двух атомов. Поскольку их атомы или молекулы обладают слабым взаимным притяжением, эти элементы трудно превратить в жидкость. При нормальных условиях они остаются газами.

Однако в *углероде*, элементе номер 6, каждый атом прочно связан с другими четырьмя, а каждый из этих четырех с четырьмя другими.

Таким образом, все атомы углерода прочно связаны друг с другом. Требуется серьезное усилие на соединение атомов и, наоборот, на разъединение их. Это значит, что углерод при нормальных условиях твердый. Он остается твердым даже раскаленным докрасна, но его все-таки можно превратить в

жидкость при температуре в 3500 °С. У него самая высокая температура плавления из всех элементов.

Если вы видели *уголь*, значит, вы видели углерод. Слово «углерод» (по-английски — карбон) происходит от латинского слова «уголь».

Уголь черный, твердый, но хрупкий, и он горит. Это известно с давних времен. Конечно, уголь не просто поджечь, для поддержания его горения необходимы некоторые навыки. Поэтому долгое время люди использовали в качестве топлива дерево. Его было легче добыть и легче поджечь.

Только в последние двести лет уголь стал повсеместно использоваться для отопления домов, снабжения энергией предприятий, выплавки стали, производства электричества и т. д.

Пик использования угля приходился на 1900 год. Затем ведущую роль стала играть нефть. А в будущем ее место, возможно, займет атомная энергия. Но даже и сегодня забастовка шахтеров может создать серьезные проблемы. Из-за недостатка угля вынуждены будут остановиться сталелитейные заводы, фабрики и железные дороги.

Атомы, из которых состоит уголь, были когда-то частью живых существ. Все живые существа содержат углерод. 10% атомов человеческого тела — углерод.

Растения, так же как и животные, по большей части (99%) состоят из четырех видов атомов: углерода, водорода, кислорода и азота. Когда растения, росшие в болотистых местах, умирают, они падают в воду и начинают там медленно разлагаться.

Сложные углеродно-водородно-кислородно-азотные молекулы распадаются на более простые. Простые молекулы могут быть газами, такими как азот или аммиак, или жидкостями, как вода. Эти вещества покидают разлагающийся растительный ма-

териал. То есть атомы водорода, кислорода и азота высвобождаются. Часть атомов углерода в виде простых молекул также высвобождается, но большая часть атомов углерода остается.

Таким образом, разлагающийся растительный материал во все большей и большей степени становится состоящим из углерода. Так, сухое *дерево* на 50% состоит из углерода. На первых стадиях разложения оно превращается в *торф*, состоящий на 60% из углерода. (В Ирландии торф до сих пор добывают в болотистых местах, сушат и используют как топливо.) Торф постепенно заносится грязью и землей, но процесс разложения продолжается. В результате образуется *бурый уголь*, на 67% состоящий из углерода. (Черная и твердая разновидность бурого угля, поддающаяся полировке, называется *гагат* и обладает декоративными качествами. Сейчас его почти не используют, но, описывая что-то очень темное, говорят «черен как гагат».) Все больше и больше земли оказывается сверху. Ее давление ускоряет процесс. Формируется *каменный уголь*, состоящий на 88% из углерода. Процесс заканчивается на формировании *антрацита*, в котором уже 95% углерода.

Дерево хорошо горит, потому что при нагревании его молекулы распадаются на более простые, которые улетучиваются в виде горючих газов. Эти газы легко поддерживают горение. Горит дерево желтым и дымным пламенем. Поскольку уголь формируется под землей, летучих газов в нем почти нет. Уголь трудно поджечь, но если это удастся, то горит он гораздо более жарким пламенем, чем дерево. Полкило угля дают вдвое больше тепла, чем полкило дерева.

Пламя антрацита практически бездымно. В каменном же угле еще достаточно других атомов, которые дают дым при горении. Если приме-

нять в домашних печах каменный уголь, дым может вызывать неудобства и быть даже опасным для здоровья. Поэтому в жилых помещениях используют только антрацит.

Каменный уголь встречается чаще, чем антрацит. Фабрики и сталелитейные заводы, использующие уголь в больших количествах, используют каменный. Именно поэтому Питтсбург, центр сталелитейной промышленности, печально известен своим дымом. Частички несгоревшего углерода в воздухе, результат сжигания угля, оседают в виде *сажи* и делают наши города даже еще грязнее, чем во времена, когда топливом было дерево. Ежегодно от 400 до 500 тонн сажи оседает на каждом квадратном километре наших крупных городов.

Чтобы сформировался уголь, нужно много растений. Подсчитано, что из шестиметрового слоя разлагающихся растений получается полуметровый слой угля. Если вы подумаете о триллионах тонн угля под землей, вы сможете представить себе, какое количество лесов должно вырасти, умереть и разложиться, чтобы сформировать это количество угля, и сколько миллионов лет должно при этом пройти.

Углерод можно использовать и не для отопления. Если по двум находящимся рядом угольным стержням пропустить электрический ток, между ними не будет проскакивать электрическая искра. Сильный белый свет будет результатом медленного сгорания углерода. Такая *дуговая лампа* может использоваться в кинопроекторах для получения пучка света достаточно сильного, чтобы сохранить свою яркость при попадании на большой экран.

До того как уголь стали широко использовать, лесов в Европе было больше и дрова были дешевле, чем сейчас, небогатые люди делали уголь сами.

Они брали какое-то количество дерева, помещали его в яму, засыпали сверху землей и поджигали. Если поджечь дерево на открытом воздухе, оно просто сгорит, и останется только зола. Под землей же при недостатке кислорода большая часть углерода оставалась несгоревшей. Когда землю убирали, оставшаяся черная субстанция состояла из почти чистого углерода. Такой уголь называется *древесным*. Как и уголь, древесный уголь горит жарче, медленнее и чище, чем обычные дрова.

Но получать древесный уголь таким способом было весьма расточительно. Сейчас при производстве древесного угля путем нагревания дерева в отсутствие воздуха все выделяющиеся при этом газы и жидкости собирают и используют для других надобностей.

Размолотый в очень мелкий порошок древесный уголь обладает способностью *адсорбировать* молекулы многих типов. Это означает, что молекулы прочно прилипают к поверхности угля. Обычно чем крупнее молекула, тем прочнее она прилипает. Такой порошкообразный древесный уголь иногда называют *активированным углем*.

Активированный уголь используется для обесцвечивания веществ. Например, на последнем этапе очистки сахара удаляются коричневые примеси. (Вы можете купить сахар разной степени очистки, в котором для аромата примеси сознательно оставлены.)

Коричневые примеси имеют молекулы большего размера, чем молекулы сахара. Когда в сироп, содержащий сахар, добавляется активированный уголь, примеси прилипают к частичкам угля, а сам сахар нет. Затем, когда уголь удаляется, а сироп выпаривается, остается абсолютно белый сахар.

Таким образом, добавляя черный порошок в коричневый сироп, мы, в конце концов, получаем белое вещество.

Активированный уголь также используется в противогазе. Воздух, перед тем как попасть в нос и легкие, проходит через специальную коробку с углем. Молекулы кислорода и азота проходят беспрепятственно, а крупные молекулы ядовитых газов задерживаются, прилипая к маленьким частичкам угля.

Порошковый углерод также называют *сажей*, и его выдающаяся чернота используется при изготовлении туши, чернил и копировальной бумаги. Еще для прочности его добавляют в резину. Вот почему автомобильные шины черные.

Атомы углерода в каменном и древесном угле расположены беспорядочно, так, как они находились в первоначальном дереве. Твердые вещества, в которых атомы находятся в таком беспорядке, называются *аморфными* (от греческого «бесформенный»). Твердые вещества, в которых атомы расположены правильными рядами и колоннами, называются *кристаллическими*.

Графит — кристаллическое вещество, состоящее из углерода. Залежи графита находят в земле. Также графит можно получить из угля. Когда мы нагреваем уголь, пропуская через него при определенных условиях электрический ток, атомы углерода медленно выстраиваются в правильном порядке.

Графит, как и уголь, черный и может загореться при 700 °С. Ниже этой температуры он вполне инертен и используется, например, для придания печам блеска без опасения, что он загорится.

Атомы графита располагаются правильными слоями. Эти слои имеют склонность к расщеплению, поэтому графит легко крошится. Мелкие

крошки или чешуйки с такой легкостью скользят друг по другу, что графитный порошок скользкий на ощупь и вполне может использоваться как *смазочный материал*.

Если графитный порошок поместить туда, где два твердых тела трутся и вращаются относительно друг друга, он заметно снижает трение. Если поверхности, трущиеся друг о друга, покрыть графитом, они становятся скользкими.

Из-за того что графит легко расслаивается на чешуйки, он оставляет след на бумаге. (Слово «графит» происходит от греческого «пищу».) Этот след состоит из чешуек, отслоившихся в процессе движения графита. Грифель карандаша состоит из графита, смешанного с глиной. Глина делает графит твердым и не таким ломким.

Несмотря на то что атомы углерода в графите расположены в правильном порядке, они все же находятся не настолько близко друг к другу, как могли бы. Случается, что глыбы графита глубоко под поверхностью Земли подвергаются воздействию огромной температуры и давления. В таких условиях атомы углерода сближаются. Когда это происходит, возникает вторая кристаллическая форма углерода. Эта новая кристаллическая форма, оставаясь чистым углеродом, как графит, обретает совершенно новые качества. Если графит черный и слоистый, то эта новая форма обычно не имеет цвета и прозрачна. Графит довольно мягкий и используется как смазка, новая форма является самым твердым веществом из известных, и, если в виде порошка поместить его в движущиеся части механизма, механизму придет конец. Графит проводит электрический ток, и поэтому графитовые стержни применяются в обычных батарейках (как, например, в фонарике), новая форма не проводит электричества. Графит широко распро-

странен и используется в карандашах, новая форма встречается редко и используется в ювелирных изделиях.

Новая форма кристалла, о которой я говорю, называется *алмаз*.

Да, алмаз в той же степени углерод, в какой графит или обыкновенный уголь. Единственное отличие лишь в том, в каком порядке расставлены атомы углерода. Если алмаз очень сильно нагреть, он сгорит так же, как и уголь. Правда, немногие люди отваживались на такой эксперимент.

Алмаз и графит — аллотропические модификации углерода, так же как озон — аллотропическая модификация кислорода.

В четвертой главе я говорил, что солнечный свет при пропускании через клиновидный кусок стекла, называемый призмой, разлагается на несколько цветов, похожих на радугу. Это происходит потому, что стекло преломляет или отклоняет луч света, падающий на него под углом. Свет разного цвета оно преломляет по-разному. Разные цвета, входящие в солнечный свет, выходят из призмы в разных местах, так получается радуга.

Все прозрачные вещества в той или иной степени обладают такой способностью. Маленькие капельки воды, подвешенные в воздухе, также могут преломлять свет. Вот почему мы часто видим радугу, если солнце появляется сразу после дождя.

Чем сильнее вещество преломляет свет, тем красочнее радуга. Алмаз делает это в гораздо большей степени, чем стекло или вода. Это значит, что, если правильно ограненный алмаз поворачивать в луче света, он будет светиться разными цветами. Вспышки чистого красного, синего, зеленого и других цветов, появляющиеся на алмазе, представляют собой великолепное зрелище. Стекло, ограненное в

форме бриллианта, тоже сверкает, но слабее. Такие стеклянные имитации называются *стразами*. Стразы можно сделать более блестящими, если добавить на их нижнюю сторону полоски металла, такие стразы называются *фальшивыми бриллиантами*.

Большая часть алмазов добывается в Южной Африке, где находится 96% мировых запасов.

Но даже в самых богатых алмазных шахтах добывают не более 30 г камней на 60 т пустой породы. В 1955 году в лабораториях компании «Дженерал электрик» сумели воспроизвести необходимые условия температуры и давления, чтобы получить небольшие «искусственные алмазы». С химической точки зрения эти алмазы ничем не отличаются от тех, что добываются в шахтах. И называть их искусственными было бы не совсем справедливо. Они самые настоящие.

Алмазы широко применяются в промышленности. Поскольку это самое твердое вещество на свете, его можно использовать при изготовлении сверл и других инструментов для обработки очень твердой стали. Алмазный порошок, называемый *абразивом*, наклеивается на диск. Этот диск устанавливается на вал электродвигателя и начинает быстро вращаться. Частички алмаза позволяют разрезать таким диском любой материал. Таким же образом режутся и шлифуются другие алмазы. (Это единственный способ обработки алмазов.)

Разумеется, самые лучшие и чистые алмазы в промышленности не используются. Они слишком дороги. Только один из двадцати алмазов настолько чист, чтобы использоваться в ювелирных украшениях. Алмазы с изъяном, в которых процесс превращения графита в алмаз не был закончен, содержащие от 2 до 4% графита и потому имеющие черный цвет, идут на нужды промышленности. Их называют *кар-*

бонадо или *борт*. Непригодные для ювелирных изделий, они тем не менее обладают твердостью алмаза, что и нужно для их промышленного использования.

Когда дерево гниет под водой, часть углерода из него улетучивается в виде соединений с водородом. Молекулы этого соединения состоят из пяти атомов — одного углерода и четырех водорода.

Оно называется *метаном* и является газом. Поскольку оно появляется в воздухе над болотами (в воде которых обычно гниют древесные стволы), его еще называют *болотным газом*.

Часть метана не улетучивается в воздух, а остается в полостях внутри угля. При добыче угля, когда шахтеры взламывают угольные пласты, метан поступает в воздух внутри шахты. Это может быть очень опасно, потому что метан хоть и не ядовит, но непригоден для дыхания. К тому же он может взрываться в соединении с воздухом, как водород. Шахтеры называют его *рудничным газом*.

Атомы углерода отличаются от других тем, что они формируют молекулы другого типа, нежели остальные элементы. Большинство атомов при соединении формируют небольшие молекулы, состоящие не более чем из дюжины атомов. Атомы же углерода при соединении формируют длинные цепочки или кольца, а также комбинации из них. Молекулы, содержащие углерод, могут состоять из сотен, тысяч и даже миллионов атомов. Только углерод может формировать молекулы достаточно большие и сложные, чтобы они стали носителями жизни. Ни один другой элемент не способен на такое. Вот почему углерод с полным на то основанием можно назвать *элементом жизни*.

Иногда при гниении дерева углерод и водород задерживаются. Это происходит в виде множества соединений, состоящих из цепочек и колец, содер-

жащих атомы углерода и водорода. Такие углеродно-водородные соединения называются *гидрокарбонатами*.

Одним из образовавшихся естественным путем веществ, в основном состоящих из углеводов, является *нефть*. Мировые запасы нефти, возможно, образовались в процессе разложения древесины, но ученые не до конца в этом уверены. Нефть, как и уголь, горит. Поскольку нефть жидкость, ее гораздо легче поджечь. Различные виды углеводов, находящихся в нефти, могут быть разделены путем фракционной перегонки (так же как в жидком воздухе разделяются кислород и азот).

Углеводороды со сравнительно небольшими молекулами кипят при низких температурах, с более крупными молекулами при более высоких.

Из небольших молекул получается *бензин*, который сгорает в двигателях автомобилей, катеров и самолетов. Из мелких молекул получается *петролеэфир*, который часто применяют для чистки одежды. Из более крупных углеводородных молекул получают *керосин*, *мазут*, *смазочные масла*, *вазелин* и т. д. Во второй половине столетия нефть приобрела особую важность в связи с развитием автомобильного транспорта и авиации. Во многих сферах применения (но не во всех) нефть заменила каменный уголь.

Простейшим углеводородом является метан, который мы уже знаем. Его можно обнаружить в составе нефти, так же как на болотах или в угольных шахтах. Природный газ, который поступает из нефтяных скважин и подается в дома для отопления и приготовления пищи, на 90% состоит из метана.

Все углеводороды, а также некоторые вещества, содержащие, помимо углерода и водорода, кислород и азот, называют *органическими соединениями*.

Они называются так потому, что образовались из живых организмов. Однако в 1928 году органическое соединение было получено в лаборатории из минеральных компонентов, и с тех пор химики научились синтезировать тысячи таких соединений из воздуха, угля и воды.

Вот наиболее известные органические (содержащие углерод) соединения. Сахар — органическое вещество. Крахмал, древесина, оливковое масло, шелк, хлопок, нейлон, целлулоид, целлофан, бумага, резина, пенициллин и миллион других органических соединений или их сочетаний. Все живое состоит из органических соединений. И им нет конца.

Основным источником органических соединений является нефть. Другим — каменный уголь, содержащий до 88% углерода.

Если каменный уголь нагревать без доступа воздуха, все лишние атомы и некоторые атомы углерода улетучиваются в виде газа. Если таким образом нагреть тонну каменного угля, можно получить около 3000 м³ *каменноугольного газа*. Он состоит в основном из метана и водорода. Каменноугольный газ, так же как и природный, можно использовать для отопления и приготовления пищи.

Из той же самой тонны угля можно также получить более 8 л смоловидного вещества, называемого *каменноугольным дегтем*. Каменноугольный деготь является смесью многих органических соединений, из которой химики производят красители, медикаменты и множество других вещей. Азот из той же тонны угля выделяется в виде 12 кг *сульфата аммония*, который также имеет широкое применение.

Когда все эти вещества улетучатся, мы получим почти чистый углерод. Такой углерод называется *коксом*.

Также уголь можно использовать и при обратном процессе. Вместо того чтобы терять атомы водорода, он может их приобретать. Таким путем уголь можно превратить в более дорогой бензин и другие нефтепродукты. Здесь действует тот же принцип гидрогенизации, что и в случае с жирами.

Когда углерод горит в большом объеме воздуха, его атомы соединяются с атомами кислорода и образуют *углекислый газ*. Молекула углекислого газа состоит из трех атомов: одного углерода и двух кислорода. И это происходит независимо от того, какая форма углерода сгорает: уголь, кокс, древесный уголь, графит или алмаз.

Даже если углерод становится частью молекулы, уже содержащей другие атомы, он все равно образует углекислоту. Бензин, содержащий в своих молекулах атомы углерода и водорода, при сгорании образует воду и углекислый газ. В нашем организме, как мы видели в первой главе, органические вещества (из нашей пищи), содержащие в своих молекулах атомы углерода, медленно сгорая, образуют углекислый газ.

Наше дыхание тому подтверждение. В свежем воздухе углекислый газ присутствует в совсем небольших количествах, если быть точным, $\frac{1}{30}\%$, и этот воздух мы вдыхаем. Воздух, который мы выдыхаем, совсем другой: часть кислорода исчезает, и его место занимает углекислый газ. Он составляет более 4% выдыхаемого воздуха. (Также углекислый газ формируется в вулканах.)

У вас, вероятно, возникнет вопрос, почему же весь воздух постепенно не наполнится углекислым газом, вместо кислорода. К счастью для нас, растения используют углекислый газ для образования органических соединений. В процессе этого они освобождают кислород. Животные поглощают кисло-

род и выделяют углекислый газ, а растения поглощают углекислый газ и выделяют кислород, таким образом поддерживается баланс.

Углекислый газ непригоден для дыхания и отчасти ядовит. Для безопасного дыхания его концентрация в воздухе не должна превышать 5%. Большой процент углекислого газа вызывает дискомфорт. Наличие 40% углекислого газа в воздухе быстро приводит к летальному исходу.

Если углекислый газ охладить до минус 79 °С, он превращается в белое твердое вещество, минуя стадию жидкости. Если оставить его при комнатной температуре, он превратится обратно в газ, минуя жидкую стадию. В жидком виде углекислый газ может существовать только под высоким давлением. Когда твердое вещество превращается в газ, минуя жидкую стадию, говорят, что оно *возгоняется*.

Твердый углекислый газ называют *сухим льдом* (это торговая марка), потому что он используется для замораживания, но не превращается в жидкость, как обычный лед. Мы можем увидеть, как возгоняется сухой лед, если положим кусочек его в воду. Вода вспенивается, и кажется, что бурно кипит, пока сухой лед выделяет углекислый газ. (Сухой лед значительно холоднее обычного, поэтому обращаться с ним нужно осторожно.)

Получить углекислый газ можно, воздействуя кислотами на определенные химикаты, известные как *карбонаты*. В некоторых видах огнетушителей содержится раствор карбоната и сосуд с концентрированной кислотой. Когда такой огнетушитель приводится в рабочее положение, кислота смешивается с карбонатом и струя углекислого газа с водой вырывается из отверстия.

Поскольку углекислый газ в два с половиной раза тяжелее воздуха, он не улетучивается, а обволакива-

ет горящий предмет. Таким образом, он препятствует проникновению к нему воздуха, а без притока кислорода огонь тухнет.

Пекарские порошки содержат карбонаты и слабые кислоты в твердом виде. Пока кислота сухая и твердая, она не вступает в реакцию с карбонатом. Когда же такой порошок смешивается с жидкими ингредиентами, кислота растворяется в воде и начинает взаимодействовать с карбонатом. Углекислый газ начинает медленно выделяться. По мере прогрева теста пузырьки газа наполняют его, и пирог поднимается. Если посмотреть на готовую выпечку, видно, что в ней множество маленьких пузырьков. Именно эти пузырьки углекислого газа делают пирожные легкими и воздушными.

Дрожжи (разновидность микроскопических растений) воздействуют на крахмал в муке. В процессе этого воздействия выделяется углекислый газ. Дрожжи широко используются в производстве хлеба, и поэтому в ломте любого хлеба можно увидеть пузырьки углекислого газа.

Когда углерод сгорает в ограниченном объеме воздуха, на каждый атом углерода не находится по два атома кислорода. Вместо этого каждому атому углерода достается только по одному атому кислорода. Таким образом, образуются молекулы *оксида углерода*. Он схож с углекислым газом, но есть и два важных отличия.

Во-первых, окись углерода может захватить второй атом кислорода, другими словами, при соединении с кислородом он горит.

Со своей стороны молекулы углекислого газа содержат столько кислорода, сколько могут удерживать. Поэтому углекислый газ не горит и даже, как я уже говорил, может быть использован для тушения огня.

Во-вторых, окись углерода ядовита, гораздо более ядовита, чем углекислый газ. Одна восьмая процента окиси углерода в воздухе убьет человека за полчаса. Если даже это будет тысячная доля процента, этого достаточно, чтобы вызвать головную боль. Окись углерода ядовита, потому что связывает гемоглобин — красные кровяные тельца. Именно гемоглобин берет в легких кислород и разносит его по всем тканям организма. Если окись углерода попадает в легкие, гемоглобин вместо кислорода захватывает ее. Гемоглобин не может больше нести кислород, и организм задыхается. На растения и бактерии, а также животных с кровью другого цвета окись углерода не действует.

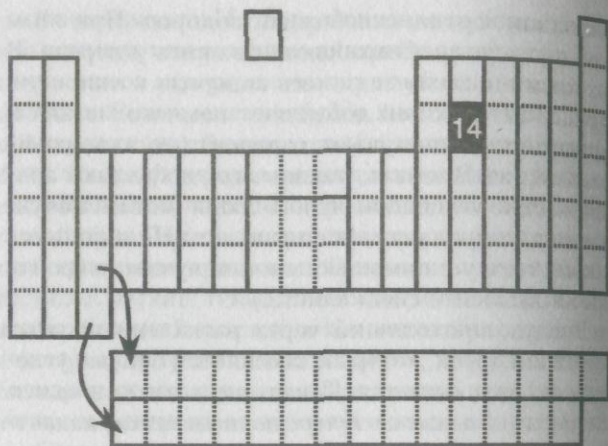
Окись углерода очень опасна, потому что часто встречается в нашей индустриальной цивилизации. Например, кислород, содержащийся в бензине, используется двигателем автомобиля не полностью, поэтому в выхлопе содержится некоторое количество окиси углерода. На открытом воздухе это не опасно, поскольку молекулы окиси углерода, встречаясь с молекулами воздуха, соединяются с кислородом и образуют безвредный углекислый газ. Но если двигатель работает в закрытом гараже или из-за повреждения выхлопной трубы газы проникают в салон автомобиля, а окна закрыты, окись углерода концентрируется быстрее, чем кислород воздуха успевает позаботиться о ней. В этой ситуации результат может быть печальным.

Другим источником опасности является кухня.

Будучи горючим, окись углерода часто входит в состав бытового газа. Каменноугольный газ, например, содержит окись углерода и поэтому ядовит. Потом существует *водяной газ*. Он образуется при пропускании пара через раскаленный кокс. Атомы углерода, содержащиеся в коксе, отбирают из пара

атомы кислорода, освобождая водород. При этом атомы углерода превращаются в окись углерода. В результате получается смесь водорода и окиси углерода. Затем к ней добавляют немного метана и таким образом получают хороший (но ядовитый) бытовой газ. В этот газ также часто добавляют ароматические вещества, чтобы люди могли почувствовать утечку как можно раньше. (Не пытайтесь искать утечку с помощью спички, лучше откройте окно и вызовите специалиста.)

Воздух, проходящий через раскаленный кокс, теряет кислород, который заменяется окисью углерода, но азот остается. Такая смесь азота и окиси углерода (называемая *генераторным газом*) является не очень хорошим топливом, но из-за своей дешевизны может с успехом использоваться прямо на месте.



Глава 6

КРЕМНИЙ: ЭЛЕМЕНТ СУШИ

Вторым по распространенности является элемент, из которого состоят все камни земной коры, — *кремний*, элемент номер 14. Из каждой сотни атомов в составе земной коры шестьдесят являются кислородом (самый распространенный элемент), а двадцать кремнием.

В чистом виде кремний в природе не встречается. Поэтому, несмотря на его распространенность, мало кто, даже среди химиков, видел чистый кремний.

Его можно получить в нескольких аллотропических модификациях, и впервые это сделал в 1823 году шведский химик Йенс Якоб Берцелиус. Однако областей применения кремния немного.

Возможно, в будущем такое положение изменится. Сравнительно недавно были разработаны *солнечные батареи*, производящие электрический ток под

воздействием солнечного света. Неотъемлемой частью таких батарей являются пластинки кремния.

Кремний входит в состав множества соединений. Большинство из них общеизвестны и нам знакомы, многие весьма полезны, а некоторые очень красивы.

В периодической таблице кремний находится прямо под углеродом и по многим характеристикам напоминает его. Например, атомы в кристалле кремния расположены так же, как и в кристалле углерода. Поэтому кремний, как и углерод, является твердым веществом. Но так как атомы кремния крупнее атомов углерода, они находятся не в такой тесной связи друг с другом и могут быть разделены достаточно легко. Из-за этого кремний не такой твердый, как углерод. Температура плавления у него также ниже. Он плавится при 1420°C (углерод при 3500°C).

Благодаря сходству элементов атомы кремния могут иногда заменять атомы углерода. Если кокс (чистый углерод) и песок (содержащий атомы кремния) перемешать и пропустить электрический ток, при определенных условиях атомы кремния заменят половину атомов углерода в коксе. В результате получится вещество, состоящее наполовину из атомов углерода и наполовину из атомов кремния.

Это вещество называется *карбид кремния* или *карборунд*.

Карборунд тверже кремния, но не тверже алмаза (целиком состоящего из углерода). То есть он находится на втором месте по твердости после алмаза, но гораздо дешевле его. Карборунд широко применяется в промышленности для измельчения и полировки материалов не настолько твердых, чтобы применять алмаз. Карборунд плавится при 2700°C (срединное значение между углеродом и кремнием), поэтому его часто используют для футеровки

разного рода печей. К тому же, в отличие от углерода, даже при высоких температурах он не горит.

Кремний может заменить углерод и при более волнующих обстоятельствах. Иногда живые организмы в процессе гниения и распада не превращаются в уголь. Вместо этого, при подходящих условиях, атомы углерода постепенно заменяются атомами кремния из почвы. В результате через много лет формируется нечто вроде каменной копии живого организма. Такая копия сохраняет форму и большую часть анатомических подробностей оригинала. И что более важно, она не подвержена дальнейшему разложению и может сохраняться сотни миллионов лет. Такие каменные останки называются *окаменелостями*. Путем изучения окаменелостей ученые узнали о примитивной жизни на Земле и о том, как она развивалась и изменялась со временем.

Процесс формирования окаменелостей называется *петрификация*. В Раскрашенной пустыне в Аризоне остатки множества деревьев с очень древних времен сохранились именно в таком виде. Все это называют окаменевшим лесом.

Атомы кремния способны составлять довольно длинные цепочки так же, как и атомы углерода. Но так как атомы кремния держатся друг за друга гораздо слабее, чем атомы углерода, такие цепочки слабее и легко рвутся. Однако попеременно расставленные атомы кремния и кислорода могут составлять цепочки не только такие же длинные, что и углерод, но и более прочные. К таким цепочкам могут прикрепляться группы из атомов углерода и водорода. Вещества, получающиеся в результате, называются *силиконами*.

Широко применяться силиконы начали в середине XX века. Существует их великое множество,

и подразделяются они в зависимости от длины цепочки и типа углеродсодержащей группы. Одни силиконы используются как лаки и смазочные материалы. В отличие от обычных масел и смазок они почти не реагируют на температуру, высокую или низкую. Еще силиконы используются для создания водонепроницаемых пленок, гидравлических жидкостей, синтетической резины и т. д.

Вы, должно быть, встречались с разновидностью силикона, называемой дурацкая замазка или прыгающая замазка. Кремниевое-кислородная цепочка в этом веществе настолько длинна, что оно представляет собой очень вязкую жидкость. Она настолько вязкая, что похожа на мягкое твердое вещество, что-то вроде замазки или глины. Она сопротивляется любой попытке резко изменить ее форму, но поддается, если делать это медленно. Если бросить ее на пол или об стену, она легко расплывется, но потом быстро восстановит свою форму и отскочит, как резиновый мяч. Но если сжимать ее медленно, ей можно придать любую форму. Кусок ее, брошенный в сосуд, постепенно опустится на дно и примет его форму, как обычная жидкость.

Силиконы обладают водоотталкивающими свойствами. Бумажные салфетки, обработанные силиконом, используются для протирания стекол очков. При этом на стекле остается тонкий прозрачный слой силикона, который защищает стекла от запотевания при входе с улицы в теплое помещение. Эти качества силикона также применяются и в некоторых видах автомобильных полиролей.

Все атомы кремния вокруг нас находятся в соединении с атомами кислорода. Молекулы этого соединения состоят из одного атома кремния и двух атомов кислорода. Оно называется *диоксид кремния* или *кремнезем*.

Обратите внимание, что кремний в этом случае ведет себя как углерод. (В предыдущей главе я говорил об углекислоте, молекулы которой состоят из одного атома углерода и двух кислорода.) А дальше начинаются серьезные различия между кремнием и углеродом. Углекислота — газ. Диоксид кремния — твердое вещество, такое же тугоплавкое, как и сам кремний.

Камни и земля под нами на 12% состоят из диоксида кремния. Он также соединяется с другими веществами, образуя *силикаты*. Диоксид кремния в составе силикатов присутствует еще в 48% земли и камней. В итоге не менее 60% земной коры состоит в той или иной форме из диоксида кремния. Большинство простых элементов входят в состав живых организмов и необходимы для жизни. О кислороде, водороде, азоте и углероде я уже рассказывал. Кремний является исключением. Несмотря на свою распространенность, кремний совсем не присутствует в живых тканях.

Причиной этого, наверно, можно считать то, что диоксид кремния и силикаты не растворяются в воде. В океанах практически нет кремниевых соединений, поэтому жизнь зародилась именно там, а не на суше.

Самый чистый диоксид кремния, обнаруженный в природе, называется *кварц* или *горный хрусталь*. Кварц представляет собой чистое, бесцветное, прозрачное стекловидное вещество. Он даже более прозрачен, чем стекло, и пропускает больше света. Кварц — самое прозрачное твердое вещество. (Обычное стекло является силикатом, поэтому оба вещества имеют сходства.)

У кварца по сравнению со стеклом есть ряд преимуществ. Одно из них заключается в том, что кварц не реагирует на изменение температуры. Большин-

ство твердых веществ при нагревании слегка расширяются, а при охлаждении сжимаются. Если налить горячую воду в обыкновенный стеклянный сосуд, стекло внутренней стороны сосуда под действием горячей воды будет расширяться. Стекло на внешней стороне сосуда будет оставаться холодным до тех пор, пока тепло не дойдет до него сквозь толщу стекла. Пока весь сосуд не прогреется, в структуре стекла будут возникать напряжения. Часть стекла будет расширяться, а часть нет. При этом сосуд, скорее всего, треснет или разобьется вдребезги. То же самое может случиться, если налить холодную жидкость в разогретый сосуд.

Чтобы избежать этого, производители стекла стараются делать сосуды с как можно более тонкими стенками. Тогда стекло быстро прогревается на всю толщину. Или же используются специальные сорта стекла, которые не так сильно реагируют на изменения температуры.

Кварц в этом отношении очень удобен. Под воздействием изменений температуры он расширяется или сжимается в шестнадцать раз меньше, чем стекло.

Сосуд, сделанный из кварца, можно раскалить докрасна, а затем опустить в холодную воду, и с ним ничего не случится. Если так обойтись со стеклянным сосудом, он разлетится на миллион осколков.

Другим преимуществом кварца по сравнению со стеклом является то, что он пропускает ультрафиолетовые лучи. Стекло ультрафиолет не пропускает. Поэтому в лампах, которые используют дома для загара, должна стоять кварцевая, а не стеклянная лампочка.

И тем не менее, за исключением особых случаев, никто не собирается заменять все стекло кварцем. Дело в том, что стекло дешево. Изделия из кварца

во много раз дороже аналогичных стеклянных изделий. И не потому, что кварц дорог сам по себе. Просто его очень трудно обрабатывать. Обычное стекло размягчается при температуре между 600 и 900 °С (в зависимости от сорта), и ему может быть придана любая форма. Кварц же не становится мягким, пока температура не достигнет 1500 °С, да и дальнейшая его обработка требует высокого умения.

Диоксид кремния обычно встречается в природе в неочищенном виде, то есть он всегда перемешан с разными другими веществами. Поскольку количество и состав этих веществ весьма различны, неочищенный диоксид кремния может выглядеть по-разному.

Самая распространенная разновидность неочищенного диоксида кремния называется *кремень* и похожа на обычный камень. Присутствующих примесей достаточно для того, чтобы сделать его непрозрачным. Кремень известен своей твердостью и тем, что при сколе образует острые грани. Первобытные люди каменного века изготавливали из кремня оружие и инструменты. В более поздние времена люди ударяли железным предметом о кремнь, чтобы высечь искру.

При ударе о твердый кремнь частицы железа под действием трения раскалялись (такой способ добытия искры до сих пор используется в зажигалках). Слова «кремнезем» (*silica*) или «кремний» (*silicon*) происходят от латинского слова «кремень».

Более привлекательными разновидностями диоксида кремния являются полупрозрачный или молочно-белый *халцедон* и *агат* с его полосатой структурой. Агат, состоящий из перемежающихся полосок белого и черного цветов, называется *оникс*. Когда полоски белые и красные (или коричневые), такой камень называется *сардоникс*. Агатам или их

стеклянной имитации иногда придают форму шара и используют для детской игры в шарики. Другими разновидностями нечистого диоксида кремния являются пурпурные или фиолетовые *аметисты* и красно-оранжевые *сердолики*.

Все эти вещества являются примерами *драгоценных камней*. Драгоценным считается любой прозрачный кристалл, обладающий твердостью, долговечностью и приятный на вид. Драгоценные камни могут помещаться в металлические оправы, как, например, перстни или ожерелья, им может придаваться любая форма, как, например, в камнях. По степени своей редкости и цене такие камни делятся на драгоценные и полудрагоценные. Например, алмаз является драгоценным, а агат полудрагоценным камнем.

Кварц и иные формы диоксида кремния часто под действием дождя, ветра и перемены температуры превращаются в мелкие зернышки. Такие мелкие зерна диоксида кремния называются *песком*. Самые чистые формы песка обладают белым цветом. Те, что обычно встречаются на берегах, полны примесей и поэтому могут быть разных оттенков: от желтого до коричневого.

Диоксид кремния можно выделить из силикатов в виде очень пористых фрагментов. Каждый фрагмент будет пронизан множеством воздушных отверстий. Такая форма диоксида кремния называется *силикагель*.

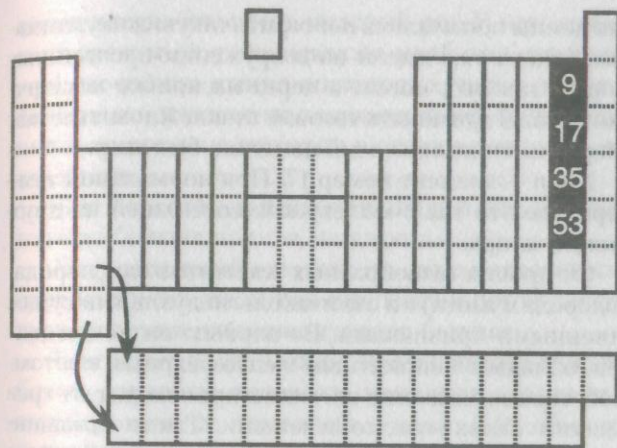
Силикагель полезен тем, что он, благодаря своей пористой структуре, хорошо вбирает воду и влажность. Он хороший *влагопоглотитель*. Воздух, пропущенный через емкость с ним, становится сухим. Случается, что электрическое оборудование не может правильно функционировать в слишком влажном воздухе, поэтому в необходимых местах размещаются емкости с силикагелем. Это особенно

важно при работе во влажном тропическом климате. Во время Второй мировой войны некоторые виды радио и радиолокационных приборов с трудом могли функционировать во влажном климате юга Тихого океана без применения силикагеля и ему подобных материалов. Как только силикагель наполняется водой, его сушат и он готов к повторному употреблению.

Натуральное вещество, в чем-то схожее с силикагелем, формируется из тонких скелетов животных, состоящих из диоксида кремния. Микроскопические существа, называемые диатомовые (кремневые) водоросли, окружают себя защитным слоем диоксида кремния. Когда они умирают, они, конечно, разлагаются, но скелеты остаются. Миллиарды их скапливаются и образуют так называемую *инфузорную землю*. С ее помощью, так же как и с помощью угля, можно удалять примеси из жидкостей. Ее также можно использовать как абразив. Кроме того, ею можно абсорбировать нитроглицерин. Получившееся в результате вещество называется *динамит*, и оно гораздо безопаснее в обращении, чем нитроглицерин сам по себе.

Иногда инфузорная земля встречается в виде *опала*, который считается драгоценным камнем. Самые красивые разновидности опалов при попадании на них света начинают светиться разными цветами.

Это их свойство называется *иридесценция* или, по названию камня, *опалесценция*. Опалы, которые проявляют иридесценцию на фоне желтого или оранжевого цветов, называют *огненными опалами*. Те опалы, которые проявляют иридесценцию на черном фоне, являются самыми редкими и дорогими.



Глава 7

ХЛОР: ЗЕЛЕНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

22 апреля 1915 года во время Первой мировой войны немцы выкатили на свой передний край несколько металлических цилиндров и открыли на них краны. Из них появился зеленоватый газ, который понесло ветром на французские позиции. Два дня спустя они попробовали это снова против сектора, удерживаемого канадскими войсками. В обоих случаях войска союзников ощутили себя окруженными раздражающими, удушливыми и дурно пахнущими испарениями, выдержать которые было невозможно, и им пришлось отступить.

Странно, почему немцы не использовали открывшуюся перед ними брешь. Возможно, они сами были удивлены успехом нового метода атаки. Или же они подозревали ловушку. Во всяком случае, этой возможностью они не воспользовались. К тому времени

как немцы попытались повторить такую атаку, союзные войска уже имели на вооружении простейшие формы газовых масок, а через несколько месяцев сами стали применять газовые атаки. Ядовитый газ, впервые использованный немцами, был *хлор*.

Хлор — элемент номер 17. При нормальной температуре это газ с молекулой, состоящей из двух атомов хлора.

От прочих газообразных элементов (кислорода, водорода и азота) он отличается следующими существенными признаками. Во-первых, он не бесцветен, обладает неприятным желто-зеленым цветом. Собственно название элемента происходит от греческого слова «желто-зеленый». Такое название дал газу в 1810 году английский химик Гемфри Дэви, впервые выделив его как элемент. Собственно хлор был известен ученым еще за 36 лет до Дэви, но тогда все считали его оксидом и пытались разложить на кислород и так называемый «муриум». Конечно же без успеха.

Хлор легче сжижается, чем другие газообразные вещества. Он превращается в янтарно-желтую жидкость уже при -34°C и может храниться в жидком виде в баллонах, разумеется под давлением.

Хлор примерно в два с половиной раза тяжелее воздуха. Эта особенность и позволила использовать его как боевой газ.

Пары мышьяка также достаточно неприятны для человека, но они легче воздуха и могут быть легко рассеяны ветром. Хлор, будучи более тяжелым, распространяется по поверхности земли и выветривается гораздо медленнее.

В качестве отравляющего газа хлор был вскоре заменен более тяжелыми и более ядовитыми газами. Одним из таких стал *фосген*. В молекуле фосгена содержатся атом углерода, атом кислорода и два

атома хлора. Это очень опасный газ. У него приятный аромат (я сам однажды пробовал понюхать его), но одного вдоха достаточно, чтобы умереть. Многие из других отравляющих газов, разработанных в то время, содержали в своих молекулах атомы хлора.

Тем не менее, как мы увидим дальше, от хлора гораздо больше пользы, чем вреда.

Хлор активный элемент, он даже активнее кислорода (ну, все же не так, как озон) и потому реагирует на другие вещества гораздо быстрее.

В отдельных случаях он поддерживает горение. Струя горящего водорода, например, продолжит горение, если ее поместить в хлор. При обычной температуре смеси хлора и водорода никак себя не проявляют, но только если они находятся в темноте. На свету такие смеси могут взорваться. То есть лучи света побуждают молекулы хлора и водорода к соединению. Многие химические реакции проходят на свету или под воздействием ультрафиолетовых лучей. Такие реакции называются *фотохимическими*.

Тем не менее углерод в хлоре не горит.

Горящая свеча, помещенная в сосуд с хлором, начнет коптить густым черным дымом. Молекулы воска содержат атомы углерода и водорода, а с хлором соединяется только водород. Атомы углерода в реакции не участвуют и высвобождаются в виде сажи.

Ядовитые качества хлора проявляются благодаря его активности. Хлор атакует слизистые оболочки глаз, носа, горла, легких и разрушает их. Но кроме этого, хлор убивает бактерии. Во многих городах воду очищают путем добавления в нее небольшого количества хлора. Практика *хлорирования* воды позволила снизить опасность заражения такими бо-

лезнями, как тиф, который передавался через грязную воду. Во многих плавательных бассейнах дезинфекция воды также производится хлором. И то же происходит со сточными водами.

Хлор довольно хорошо растворяется в воде. В литре холодной воды может раствориться до четырех литров хлора, в результате чего получается *хлорная вода*. Молекулы хлора в известной степени соединяются с молекулами воды (и другими присутствующими молекулами) до получения *гипохлорита*. Гипохлориты являются активными веществами, которые обесцвечивают другие вещества так же, как озон или перекись водорода. (Если вам интересно, чем пахнет хлор, понюхайте бутылку домашнего отбеливателя. Гипохлориты в его составе постоянно распадаются, и образывается небольшое количество хлора. То, что вы понюхаете, и будет хлором.)

Хлор и гипохлориты являются самыми распространенными отбеливателями в хозяйстве и в промышленности. Они дешевы и просты в обращении. В огромных количествах их используют для отбеливания бумаги, а также таких натуральных волокон, как хлопок и лен.

При сгорании водорода в хлоре образуются молекулы, состоящие из одного атома водорода и одного атома хлора. Новое вещество называется *хлористый водород*. Это газ, пахнущий еще более неприятно, чем хлор, и хорошо растворяющийся в воде.

В растворе хлористый водород обладает резким кислым вкусом, поэтому раствор хлористого водорода называют *соляной кислотой*. Соляная кислота — одна из трех самых сильных кислот, которые благодаря своей силе и дешевизне широко применяются в промышленности. (Второй кислотой является азотная, о которой я уже рассказывал, о третьей и самой важной я расскажу в следующей главе.)

Соляная кислота является лучшим примером кислоты, не содержащей атомов кислорода, несмотря на предположения Лавуазье. Но в ней, как и во всех кислотах, содержится водород.

Хлористый водород является примером из целой группы соединений, сформированных из атомов хлора и атомов другого вида. Такие соединения называются *хлоридами*. Наиболее распространенным и наиболее важным из хлоридов является обычная *столовая соль*.

Хлор в виде хлоридов имеет большое значение для живых организмов. Кровь, пот и слезы имеют соленый вкус. Это из-за того, что все они содержат хлориды. Нашему организму необходимы хлориды, и мы получаем их вместе с пищей. Животные (особенно травоядные и не получающие соль из крови и тканей других животных) вынуждены проходить огромные полные опасностей расстояния в поисках естественных источников соли, солончаков.

В форме такой соли хлор чаще всего встречается на Земле. Океаны же почти на 3% состоят из соли. Соли в океанах хватит, чтобы покрыть территорию Соединенных Штатов слоем толщиной более чем в 2 километра.

Время от времени внутренние водоемы начинают испаряться быстрее, чем в них поступает свежая вода. В результате на дне водоема оседает соль. Самыми яркими примерами являются Большое Соленое озеро в штате Юта и Мертвое море на границе Израиля и Иордании. Когда вода испаряется полностью, остается слой соли толщиной в тысячи и более метров.

Расплавленная соль, так же как и вода, может быть подвержена электролизу, при этом начинает выделяться чистый хлор.

Элементы, родственные хлору (из той же колонки в периодической таблице), сформировали вещества, похожие на соль. Эти вещества стали называть *галогенами*, от греческого «дающие начало соли».

Несмотря на то что углерод и хлор не вступают в реакцию непосредственно, существуют обходные пути для их соединения. Из-за того что углерод способен создавать крупные молекулы, известны тысячи хлорсодержащих органических молекул. Две самые простые молекулы такого типа известны всем.

Во-первых, это — *хлороформ*, молекула которого содержит один атом углерода, один водорода и три хлора. Хлороформ представляет собой жидкость, закипающую при температуре ниже, чем вода. При комнатной температуре он испаряется быстрее воды. Такие легко испаряющиеся жидкости называются *летучими*. Хлороформ является *обезболивающим средством*.

При правильном применении он погружает людей в сон и не позволяет им чувствовать боль. В качестве обезболивающего он был впервые применен в 1847 году, и одним из первых пациентов, испытывших его действие, была королева Великобритании Виктория. Однако хлороформ оказывает негативное воздействие на сердце, легкие и почки и потому уже давно заменен на более безопасные обезболивающие средства.

Весьма похожим веществом является *четырёххлористый углерод*. В его молекуле совсем нет атомов водорода, только один атом углерода и четыре атома хлора. Как и хлороформ, четырёххлористый углерод является летучей жидкостью. И поскольку совершенно негорюч, используется в отдельных моделях огнетушителей. При распылении над огнем он быстро превращается в пар. Этот пар тяже-

лее воздуха более чем в пять раз. Он опускается на источник огня и, поскольку сам по себе не горит и не поддерживает горения, быстро тушит огонь.

Четырёххлористый углерод легко растворяет жиры, масла и смазки. Поэтому его используют для сухой чистки, хотя он ядовит, что требует постоянной вентиляции при работе с ним дома, его огромным преимуществом является негорючесть, что исключает опасность возникновения пожара.

Фтор — элемент с самым маленьким атомом. Его номер 9. Как и хлор, фтор представляет собой бледный желто-зеленый газ, но требующий больших усилий для превращения его в жидкость. Он гораздо более ядовит, чем хлор, и гораздо активнее его. Это самый активный из известных элементов.

Его молекулы (состоящие из всего двух атомов фтора) вступают в реакцию с чем угодно. Они реагируют даже с водой, забирая атомы водорода и оставляя атомы кислорода. Реакция происходит настолько бурно, что часть оставшегося кислорода превращается в озон. Фтор активнее даже озона.

По этой причине жидкий фтор хотели даже применить в ракетных двигателях вместо жидкого кислорода, но из-за его активности работа с ним вызвала большие сложности.

Когда фтор и водород вступают в реакцию, их молекулы расщепляются. Для формирования одиноких атомов необходимо столько энергии, что она будет отбираться у энергии толчка ракетного двигателя, возникающей от сгорания водорода во фторе. Если каким-либо образом нам удастся сначала расщепить молекулы и подавать в топливные баки ракеты *атомарный водород* и *атомарный фтор*, то у нас будет самое мощное химическое топливо из возможных. К сожалению, мы пока не имеем ни малейшего представления о том, как рас-

щепить эти молекулы и удержать их в этом состоянии.

Например, если водород пропустить через электрическую искру, его молекулы расщепятся на атомы водорода. Однако они тут же восстановятся снова с выделением огромного количества тепла. Такая *водородная паяльная лампа* способна дать температуру в 3500 °С.

Фтор настолько плотно соединяется с другими атомами, что химикам приходится прилагать много усилий, чтобы выделить его из таких соединений. Долгое время, как только кому-нибудь удавалось вырвать фтор из какого-либо соединения, он тут же вступал в реакцию и занимал место в составе другого соединения. И только в 1886 году французский химик Анри Муассан сумел выделить чистый фтор.

Он подверг электролизу фторсодержащее соединение, используя оборудование, изготовленное из платины. (Платина — одно из немногих веществ, не вступающих в реакцию с фтором.) Получившийся в результате опыта газ он собрал с сосуд, вырезанный из флуорита (он же флюорит или плавиковый шпат). Флуорит — минерал, молекулы которого уже содержат фтор, и потому газ не вступает с ним в реакцию. Подобным же образом можно использовать медь или другие металлы. Фтор вступает в реакцию с медью, но в процессе этого на стенках сосуда образуется плотный слой *фторида меди* и реакция прекращается.

Флуорит хоть и твердое вещество, но довольно легко плавится при нагреве. И поскольку жидкий флуорит легко соединяется с примесями и удаляет их из металлов, его широко используют для очистки металлов. Это вещество называется *флюс*. Свое название оно получило от латинского слова «поток», потому, что жидкий флуорит протекает по

поверхности металла, унося с собой примеси. А так как флуорит является самым распространенным на Земле фторсодержащим минералом, химики дали элементу похожее название (по-английски — флуорин. — *Примеч. пер.*).

Фтор не является элементом, необходимым для жизни, но все же присутствует в небольших количествах в организме и даже приносит пользу. Несколько лет назад было замечено, что люди, проживающие в округе Деф-Смит в штате Техас, практически не нуждаются в пломбировании зубов. Это очень заинтересовало стоматологов. Они исследовали рацион питания этих людей и обнаружили, что питьевая вода в этом округе была необычна тем, что содержала небольшое количество *фторидов*, проникших из почвы. (Фториды — это соединения фтора и еще какого-либо элемента.)

В зубах также содержится небольшое количество фторидов.

И ученых заинтересовало, не фториды ли предохраняют зубы от разрушения. И не принесет ли пользу добавление фторидов к рациону питания.

Поскольку фториды сами по себе ядовиты, химики и стоматологи продвигались в своих исследованиях крайне медленно и осторожно. В результате в последние несколько лет во многих городах стали добавлять ничтожные количества фторидов в питьевую воду.

В соединении с водородом фтор образует газ *фтористый водород*. Интересно в этом газе то, что он является одним из немногих веществ, способных разрушать кремнесодержащие соединения. При этом образуется *тетрафторид кремния* — газ, который быстро улетучивается с поверхности кремнесодержащего вещества. Поверхность после этого остается как бы изъеденной или *протравленной*.

Поскольку стекло содержит кремний, фтористый водород разрушает и его, в короткое время оставляя после себя шероховатую, мутную поверхность. И этим решили воспользоваться. Для начала стекло покрывают тонким слоем воска. Затем на воске процарапывают линии, цифры или буквы, обнажая поверхность стекла в этих местах. Если такое стекло обработать фтористым водородом, стекло под воском останется нетронутым, а открытые участки станут шершавыми и непрозрачными. Если затем удалить воск, на прозрачном листе стекла останутся матовые линии, цифры или буквы, которые ранее были процарапаны в воске. Если у вас дома есть какая-нибудь стеклянная утварь с такими матовыми участками, знайте, что это было сделано именно так.

Атом фтора имеет небольшой размер, а потому он может занимать место небольших атомов водорода в углеводородных соединениях.

При этом атомы фтора присоединяются к атомам кремния даже крепче, чем атомы водорода. В результате получается крайне инертное вещество *фтороуглерод*. Он не горит, не взаимодействует с водой, воздухом и активными химикатами (даже с фтором). Одной из разновидностей этого вещества является *тефлон*, производимый фирмой «Дюпон», который представляет собой большие молекулы, состоящие только из атомов углерода и фтора, и применяется как электроизолирующий материал.

Наиболее интересным из фторсодержащих соединений является *фреон*. Его молекула содержит один атом углерода и по два атома хлора и фтора. Этот газ превращается в жидкость при $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$. При примерно такой же температуре сжижается и аммиак, поэтому фреон может применяться в качестве хладагента вместо него. У фреона по сравнению с аммиаком есть ряд преимуществ. Поскольку

он не имеет запаха и не ядовит, результаты утечки его из холодильника не будут иметь таких опасных или даже неприятных последствий. Именно поэтому фреон и используется в бытовых холодильниках и морозильниках. Но из-за существенно большей цены в промышленных холодильных системах продолжают использовать аммиак.

Галоген, стоящий в периодической таблице под хлором и имеющий номер 35, называется *бромом*. Эта темно-красная жидкость является одним из немногих элементов, которые при обычной температуре находятся в жидком состоянии. Он достаточно летуч и кипит при $59\text{ }^{\circ}\text{C}$, превращаясь в довольно красивый красный пар. Даже при комнатной температуре воздух в полупустой бутылке с бромом будет из-за испарений жидкости красноватым. Этот красивый пар обладает настолько сильным и всепроникающим запахом, что название элементу дали от греческого слова «зловоние».

(По правде говоря, мне всегда казалось, что бром пахнет не так уж плохо, как десятки других химических веществ.)

Бром не настолько активен, как хлор или фтор, но все же способен причинить вред при вдыхании или попадании на кожу. Обращаться с ним надо осторожно. Некоторые химики растворяют его в воде (бром не так хорошо растворяется, как хлор, но все же...) и получают ярко-красную *бромную воду*, которая гораздо безопаснее.

Брома на Земле заметно меньше, чем хлора или фтора. Фтора в мире в сто, а хлора в двести раз больше, чем брома. Бром находится в морской воде в виде *бромидов* (соединений брома с каким-либо другим элементом). Впервые бром был открыт в 1826 году французским химиком Антуаном Жеромом Баларом, который исследовал твердые состав-

ляющие морской воды после удаления обычной соли. Бромидов в море в пятьсот раз меньше, чем хлоридов.

Поскольку океаны содержат все элементы, то теоретически любой из них можно получить из морской воды. Вопрос лишь в том, сколько потребуется времени, усилий и энергии, чтобы извлечь нужное количество, и будет ли это иметь смысл. В морской воде содержатся миллионы тонн золота, но добыча такого золота современными средствами окажется гораздо более дорогой, чем использование обычных, уже существующих золотых приисков.

Бром — один из элементов, который выгодно добывать из морской воды.

На побережье США построено два завода (один в Северной Каролине, другой в Техасе) по добыче брома. Из 600 м³ морской воды получается примерно килограмм брома. Из воды пересыхающих внутренних морей, вроде Мертвого моря, можно добыть больше. И конечно, бром можно найти на месте высохших морей. Это значит, что без брома мы не останемся. Весь бром, который мы добываем и употребляем, в конце концов, так или иначе попадает в почву и смывается дождями обратно в реки и моря. Море остается неисчерпаемым источником брома.

Бром главным образом применяется для производства органического соединения *этилдибромид*, которое добавляется в бензин с тем, чтобы увеличить срок жизни автомобильного двигателя.

В медицине бромиды применяются в качестве *седативных средств*. Однако длительное употребление их может развиваться в зависимость. Поэтому бромиды должны применяться только под наблюдением врача.

Еще более тяжелым галогеном является *йод* — элемент под номером 53. Это черно-серое твердое

вещество, которое испаряется при температуре в 185 °С, превращаясь в красивый фиолетовый туман.

Название элемента происходит от греческого слова «фиолетовый».

Йод — наименее активный из упомянутых галогенов, но он хорошо убивает бактерии. К тому же этот галоген можно безопасно наносить на раны. Для этого йод разводится в смеси воды и спирта (просто в воде он растворяется плохо). Получается красно-коричневый раствор. Раствор химиката в спирте фармацевты называют *тинктурой* или *настойкой*, то, что вы приобретаете в аптеках, называется *настойкой йода*. Обычная настойка содержит 7% йода. (В ней также присутствует и *йодид* — соединение йода с каким-либо другим элементом, помогающее йоду лучше раствориться.)

Как все мы знаем, настойка йода применяется при обработке небольших ран и ссадин для уничтожения бактерий и уменьшения опасности заражения. Это — *антисептик*. Нанесенный на кожу йод постепенно испаряется с ее поверхности. Если рана находится под повязкой, процесс испарения замедляется, и йод, долгое время находящийся на ране, может вызвать химический ожог. Поэтому раны, обработанные йодом, лучше не бинтовать, а если нет другого выхода, использовать более мягкий антисептик.

Йодоформ — также антисептик, его молекула содержит по одному атому кремния и водорода и три атома йода. (Вы заметили его сходство с хлороформом, о котором говорилось выше?) Это желтый порошок, которым присыпают раны под повязку. Когда люди говорят, что запах стоит как в кабинете у врача, они имеют в виду запах йодоформа. Исключительно из-за запаха сейчас его используют значительно реже.

В очень небольших количествах йод необходим для жизни.

В человеческом организме содержится около 0,05 г йода. Треть этого количества накапливается в небольшом органе рядом с кадыком, который называется *щитовидной железой*. Эта железа контролирует уровень переработки пищи организмом и выделения энергии. Она делает это с помощью определенных йодсодержащих соединений, которые называются *йодотиронинами*. Если йода не хватает, щитовидная железа может опухнуть и превратиться в некрасивый *зоб* на шее.

Вы можете подумать, что, раз организму требуется так мало йода, его недостаток не может грозить ничем серьезным. Но йод достаточно редкий элемент. В некоторых местах его почти нет в почве. В результате его не хватает в растениях и в животных, которые питаются этими растениями и друг другом. В таких местах зоб встречается (или встречался) довольно часто.

Сейчас, когда причина появления зоба известна, небольшие количества йода регулярно добавляются в источники питьевой воды. Кроме того, йод можно добавлять в обыкновенную столовую соль. Многие из вас покупают такую соль. Если понюхать свежоткрытую упаковку такой соли, можно уловить слабый запах йода.

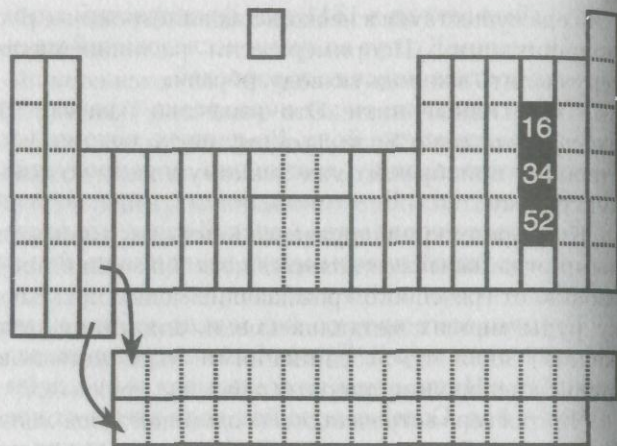
В морской воде йода даже еще меньше, чем брома, — около 30 г на 4000 м³. И конечно, извлекать йод из морской воды чрезвычайно дорого. К счастью, некоторые виды морских организмов накапливают йод для своей жизнедеятельности. Особенно много его накапливают губки и водоросли. Сушеная водоросль (*ламинария*) содержит до 6 кг йода на тонну. Это гораздо больше, чем можно получить из воды.

Йод был открыт в 1811 году французским химиком Бернаром Куртуа во время исследований химического состава морских водорослей.

Люди, живущие около моря, редко страдают от зоба или недостатка йода. Во-первых, потому, что употребляют в пищу достаточно морепродуктов, содержащих йод. Во-вторых, ветер с моря заносит на сушу такое количество морской воды, что растения прибрежной полосы могут накапливать йод из почвы.

Помимо всего прочего, йод можно добыть на месте высохших морей. При добыче нитратов на разработках в Чили, о чем я рассказывал выше, добывается и йод. Содержащую йод воду время от времени находят неподалеку от нефтяных скважин.

Любопытным, правда, небезопасным веществом является *трийодид азота*. Это состоящее из атома азота и трех атомов йода черно-коричневое вещество является, вероятно, самым взрывоопасным. Даже самое легкое прикосновение волосом к кристаллу трийодида азота приводит к громкому взрыву. *Трихлорид азота* с тремя атомами хлора вместо йода не так чувствителен, но все же и он был причиной многих неприятностей. Несмотря на такие качества, небольшие количества трихлорида азота одно время применялись для отбеливания муки.



Глава 8

СЕРА: ЖЕЛТЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Элемент номер 16 известен всем. Человечество знает его с доисторических времен, но как элемент он был признан только в 1777 году. Сделал это человек по имени Лавуазье, о котором мы уже говорили в связи с кислородом, водородом и азотом. Происхождение названия элемента неизвестно. Древние греки называли его «тион», и поэтому многие серосодержащие соединения имеют приставку «тио» в своих химических названиях.

В периодической таблице сера находится прямо под кислородом, потому что атомы серы во многих случаях ведут себя как атомы кислорода. Однако внешне эти элементы не имеют ничего общего. Кислород — бесцветный газ, а сера — ярко-желтое твердое вещество.

Сера существует в нескольких аллотропических модификациях. Например, если расплавленную серу вылить в холодную воду, образуются коричневые эластичные нити. Это вещество называется *пластичная сера*. Если дать ему постоять, оно постепенно приобретает уже знакомую желтую ломкую форму.

Кислород, серу и другие элементы из этой группы иногда называют *халькогенами*. Название произошло от греческого «рождающие медь», поскольку руды многих металлов (меди, алюминия или железа) являются соединениями этих металлов либо с кислородом, либо с серой.

Чистая сера встречается в подземных залежах на Сицилии, в Луизиане и в Техасе. Извлечь ее оттуда удобнее всего в жидком виде. В нашей стране для этого бурят скважину до слоя серы. Затем в скважину подается кипящая вода. Обычно вода кипит при 100 °С, и этого недостаточно для серы. Сера плавится при 113 °С. Но поскольку вода подается в скважину под давлением, она разогревается до температуры плавления серы. Жидкая сера выкачивается через другую трубу. Все это называется в честь изобретателя *процессом Фраша*.

Серу чаще всего можно увидеть в одной из двух форм.

Если жидкую серу вскипятить и позволить испарениям коснуться холодной поверхности, образуется мелкий желтый порошок, известный как *цветок серы*. Если же жидкой сере просто дать остыть, образуются твердые комки, известные как *самородная сера*. С подземным царством сера ассоциируется и по еще одной причине. Только 0,03% земной коры состоит из серы, но в более глубоких слоях ее становится больше. Земной шар (за исключением коры) почти на 3% состоит из серы.

«Самородная сера», должно быть, вам известна с не очень приятной стороны. У серы сложилась нелестная репутация. И кое-что из этого правда.

Когда сера горит синим шипящим пламенем на воздухе, она соединяется с кислородом, формируя молекулы *диоксида серы*. Эти молекулы содержат по одному атому серы и по два кислорода. Диоксид серы — газ с очень резким удушливым запахом. Одно время люди делали из серы свечи и жгли их в закрытых комнатах для дезинфекции после пребывания там больных. (Сейчас у нас есть более совершенные средства дезинфекции, и мы больше не жжем серные свечи.) Из-за этого многие люди были знакомы с противным «серным духом». Но на самом деле это был диоксид серы, сама по себе сера не пахнет.

Диоксид серы может подниматься из трещин в земной коре в местах повышенной вулканической деятельности. На Сицилии, например, есть места, где вулканическое тепло под землей медленно пережигает серу в диоксид серы. Люди обращали внимание на этот запах и заметили, что он идет из-под земли. Они узнавали запах горячей серы и вспоминали зловещее пламя, которым она горит.

Некоторые думали, что подземный огонь преисподней — результат горения серы.

По этой причине «серный дух» стал ассоциироваться с дьяволом, а проповедники пугали свою паству ужасами ада, часто упоминая *пламя и серу*.

Огромное количество соединений серы, помимо диоксида серы, пахнут сильно и неприятно. Вещества, придающие луку и чесноку их запах и вкус, содержат атомы серы. (Это может быть и хорошо и плохо, в зависимости от того, сами ли мы их ели или обоняем дыхание того, кто это сделал.) Те же атомы серы определяют вкус и запах горчицы и редьки.

Группа дурно пахнущих серосодержащих соединений называется *меркаптанами*. Самым ядовитым из газов, применявшихся в Первой мировой войне, был *горчичный газ*. На самом деле это был не газ, а летучая жидкость с запахом чеснока. Пары ее были тяжелее воздуха и опускались вниз. Газ был ядовит, а жидкость при попадании на кожу вызывала долго не проходящие волдыри. Горчичный газ был серосодержащим соединением.

Тем не менее они присутствуют во многих красителях, сульфамидных препаратах, в пенициллине и по крайней мере в двух витаминах. Атомы серы необходимы для жизни.

Во всех живых тканях содержатся соединения серы.

К счастью, серосодержащие соединения нашего организма не пахнут. Однако при определенных условиях могут иметь запах. В коже, волосах и перьях птиц много серосодержащих соединений. Если их поджечь, то распространится запах, который люди называют «паленая курица». Если вам не жалко клочка волос, подожгите его в пепельнице и понюхайте.

Яйца также богаты серосодержащими соединениями. Если яйцо испорчено, эти соединения распадаются на более простые молекулы. Некоторые молекулы состоят из двух атомов водорода и одного серы. Это — *сероводород*, обладающий очень неприятным запахом. Многие люди называют это запахом тухлых яиц.

Несмотря на свой запах, сероводород весьма полезный химикат. Для удобства обращения его можно растворить в воде, где он соединится со многими другими атомами, сформировав *сульфиды*. Разные сульфиды ведут себя по-разному. Одни растворяются в простой воде, другие в слабых или сильных

кислотах. Если незнакомое вещество подвергнуть действию сероводорода, а потом проследить за поведением сульфидов, часто можно определить, из чего состоит это вещество. Это пример *химического анализа*.

Во многих институтах и колледжах преподают химию, в частности химический анализ, поэтому очень часто в лабораториях сильно пахнет сероводородом. И когда люди говорят о запахах в химической лаборатории, они в первую очередь вспоминают этот.

Сероводород ядовит, даже в большей степени, чем окись углерода, но из-за своего запаха легко обнаруживается и потому не так опасен. К тому времени, когда концентрация сероводорода в помещении достигнет опасного предела, запах станет невыносим. Люди или откроют окна, или покинут помещение. Иногда немного сероводорода добавляют в бытовой газ, что позволяет быстро обнаружить утечку и уберечься от окиси углерода, не имеющей запаха. В тех же целях меркаптаны иногда добавляют и в другие вещества.

Химия может извлечь пользу из любого, даже самого неприятного на первый взгляд вещества. Резина, например, была бы невозможна без серы.

Первым сделать одежду непромокаемой путем нанесения на нее слоя резины попытался шотландец по имени Чарлз Макинтош. (Непромокаемые плащи до сих пор кое-где называют макинтошами.) Одежда не пропускала воду, но была не слишком удобна. В холода резина твердела, а в жаркую погоду становилась липкой.

В 1839 году американец Чарлз Гудьир случайно просыпал смесь серы и резины на горячую плиту. Когда он отскреб все это от плиты, то заметил, что резина стала более эластичной и оставалась сухой и

гибкой в большом диапазоне температур. Таким образом он открыл процесс *вулканизации*.

Серу добавляют к углероду и селитре, чтобы получить *порох*. Согласен, может быть, это не самое полезное, но все же важное применение серы.

Диоксид серы — раздражающий и вызывающий кашель газ — оказался хорошим отбеливателем. Его применяют там, где не требуется едкость хлора. Диоксидом серы отбеливают шелк, шерсть, солом (для шляп) и перья. Он легко превращается в жидкость и, так же как и аммиак, может служить хладагентом.

Широкое применение он находит в производстве бумаги. Бумагу делают из раздробленной древесины. Самой нужной частью древесины для производства бумаги является *целлюлоза*. Она находится в волокнах дерева, которые склеены между собой *лигнином*. Диоксид серы в виде водного раствора или *сульфита* добавляется в раздробленную древесную массу и растворяет лигнин. Из оставшихся в результате волокон целлюлозы уже можно формировать тонкие плоские листы бумаги.

Молекула диоксида серы может присоединять к себе и третий атом кислорода. Так получается *триоксид серы*, или *серный газ*. Он легко растворяется в воде, при этом к молекуле триоксида серы присоединяется молекула воды и образуется молекула *серной кислоты*. Молекула серной кислоты состоит из семи атомов: двух водорода, одного серы и четырех кислорода.

Серная кислота является сильной, дешевой и широко применяемой. Говорят, что определить промышленный потенциал страны можно по количеству ежегодно используемой серной кислоты.

Молекулы серной кислоты легко соединяются с молекулами воды, выделяя при этом много тепла.

Это может быть довольно опасно. Если смешивание производить быстро, тепло, выделяемое при реакции, способствует вскипанию и разбрызгиванию раствора. Это может привести к тяжелым ожогам и повреждению глаз. Обращаться с серной кислотой необходимо с крайней осторожностью.

При соединении с другими молекулами серная кислота может забрать атомы водорода и кислорода. Остается только углерод в органических молекулах. Поэтому сахар при помещении в серную кислоту сразу же чернеет и пенится. Древесина темнеет медленно. Капля серной кислоты может быстро проесть дыру в листе бумаги или в вашей одежде. При попадании на кожу кислота вызывает сильные ожоги.

Серная кислота — наиболее востребованный химикат, и наша нынешняя промышленная цивилизация вряд ли сможет существовать без нее. Мы применяем ее при очищении металлов и топлива, в производстве проволоки, в химическом производстве и других областях.

Ниже серы в периодической таблице находится элемент, очень на нее похожий. Этот более тяжелый элемент под номером 52 исследовался немецким химиком Мартином Генрихом Клапротом в 1798 году. Он назвал его *теллуrom* в честь римского бога Земли, а открыт он был австрийцем Францем Йозефом Мюллером в 1782 году.

Затем, когда Берцелиус, о котором говорилось в связи с кремнием, в 1817 году открыл элемент номер 34, он обнаружил, что тот очень похож на теллур, и назвал его *селен* в честь греческой богини Луны. Земля и Луна! Похоже, химики не всегда отвращали поэзию.

Селен и теллур формируют соединения, похожие на соединения серы. Атом селена, например,

соединяется с двумя атомами водорода, чтобы сформировать *селеноводород*. Это вещество хуже сероводорода, потому что пахнет как гнилая редиска. А есть еще *теллуrowодород*, который пахнет еще хуже — как гнилой чеснок. Химики после нескольких минут работы с этими реактивами надолго превращались в изгоев общества. Но все же добавление небольшого количества теллура к определенным элементам дает такие замечательные результаты, что химики продолжают с ним работать.

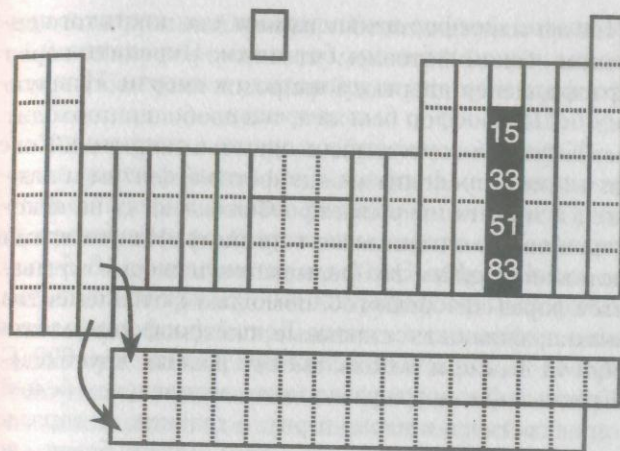
В некоторых местах на западе США в почве находится селена больше, чем обычно. Растения, растущие на этой почве, накапливают селен. Затем в процессе химических преобразований они создают соединения, где на месте атомов серы находятся атомы селена. Такие растения ядовиты, и скот, пашийся на этих лугах, должен быть уничтожен. В просторечии такие растения называют мышинный горошек.

И тем не менее селен, еще более неприятный, чем сера, имеет свои области применения. Если в расплавленное стекло добавить немного селена, оно приобретет легкий розовый оттенок, который нейтрализует его зеленоватый от природы цвет. В результате стекло получается более чистым и прозрачным. Если добавить больше селена, стекло приобретает чистый темно-красный цвет, и его затем можно использовать в стоп-сигналах автомобилей.

Селен своеобразно проводит электрический ток. В темноте он проводит его плохо, на свету хорошо. Это явление было открыто в 1873 году Уиллоуби Смитом.

Это еще одно из тех открытий, которые, как вулканизация резины, были сделаны случайно. Такие свойства селена сделали возможными автоматические двери и другие чудеса.

Фотоэлемент состоит из металла, покрытого селеном. Такой фотоэлемент можно укрепить перед вращающейся дверью, а напротив него небольшую лампу. Пока селен освещен, ток свободно проходит через фотоэлемент и дверь остается закрытой. Когда человек проходит между фотоэлементом и лампой, луч света прерывается. Фотоэлемент на некоторое время оказывается в темноте. На это время поток электричества прерывается, и дверь открывается перед человеком. С помощью фотоэлементов можно включать охранные системы, отключать оборудование и делать тысячу разных других вещей.



Глава 9

ФОСФОР: СВЕЯЩИЙСЯ ЭЛЕМЕНТ

В 1669 году немецкий химик Хенниг Бранд работал с мочой. Он выпаривал всю воду и исследовал твердый осадок. Тогда-то он и открыл элемент номер 15.

Это было белое мягкое воскообразное вещество, которое медленно горело на открытом воздухе при обычной температуре.

Поскольку само по себе вещество излучало зеленоватый свет, Бранд назвал его *фосфором* от греческого слова «несущий свет».

Фосфор применялся в первых спичках из-за простоты производства. К сожалению, такой фосфор (так называемый *белый фосфор*) очень ядовит. Люди, работавшие на спичечных фабриках, поневоле вдыхали какое-то количество его испарений.

При этом фосфор накапливался в их костях и приводил к неизлечимым болезням. Попадание 0,1 г фосфора в организм приводило к смерти. И поэтому белый фосфор был запрещен.

К счастью, существуют другие аллотропические модификации фосфора. Если белый фосфор нагревать в течение нескольких часов без доступа кислорода (то есть чтобы он не сгорел), он превращается в *красный фосфор*. Это было установлено в 1845 году. Две формы фосфора различаются не только цветом, но и другими качествами. Белый фосфор плавится при 44 °С, а красный только при достижении 600 °С. Красный фосфор гораздо менее активен, чем белый, он не светится и плохо горит. А главное, он гораздо менее ядовит, и поэтому с ним можно безопасно иметь дело.

Эффективность современных спичек до сих пор в той или иной степени зависит от фосфора. Обычные спички, которые зажигаются при трении о шершавую поверхность, содержат в своих головках *трисульфид фосфора*. Его молекула содержит четыре атома фосфора и три серы.

Трисульфид фосфора не особенно ядовит и легко загорается. Тепла, выделяющегося при трении спички о шершавую поверхность, достаточно для его воспламенения и дальнейшего горения деревянной части спички. Чтобы спички были более надежными, к трисульфиду фосфора добавляются специальные соединения, которые при нагревании выделяют кислород.

В присутствии кислорода трисульфид фосфора бурно загорается, как вы можете это видеть, когда чиркаете спичкой.

Безопасные спички не содержат в своих головках фосфора, и от обыкновенного трения они не загораются. Специальная полоска на спичечном коробке со-

держала красный фосфор. Если потереть безопасную спичку об эту полоску, красный фосфор начнет искрить, и тепла этих искр будет достаточно для воспламенения спички.

При горении фосфора образуется *двупятиокись фосфора*. Это твердое белое вещество, чья молекула состоит из двух атомов фосфора и пяти кислорода. Двупятиокись фосфора так же, как и силикагель, является влагопоглотителем. Она забирает водяные пары из воздуха и делает его сухим. Это один из самых эффективных влагопоглотителей, эффективнее даже, чем силикагель. Однако если за ней не присматривать, то двупятиокись фосфора вбирает в себя слишком много влаги, становится тягучей и быстро теряет свойства.

При соединении двупятиокси фосфора с водой образуется *фосфорная кислота*. Эта среднесильная кислота производится в объемах, уступающих только производству серной. Фосфорная кислота соединяется со многими другими атомами, образуя *фосфаты*.

Тот факт, что фосфор впервые был обнаружен в моче, может навести вас на мысль о том, что он присутствует в живых существах. Так оно и есть. Фосфор — один из элементов, необходимых для жизни. В организме он всегда присутствует в виде фосфатов.

Кости человека и других животных от слона до рыбы по большей части состоят из фосфатов. Эти костные фосфаты очень похожи по структуре на обыкновенные камни, или *гидроксиапатиты*. Действительно удивительно, что кости и камни имеют много общего. Это, конечно, касается только твердых, «минеральных» частей костей. В костях также содержатся сложные органические молекулы, которых в камнях нет. Эти органические молекулы де-

лают кости плотными и гибкими, они позволяют выдерживать такие удары, которые раздробили бы кости, если бы те состояли из одних фосфатов. С возрастом у людей органическая составляющая костей уменьшается, а фосфатная увеличивается. Вот почему у пожилых людей кости хрупкие, и они чаще их ломают, чем молодые.

Определенное количество фосфатов находится и в мягких тканях организма. Когда организм перерабатывает продукты питания, он собирает эту энергию в виде особых фосфатов, которые называются *высококалорийными фосфатами*. Такие фосфаты легко распадаются, высвобождая накопленную в них энергию. Как только организму требуется энергия (для сжатия мышц, произнесения слова, посылки импульса по нерву или для создания сложной молекулы из простых), он разрушает несколько высококалорийных фосфатов.

Поскольку растения, как и все живущее на Земле, также нуждаются в фосфатах, их содержат многие удобрения. Одно из самых важных и эффективных удобрений в просторечии называют *суперфосфатом*. Костяная мука, содержащая фосфаты, также может служить удобрением.

Как вы помните, растения, разлагающиеся под водой, выделяют метан.

Часть фосфора, находящегося в их тканях, выделяется в форме *фосфина*. Это зловонный ядовитый газ с молекулой, состоящей из одного атома фосфора и трех атомов водорода. Фосфин горит в воздухе при обычной температуре. Тусклое пламя горящего фосфина иногда видно в воздухе над болотистой местностью и, очевидно, породило выражение «*призрачная надежда*». Увидев такое пламя, люди, заблудившиеся в болотах, считают его человеком с фонарем или светом в окне дома и начина-

ют двигаться в его направлении, где их ждет полнейшее разочарование. По этой причине о людях, которые стремятся достичь чего-либо невозможного, говорят, что они «гоняются за призраками».

Фосфаты также встречаются в экскрементах животных. На островах у побережья Перу имеются огромные залежи их в виде *гуано*, оставленные здесь стаями птиц, столетиями живущими здесь. Из-за высокого содержания фосфатов гуано считается ценным удобрением.

Группа фосфорсодержащих соединений содержится в *нервно-паралитических газах*. Эти соединения способны вмешиваться в работу элементов, ответственных за нервную деятельность в организме. При вдыхании таких газов нервная система перестает действовать. Организм останавливается, поскольку ни одна мышца не может действовать без приказа нерва, и организм погибает в несколько минут. (Представьте себе, что может случиться с крупным современным городом, если внезапно выключить в нем все электричество.) Нервно-паралитические газы являются самыми опасными из боевых газов, применявшихся со времен Первой мировой войны, и я надеюсь, другого случая их применить не представится.

Прямо под фосфором в периодической таблице находится элемент номер 33, *мышьяк*. В качестве элемента он был впервые признан в 1733 году, но в той или иной форме был известен с глубокой древности. Его название происходит от греческого названия желтого минерала, являвшегося соединением мышьяка и серы. Не входя в группы общих элементов, мышьяк тем не менее широко распространен. В металлургии одной из главных проблем является удаление небольших количеств мышьяка, присутствующих почти в каждом металле.

При произнесении слова «мышьяк» возникает стойкая ассоциация с понятием «яд». Это любимый яд у писателей детективных историй. Что примечательно, мышьяк, которым травят людей в реальной жизни и (гораздо чаще) в детективных историях, собственно мышьяком-то не является. Сам по себе мышьяк не особенно ядовит. Ядовитым является его соединение *сесквиоксид мышьяка*. Молекулы сесквиоксида мышьяка состоят из двух атомов мышьяка и трех атомов кислорода. Смертельная доза 0,15 г.

К мышьяку можно привыкнуть, если долго принимать внутрь его небольшие количества. Натренированный таким образом человек может одновременно принять дозу, превосходящую смертельную в несколько раз, без особого вреда для себя. Древний понтийский царь Митридат, чтобы обезопасить себя, принимал в небольших количествах все известные ему яды и почти преуспел. Но приспособиться ко всем ядам нельзя, это возможно только с мышьяком.

О присутствии мышьяка в мертвом теле можно судить по реакции, которая происходит при обработке фрагмента его ткани смесью кислоты и металла. Кислота и металл реагируют друг с другом, выделяя газообразный водород. В это же время кислота и водород превращают мышьяк в *арсин*. Это очень ядовитый газ с молекулой, состоящей из одного атома мышьяка и трех водорода.

Смесь водорода и арсина проходит по подогретой до определенной температуры трубке. Под действием тепла арсин распадается на мышьяк и водород. Затем мышьяк оседает на более холодном участке трубки в виде серого пятна. Появление такого пятна указывает на наличие мышьяка. В честь своего разработчика весь процесс был назван тес-

том Марша и является важной частью расследования убийств.

Сесквиоксид мышьяка в сочетании с молекулами воды и атомами некоторых других элементов образует ядовитые *арсенаты*. Арсенаты ядовиты не только для человека. С их помощью давно и успешно борются с вредными насекомыми. *Инсектицидами* опрыскивают плодовые деревья. Также арсенаты распыляются с низколетящих самолетов над хлопковыми полями, чтобы защититься от *хлопкового долгоносика*. Самым известным из арсенатов является парижская зелень.

Кроме того, мышьяк входил в состав некоторых боевых газов. *Люизит*, применявшийся помимо горчичного газа в Первой мировой войне, был мышьякосоодержжающим веществом.

Однако мышьяк не только яд. Некоторые его соединения можно использовать в медицине. Немецкий ученый Пауль Эрлих открыл вещество *арсфенамин*, или «606» (606-й опыт), которым с известными предосторожностями можно лечить сифилис.

Правда, сейчас асфенамин уже не используется. Появились антибиотики, которые делают это быстрее и безопаснее.

Двумя более тяжелыми родственниками мышьяка являются *сурьма* номер 51 и *висмут*, номер 83. Оба известны с незапамятных времен, а происхождение названий неясно.

Сурьма представляет собой серебристо-белое вещество, которое может находиться в нескольких аллотропических модификациях. Наиболее интересной из них является нестабильная, так называемая *взрывчатая сурьма*. Название говорит само за себя. Если такую сурьму потереть, она взрывообразно превращается в обычную форму сурьмы с большим выделением тепла. Взрывчатая сурьма бывает толь-

ко в лабораториях. Природные формы сурьмы не взрываются.

У сурьмы нет такой плохой репутации, как у ее родственника мышьяка, но она не безобидна. В виде соединения *стибин* с молекулой, состоящей из одного атома сурьмы и трех атомов водорода, она очень похожа на арсин по своим ядовитым качествам.

Древние египтяне использовали *трисульфид сурьмы* (с молекулами, состоящими из двух атомов сурьмы и трех серы) как карандаш для бровей. Это было пять тысяч лет назад. Сейчас мы применяем это вещество не так романтично. Его добавляют в головки безопасных спичек. Трисульфид сурьмы вспыхивает, как и трисульфид фосфора, но не так сразу. Тепла от простого трения будет недостаточно, чтобы зажечь спичку. На специальной полоске на боку коробка наносится красный фосфор, который дает при трении искру, поджигающую все остальное.

Сурьма является одним из металлов (об остальных позже), из которых производят *гарт*, или *типографский сплав*. Гарт представляет собой *сплав* (то есть смесь металлов) с низкой точкой плавления. Расплавленный гарт заливают в форму и охлаждают. Если форма сделана в виде буквы алфавита, остывший гарт принимает ее форму, становясь типографским шрифтом. Если несколько таких форм выстроить в линию и залить жидким гартом, при остывании получится целая печатная строка. Если затем на такую строку нанести краску и приложить к бумаге, останется след в виде этой строки.

Вы думаете, что для этих целей годится любой металл с низкой точкой плавления, но это не так. Многие жидкости при охлаждении сжимаются. При этом точного отпечатка формы не получается. Типографский сплав является одним из немногих ис-

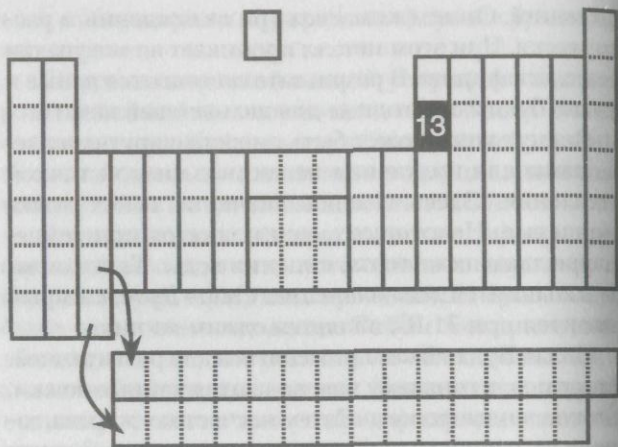
ключений. Он не сжимается при охлаждении, а расширяется. При этом металл проникает во все уголки и складки формы. В результате получаются ясные и четкие буквы, пригодные для дальнейшей печати.

Висмут тоже может быть смешан с другими элементами для получения веществ с низкой точкой плавления. Здесь главное значение имеет точка плавления. Некоторые смеси плавятся при температуре даже ниже точки кипения воды. Такие сплавы называются *легкоплавкими*. *Сплав Вуда*, который плавится при 71 °С, является одним из них.

Сплав Вуда может применяться для розыгрышей. Например, к горячему чаю подаются чайные ложки, изготовленные из него. Затем несчастная жертва, занятая разговором, старательно перемешивает сахар и, к всеобщему веселью, вдруг обнаруживает, что держит в руках одну лишь ручку от ложки.

Но для легкоплавких сплавов есть и более серьезные применения. Они используются в автоматических системах пожаротушения. Многие предприятия и офисы оборудованы автоматическими (спринклерными) системами пожаротушения, которые в полной готовности располагаются над головами людей. Воду удерживают только легкоплавкие пробки. При пожаре такие пробки быстро плавятся и на огонь обрушивается масса воды, останавливающая пожар.

В повседневной жизни висмут используется в виде *субгаллата висмута* (довольно сложного молекулярного соединения). Это антисептический порошок для обработки ран и ссадин. Другие соединения висмута могут помочь при желудочных расстройствах.



Глава 10

АЛЮМИНИЙ: КУХОННЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Все элементы можно разделить на две неравные группы. В большую группу входят *металлы* (их 80). Оставшиеся 22 соответственно *неметаллы*. Я уже использовал слово «металл» в этой книге, поскольку уверен, что вы видели металлы и знаете, как они выглядят.

Полированные металлы обладают характерным, так называемым *металлическим*, блеском.

Неметаллические вещества, элементы или соединения почти всегда будут прозрачными или окрашенными в белый или другой однородный цвет. Например, вспомните серу.

Металлы являются *проводниками* тепла и электричества. То есть тепло или электричество легко проходят через них. Электрические провода всегда

делались из металла. Радиаторы в автомобилях и радиаторы отопления в домах также металлические. Неметаллы, напротив, являются *диэлектриками*. То есть они не (или плохо) проводят тепло или электричество.

Важнейшим качеством металлов является *ковкость*. Это значит, что любому металлу можно придать форму тонкого листа. Также металлы обладают *вязкостью*: из них можно делать нити или проволоку. Невозможно представить себе неметаллы вроде серы или углерода, раскатанные в листы или вытянутые в нити. Первый же удар превращает их в порошок. Металлы обладают *гибкостью*: их можно гнуть и сворачивать без повреждения их основной структуры. Если из серы сделать тонкий лист (путем охлаждения жидкой серы на плоской поверхности), то он сломается при малейшей попытке его согнуть.

Еще химики пытаются различать металлы и неметаллы по данным им международным латинским названиям. (В каждом языке существуют свои названия для того или иного элемента.) Так, названия металлических элементов преимущественно оканчиваются на «ум», а неметаллических на «н».

Посмотрите на те элементы, о которых я уже рассказывал в этой книге. Девятнадцать из них неметаллы: водород (водород), кислород (кислород), азот (азот), гелий (гелий), неон (неон), аргон (аргон), криптон (криптон), ксенон (ксенон), углерод (углерод), кремний (кремний), хлор (хлор), фтор (фтор), бром (бром), йод (йод), сера (сера), селен (селен), теллур (теллур), фосфор (фосфор) и мышьяк (мышьяк).

Тринадцать названий этих элементов оканчиваются на «н». Из оставшихся шести фосфор (фосфор), сера (сера) и мышьяк (мышьяк) остались

под названиями, которые они получили до создания современной системы обозначений.

Гелиум (гелий) получил свое название, когда о нем не было еще ничего известно, кроме цвета спектральной линии, и Локьер назвал его так, полагая, что это может быть металл. (Правильнее было бы назвать его «гелион», но сейчас уже поздно.) И наконец, два сходных случая — селениум (селен) и теллуриум (теллур). Отдельные аллотропические модификации каждого элемента ведут себя до некоторой степени как металлы.

Два металла, о которых я уже рассказывал, — антимоний (сурьма) и висмут (висмут) — также остались под своими старыми названиями.

Между прочим, как вы можете заметить, все элементы-неметаллы сгруппированы в одной части периодической таблицы, в правом верхнем углу.

Из 81 элемента, о которых я еще буду рассказывать, только 3 неметаллы. (Об этих трех речь пойдет в конце книги.) Остальные металлы, и я начну свой рассказ с самого распространенного из них.

Самый распространенный металл на Земле — это элемент номер 13, и называется он *алюминий*.

Алюминий — третий по распространенности элемент земной коры. Чаще его встречаются только кислород и кремний, и оба они неметаллы. Более 7% земной коры состоит из алюминия. Он находится в почве большей частью в виде различных *алюмосиликатов*.

Это соединения алюминия, кислорода и кремния с одним или двумя другими элементами. Определенные алюмосиликаты, содержащие в себе атомы других металлов, известны в форме красных драгоценных камней — *гранатов*.

Самой часто встречающейся каменной породой на поверхности Земли является *гранит*. Огромные

гранитные плиты, как правило лежащие на другой каменной породе — *базальтах*.

И базальт, и гранит являются *вулканическими породами*, то есть они сформировались под действием высоких температур глубоко под земной поверхностью. Породы, находящиеся глубоко под землей в расплавленном состоянии, называются *магмой*. Магма, которая выплескивается через вулканы наружу, называется *лавой*. Расплавленная порода, которая охлаждается так быстро, что образует стекловидную массу, называется *обсидианом*. Лава, насыщенная пузырьками газов, при охлаждении образует губчатую легкую породу, которая плавает в воде. Такая легкая порода называется *пемзой*.

Гранит состоит из трех веществ: кварца, полевого шпата и слюды. Кварц, как я писал в главе 6, — диоксид кремния. *Полевой шпат* и *слюда* — формы алюмосиликатов.

Одна из разновидностей полевого шпата представляет собой темно-синий минерал, *лазурит*, который встречается достаточно редко и считается полудрагоценным камнем.

Искусственный лазурит называется *ультрама-рином*.

Слюда может быть разделена на тонкие прозрачные листы и использована вместо стекла, например в задних окнах автомобилей со складным верхом. Также слюду применяют для устройства смотровых окон в печах, поскольку она выдерживает гораздо более высокие температуры, чем стекло. Из мелких кусочков слюды делают «снег» для новогодних украшений. Такой «снег» получается белым и блестящим и, что самое главное, — негорючим.

Как я уже рассказывал в главе 6, под действием ветра и воды кварц измельчается и превращается в песок. Таким же образом из полевого шпата получа-

ется *глина*. Частицы глины мельче, чем частицы песка, и образуют губчатую массу, которая задерживает дождевую воду и препятствует ее быстрому испарению. Поэтому глина необходима для плодородия почвы, несмотря на то что живые организмы не нуждаются ни в кремнии, ни в алюминии. (Их также нет в живых тканях.) Глина, смешанная с песком и соединениями железа, называется *формочной глиной*.

Глина — самый распространенный и самый удобный материал для строительства. *Кирпич* — это брусок глиняной смеси, обожженный при температуре около 1000 °С. Кроме глины, в обычные кирпичи замешивают песок, а в красные — соединения железа, которые и дают такой цвет. Кирпич — это твердый, долговечный и негорючий строительный материал.

Более чистые разновидности глины, известные как *каолин*, применяются при производстве *гончарных изделий* и *фарфора*. Фарфор блестящий, сияющий (иногда даже полупрозрачный) и непористый. Если каолин обжигать так, что он перестает блестеть, получается *каменная керамика*. Обожженный при невысокой температуре каолин остается пористым и называется *фаянсом*.

Вряд ли кто-нибудь из нас не пользовался посудой из обожженного каолина. Все виды таких изделий называют одним общим словом *керамика*. Здесь мы видим первые примеры «кухонности» алюминия.

Глина, которая находится глубоко под землей, испытывая постоянное давление, постепенно превращается в плотную массу — *сланец*. Сланец легко расщепляется на плоские пластины, и вы наверняка его видели в виде аспидных досок в школе.

В соединении с серой, кислородом и другими элементами алюминий образует ряд соединений, называемых *квасцами*. Квасцы были известны людям

очень давно, и именно от латинского «алюм» произошло нынешнее название элемента. Квасцы обладают кровоостанавливающими свойствами, люди пользовались ими при заживлении мелких ранок и порезов, нанесенных во время бритья. Иногда квасцы применяют для очистки питьевой воды. Под действием квасцов бактерии, а также прочие нежелательные примеси собираются в комок вокруг квасцов и опускаются на дно сосуда, оставляя воду чистой и свободной от микробов.

Квасцы или *сульфат алюминия* (упрощенный вариант молекулы квасцов) используют для проклейки в процессе производства бумаги. Их добавляют в древесную массу вместе с другими вяжущими веществами, что позволяет крепче связать волокна и получать длинные полосы бумаги. Сульфат алюминия применяется и в текстильном производстве. Он соединяется с водой, образуя мелкие частицы *гидрата окиси алюминия*, которые плотно склеивают волокна нити. В свою очередь, красители лучше держатся на сульфате алюминия, чем просто на волокне. Таким образом, сульфат алюминия является одним из *мордантов*, или закрепителей краски, которые облегчают крашение тканей.

Видя вокруг столько соединений алюминия, вы можете решить, что металлического алюминия вокруг полно и он ничего не стоит. Действительно. Что может быть дешевле песка? Разве что глина?

Но не все так просто. Атомы алюминия в распространенных силикатах так прочно связаны с другими атомами в соединении, что выделить их почти невозможно. В 1825 году датскому химику Гансу Христиану Эрстеду удалось выделить металлический алюминий, но для коммерческого использования он был непригоден еще вплоть до 1850 года. Но даже тогда его цена была слишком вели-

ка. Цена килограмма алюминия переваливала за 180 долларов, что было гораздо дороже серебра и почти так же дорого, как золото.

Французский император Наполеон III, правивший в 1850—1860-х годах, был обладателем алюминиевой вилки, а у его ребенка была алюминиевая погремушка. Слиток алюминия демонстрировался на Парижской всемирной выставке в 1855 году. Его называли «серебром из глины». К 1880 году, по мере развития технологии выделения алюминия, его цена упала до 10 долларов за килограмм. Когда в 1884 году строился монумент Вашингтону, на нем было установлено цельное алюминиевое навершие, которое до сих пор находится там. Его можно увидеть на любой фотографии монумента.

В 1886 году произошло событие, изменившее все. Молодой, двадцатидвухлетний, только что окончивший школу американский химик Чарльз Мартин Холл открыл способ дешевого производства алюминия из оксида алюминия, чем обеспечил себя на всю оставшуюся жизнь.

Французский химик Поль Эру открыл тот же процесс примерно в то же время. Интересно, что он родился в том же году, что и Холл (1863), и так же умер (1914).

Чистый оксид алюминия представляет собой белое кристаллическое вещество, молекула которого состоит из двух атомов алюминия и трех кислорода. Его часто называют *глиноземом*. Чистая форма природного оксида алюминия называется *корундом*, а чуть менее чистая — *наждаком*. Оба вещества отличаются высокой твердостью. Конечно, не такой, как алмаз или карборунд, но они гораздо дешевле и широко используются в качестве абразивов. Небольшие кусочки синтетического корунда могут применяться в качестве подшипников в часах и других механиз-

мах. Корунд — очень тугоплавкий материал (другими словами, он *огнеупорен*). Поэтому его можно использовать для футеровки печей. Также для этих целей применяется и кирпич, а дымовые трубы в домах всегда строили из кирпича.

Многие драгоценные камни состоят из корунда с небольшими примесями, которые определяют цвет. Среди этих камней можно назвать желтый *топаз*, синий *сапфир* и красный *рубин*. Добавляя нужные примеси, можно получать искусственные топазы и рубины из корунда. Но искусственные они только по способу получения. Химический состав их идентичен натуральным камням. Гораздо более сложное соединение, известное как *бирюза*, является разновидностью фосфата алюминия.

Наиболее удобной для использования формой оксида алюминия являются *бокситы*, которые встречаются в значительных количествах в разных частях света. Сначала бокситы очищают от кремния и других нежелательных примесей, превращая их в белый порошок окиси алюминия. Затем этот порошок растворяют в жидком минерале — *криолите*, молекулы которого, наряду с другими, содержат атомы алюминия и фтора. Это ключевое место открытия Холла и Эру. Находка минерала, который при большой температуре растворяет окись алюминия. Так получилось, что криолит был обнаружен почти исключительно в западной части Гренландии, это открытие обеспечило промерзшей пустыне важное место в современной цивилизации. В настоящее время в промышленности применяется синтетический криолит, создаваемый в лабораториях.

Горячий раствор помещается в сосуд, выложенный изнутри химически чистым углем. Затем в сосуд вводят угольные электроды и пропускают электрический ток, протекающий между электрода-

ми и обкладкой. (Углерод хоть и не металл, но хорошо проводит электричество.) Молекулы оксида алюминия уносятся током, а атомы алюминия оседают на дне сосуда в виде расплавленного металла. (На сегодняшний день большая часть промышленного электричества используется для производства алюминия.)

В короткое время после открытия этого процесса цена алюминия упала до 60 центов за килограмм и даже ниже. Алюминий превратился в дешевый доступный металл, нашедший применения во многих важных областях.

Человечество использует металлы в строительстве и производстве оружия только около 6000 лет (а во многих уголках мира и того меньше). До этого сотни тысяч лет люди использовали камень.

Металл обладает рядом преимуществ перед камнем. Определенные металлы заметно тверже камня. Стойка из такого металла выдерживает гораздо больший вес, чем каменная того же размера.

Металл обладает большей вязкостью и гибкостью. Внезапный удар может погнуть металл, но такой же удар разобьет камень на куски.

С другой стороны, металл кое в чем уступает камню. Во-первых, вес. Многие металлы тяжелее камня и потому не очень удобны в обращении. Если бы огромные каменные блоки, из которых построены Великие пирамиды, были сделаны из стали, все население Египта не смогло бы установить их на места. Не помогли бы даже механизмы.

Поэтому вещество, которое сочетало бы в себе прочность металла и легкость камня, оказалось бы весьма кстати. И алюминий более других отвечает этим требованиям.

Алюминий обладает таким же весом, как гранит или мрамор, но на две трети легче стали. Один куби-

ческий сантиметр железа весит примерно 9 г. А кубический сантиметр алюминия (или камня) весит всего лишь около 3 г. Алюминий прочнее камня, но не прочнее стали. Железная балка выдерживает больший вес, чем алюминиевая балка того же сечения.

Алюминий можно усилить путем добавления в него небольших количеств других металлов — другими словами, превратив его в сплав. Сплавы, как правило, обладают качествами, которых лишены металлы по отдельности. Существуют сотни сплавов, каждый со своими характеристиками и областью применения.

Например, если к 45 кг алюминия добавить 2 кг меди и по 200 г магния и марганца, мы получим сплав *дюраль*. Дюраль значительно прочнее чистого алюминия. Конечно, железо и его сплавы еще прочнее, но прочности дюралья во многих случаях достаточно.

Для многих задач легкость имеет большее значение, поэтому с некоторым уменьшением прочности можно смириться. Например, в авиастроении вес конструкции имеет огромное значение. Современные самолеты строятся в основном из алюминия. Также алюминий применяется при строительстве поездов, грузовиков и автомобилей, где уменьшение веса важнее прочности.

Легкость алюминия полезна и в другой области. Алюминий — отличный проводник электричества. Некоторые металлы проводят электричество лучше, но они, как правило, тяжелее и дороже. Например, медный провод проводит электричество лучше, чем алюминиевый, но при одинаковой длине и толщине он будет в три раза тяжелее. Если взять алюминиевый провод большего сечения, по весу равный медному, он будет проводить электричество лучше и, кроме того, будет значительно дешевле. По этим причинам электропроводка в домах де-

ляется из меди, а провода для передачи электричества на большие расстояния — из алюминия.

Помимо всего прочего, алюминий хорошо отражает свет. Тонкий слой алюминия напыляется на зеркала телескопов. И именно этот слой алюминия создает отражающую поверхность.

Алюминий обладает и еще одним преимуществом перед железом. Кажется, что он не ржавеет и не окисляется. И происходит это по одной интересной причине. Алюминий более активный элемент, чем железо, и вступает в реакцию с кислородом быстрее и легче. И то, что алюминий легко корродирует, как раз и защищает его от коррозии.

При соединении алюминия с кислородом образуется оксид алюминия, который плотной пленкой покрывает поверхность металла.

Эта тонкая, совершенно прозрачная пленка оксида не вступает в реакцию с кислородом и предохраняет алюминий от дальнейшей коррозии. Поэтому любые изделия из алюминия выглядят блестящими, не подверженными воздействию воздуха или погоды. Пленка оксида алюминия будет более долговечной, если металл опустить в раствор, через который пропущен электрический ток. Такой алюминий называется *анодированным*.

Алюминий широко применяется в строительстве для покрытия наружных стен, изготовления дверей, оконных рам, водостоков и т. д. Такие изделия не требуют покраски или другой защиты. Если они сделаны из одного куска, они не коробятся, как дерево. С другой стороны, при внешнем воздействии алюминиевые детали легче гнутся и деформируются, чем железные, поэтому во многих случаях применение железа предпочтительнее.

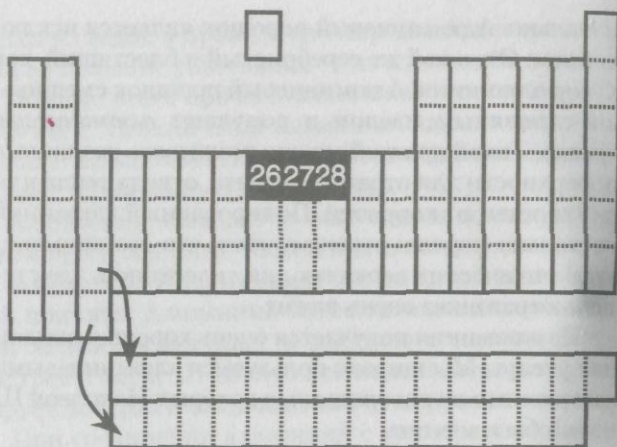
Порошки большинства металлов имеют черный цвет, независимо от того, как выглядел металл из-

начально. Алюминиевый порошок является исключением. Он такой же серебристый и блестящий, как кусок алюминия. Алюминиевый порошок смешивают с льняным маслом и получают *алюминиевую краску*. Такой краской можно покрывать различные поверхности для отражения света, отвода тепла или для защиты от коррозии. Полированный алюминий настолько хорошо отражает свет, что его применяют в оптических зеркалах для телескопов, где степень отражения очень важна.

Из алюминия получается очень хорошая домашняя утварь. Мы широко пользуемся алюминиевыми кастрюлями и сковородами, о которых Наполеон III не мог бы и мечтать.

Алюминий хорошо проводит тепло, поэтому пища на огне готовится быстрее. Алюминиевая посуда не подвержена коррозии и не реагирует на кислоты или другие вещества, оказавшиеся в пище. Ее защищает пленка оксида алюминия. (Та же пленка предохраняет и пищу, не позволяя алюминию «отравлять» ее. Хотя опасения домохозяек на этот счет совершенно напрасны — и железо, и алюминий в небольших количествах совершенно безвредны.) А еще алюминиевая посуда легкая, что по достоинству оценили женщины, которым целыми днями приходится ворочать кастрюли и сковороды. Вот видите, почему алюминий можно назвать кухонным элементом.

Каждый день мы пользуемся алюминием в виде тонкой, гибкой *фольги*. В алюминиевую фольгу заворачивают жевательную резинку, сигареты, маргарин и сотни других продуктов, которые мы каждый день покупаем в магазинах. Недавно домашние хозяйки начали использовать алюминиевую фольгу для приготовления и хранения продуктов, сделав алюминий еще более кухонным элементом.



Глава 11

ЖЕЛЕЗО: ПРОЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Одним из старейших произведений классической литературы является эпическая поэма «Илиада», предположительно написанная греческим автором Гомером около 800 года до н. э. В ней говорится о десятилетней осаде Трои греческой армией где-то в 1000 году до н. э.

Если вы прочтете поэму, вы обнаружите, что у воинов были бронзовые доспехи, бронзовые мечи и щиты, бронзовые наконечники копий.

После того как человечество научилось добывать металлы из соединений, находящихся в земле (такие соединения, содержащие металлы, называются *рудами*), первый металл, оказавшийся достаточно твердым для изготовления доспехов и вооружения, был бронзой. Бронза — это сплав меди и олова. Период истории, когда бронза ши-

роко использовалась, называется *бронзовым веком*.

Железо, элемент номер 26, известно людям давно. Железные предметы были обнаружены еще в египетских гробницах, относящихся к четвертому тысячелетию до нашей эры. Но в те времена железо было полудрагоценным металлом. Например, в «Илиаде» можно прочесть о том, что победитель атлетических соревнований получал в качестве приза кусок железа. До 1500 года до н. э. ни один народ не знал, как добывать железо в количествах, достаточных для изготовления оружия и доспехов.

Первым народом, научившимся этому, были хетты, жившие в Малой Азии (нынешняя Турция). Когда они появились на полях сражений с оружием, изготовленным из нового металла, их противники почувствовали себя жертвами «секретного оружия». Бронзовые мечи и копья были бессильны против железных щитов. Лезвия мечей гнулись и затуплялись. А железные мечи и копья с железными наконечниками легко пробивали бронзовые щиты и доспехи. Видите, железо заметно тверже бронзы.

По мере распространения знания о новом металле народ за народом отказывался от бронзы в пользу железа. Человечество вступило в *железный век*. К 600 году до н. э. победоносные армии ассирийцев использовали исключительно железо.

Сейчас железо является самым дешевым из металлов. Отдельные разновидности железа стоят около 2 центов за килограмм. Это второй по распространенности металл земной коры, составляющий почти 5% ее. Железа не так много, как алюминия, но его легче выделять из соединений, что делает железо дешевле.

В нижних слоях земной коры и глубже концентрация железа возрастает. Земное ядро, около 8000 км

в поперечнике, в большой мере состоит из жидкого железа. Если рассматривать вес всей планеты, а не только коры, то большая часть его приходится на железо. Возможно, до 40% веса планеты составляет железо.

Также железо попадает на Землю из открытого космоса. Бесчисленное количество твердых обломков (некоторые величиной с гору, другие с пылинку) вращается вокруг Солнца. Миллионы из них каждый день попадают в земную атмосферу. Большинство из них испаряются в результате трения о воздух. Те, что побольше, достигают поверхности Земли. Они называются *метеоритами*. Около 90% найденных метеоритов состоят в основном из железа. (Остальные, «каменные метеориты», состоят из силикатов.) Кусок железа, использованный в виде приза в «Илиаде», наверняка был метеоритом.

Железо — один из необходимых элементов живой материи. В человеческом организме (и в организмах других животных с красной кровью) железо составляет важную часть крови. Соединение *гемоглобин*, который определяет красный цвет крови, забирает кислород из легких и доставляет его ко всем тканям. Каждая молекула гемоглобина содержит четыре атома железа, и именно эти атомы переносят кислород. Человеческий организм содержит около 3 г железа.

Человек, в организме которого не хватает железа, страдает *анемией*.

Одним из методов лечения анемии, вызванной недостатком железа, является прием пациентом препаратов, содержащих простые соединения железа.

Важнейшим источником железа является железная руда. Это красно-оранжевый минерал *гематит*, представляющий собой оксид железа. Его молеку-

лы состоят из двух атомов железа и трех кислорода. (Гематит определяет цвет некоторых горных пород Земли и, возможно, красноватый цвет планеты Марс.) Разновидность этой руды, называемая *красная охра*, давно используется художниками в качестве пигмента. В размолотой форме она превращается в *красный полировальный порошок*, который применяется для тонкой полировки стекла, особенно для оптических линз и зеркал. Другим видом железной руды является черноватый *магнетит*, это оксид железа, который содержит в молекуле три атома железа и четыре кислорода. Кроме того, в железных рудах всегда присутствуют силикаты и другие примеси.

Чтобы выделить металлическое железо из руды, людям пришлось искать способы удаления силикатов и освобождения железа от атомов кислорода в молекулах оксида железа. Оказалось, что этого можно достичь, смешивая железную руду с коксом и известняком (об известняке я расскажу в главе 13) и помещая эту смесь в *доменную печь*. В печи через смесь продувается горячий воздух, воспламеняющий кокс, который является почти чистым углеродом.

Однако кислорода, находящегося в воздухе, недостаточно, и поэтому по мере нагревания смеси некоторые из атомов углерода соединяются с атомами кислорода из молекул оксида железа, освобождая атомы железа. Это железо, теперь уже в виде металла, плавится и опускается на дно печи.

В то же время известняк соединяется с силикатами, образуя *шлак*, который также плавится и располагается поверх расплавленного железа. Время от времени расплавленное железо и шлак сливаются, а новые порции железной руды и известняка закладываются в печь. Печь не гасится до тех пор,

пока кирпичная футеровка (сделанная из тугоплавкого оксида алюминия или алюмосиликата) не потребует обновления.

Железо, выплавленное в таких доменных печах, называется *литейным чугуном* потому, что затем оно выливается в формы и застывает там. (Застывший в формах металл называется «литье».) Также часто такое железо называют *чушковым чугуном*.

Литейный чугун содержит в себе большое количество примесей. Основная примесь — углерод, который попадает в железо из кокса. В литейном чугуне может содержаться от 2 до 4,5% углерода. Также там присутствует кремний (около 2,5%), немного фосфора, серы и других элементов.

Литейный чугун обладает прочностью, твердостью и является самым дешевым сортом железа. Он применяется в деталях, которые должны выдерживать постоянное давление, большой вес, но не удары. Чугун — материал хрупкий, и резкий удар или изгиб может расколоть его.

Если расплавить чугун с добавлением железной руды и известняка, то примеси уйдут, и в результате получится почти чистое железо. Это так называемый *ковкий чугун*. Ковкий чугун мягче литейного чугуна, но он более вязкий. Это значит, что он может выдерживать резкие удары и, до некоторой степени, гнуться. Получение литейного чугуна стало возможно только с применением кокса, который в виде топлива позволял достигать температур достаточно высоких для плавления железа и смешивания его с углеродом. В Средние века, когда в качестве топлива использовалось дерево, сравнительно невысокие температуры позволяли получать только ковкий чугун.

Наиболее практичной формой железа, то есть в меру твердой и в меру прочной, является промежу-

точная между литейным и ковким чугуном, в которой углерода больше, чем в ковком, но меньше, чем в литейном чугуне. Железо, в котором содержится от 0,15 до 1,5% углерода, называется *сталью*.

Существует несколько способов получения стали. Один заключается в плавлении литейного чугуна в специальных печах, называемых *бессемеровский конвертер* (в честь изобретателя), и выжигании при этом всех примесей. Особенно важно удалить серу и фосфор. После этого вносятся уже необходимые добавки (углерод и некоторые другие элементы).

Сталь более удобна по сравнению с другими формами железа тем, что ее можно сделать более твердой, прочной или вязкой путем *закалки с последующим отпуском*. То есть железо раскаляется докрасна, а затем опускается в холодную воду. Конкретные характеристики куска стали зависят от условий закалки и количества содержащегося в ней углерода. Если углерода содержится менее 0,2%, получается *мягкая (низкоуглеродистая) сталь*. Она во многом напоминает ковкий чугун и, благодаря своей дешевизне, почти повсеместно заменила его. *Конструкционная сталь* содержит от 0,2 до 0,6% углерода, и из нее делаются балки при строительстве зданий и мостов. Самая прочная, *инструментальная сталь* содержит от 1 до 1,5% углерода.

Свойства стали зависят также и от того, какие элементы в ней присутствуют и в каких количествах. Существуют сотни таких комбинаций.

Соединенные Штаты производят более ста миллионов тонн стали в год. Автомобильная промышленность потребляет одну пятую этого количества. Остальное почти целиком уходит на железнодорожный транспорт, строительство и машиностроение.

Стали используется столько, что можно говорить о том, что человечество перешло из железного века в *стальной*.

Примером того, как сталь изменила жизнь человека, может служить строительство. Дома, построенные из дерева, кирпича или камня, могут быть высотой всего в несколько этажей. Если строить выше, то вес здания может разрушить фундамент. Сейчас сначала строится «скелет» здания из стальных стоек и балок, и именно на них приходится весь вес здания. Сталь настолько прочна, что можно возводить небоскребы высотой в сотню этажей. Поверх стального каркаса уже без опаски можно использовать кирпич или камень, поскольку они не несут на себе основную нагрузку. После Второй мировой войны появилось увлечение отделять стены небоскребов из алюминия и стекла, чтобы придать зданиям легкий и воздушный вид.

Сталь не только прочна, но и эластична, то есть она прогибается под действием внешней силы, а когда воздействие прекращается, возвращается в прежнее состояние. Благодаря этому небоскребы могут выдержать артиллерийский обстрел или землетрясение, которые разрушили бы и здания меньшего размера, построенные без стального каркаса. Только благодаря стали стало возможным строительство подвесных мостов и других сложных инженерных сооружений.

Подводя итог, можно сказать, что там, где требуется прочность, замены стали пока нет.

Однако этот самый дешевый и самый прочный металл имеет и свои недостатки. Наиболее серьезный из них — соединение с кислородом. Реакция может быть и быстрой и медленной.

Если мелкие кусочки железа (обычно их называют *железные опилки*) нагреть, они начнут быстро

соединяться с кислородом и выделять достаточно тепла, чтобы начать разбрасывать вокруг себя белые искры раскаленного железа. (Бенгальские огни, которые вы видели на День независимости, сделаны из железного порошка, собранного в форме жгута. Их можно поджечь спичкой, и они будут гореть, разбрасывая искры, пока все железо не соединится с кислородом.)

Медленное соединение железа с кислородом во влажной среде называется *ржавлением*. Железо соединяется с кислородом и водой, образуя *гидратный оксид железа* с молекулами, состоящими из атомов железа, кислорода и водорода. Это всем нам хорошо знакомая *ржавчина*.

К сожалению, ржавчина — рассыпчатое вещество, которое отслаивается от поверхности металла. Она не защищает железо, как оксид алюминия защищает алюминий. Наоборот, отслаиваясь, она постоянно открывает воздействию воздуха и влаги новые участки металла, которые также ржавеют и отслаиваются в свою очередь.

Вот почему железо и большинство сортов стали нуждаются в защитной покраске. Слои краски защищают металл от кислорода и влаги. Вы наверняка видели, что стальные балки, используемые при строительстве, всегда оранжево-красного цвета. Но это не ржавчина, а краска.

Хотя на защиту железа от ржавчины и замену проржавевших деталей и тратятся миллиарды долларов, виновник этого, оксид железа, не совсем бесполезен.

Например, если смешать оксид железа с алюминиевыми стружками, получится *термит*. Как только смесь подогревается, алюминий вступает в реакцию с оксидом железа. В ходе реакции выделяется много тепла и достигается температура около 3000 °C. Тер-

мит можно применять для сварки металлов (например, рельсов) без применения горелок. В процессе реакции термита атомы алюминия присоединяются к атомам кислорода из оксида железа, оставляя небольшое количество необыкновенно чистого металлического железа.

Другой интересной особенностью железа является его способность притягиваться к *магниту* и самому быть магнитом. Магнетизм — это разновидность энергии, которая всегда находится рядом с электричеством (другой разновидностью энергии). Любой провод, через который проходит электрический ток, обладает свойствами магнита, то есть притягивает небольшие кусочки железа. (Почему именно железо, а не какой другой элемент, пока остается загадкой.)

Если провод, по которому проходит электрический ток, намотать на катушку, магнетизм каждого витка усиливается от соприкосновения с соседними, и магнитная сила провода на катушке оказывается больше, чем у того же провода, но вытянутого вдоль. Если провод обмотан вокруг железного сердечника, то получается мощный *электромагнит*.

Наивысших значений магнитная сила достигает на концах, или *полюсах*, железного сердечника, поэтому куски железа или стали сильнее всего притягиваются к ним. При включенном электричестве большой электромагнит может поднять тонны железа или стали. Допустим, нам необходимо погрузить металлический лом на товарный вагон, мы сделаем это с помощью электромагнита, укрепленного на кране: опустим магнит на лом, включим электричество и поднимем несколько тонн лома.

Затем мы перенесем лом на товарный вагон и выключим электричество. Магнит перестанет быть магнитом, и лом упадет в вагон.

Магнетизму в той или иной степени подвержены все вещества, но, как правило, незначительно. При обычных условиях эти атомы-магниты направлены каждый в свою сторону и их энергии уравнивают друг друга. Присутствие электрического тока и возникающие при этом магнитные явления побуждают атомы (особенно атомы железа) выстроиться в одном и том же направлении. Все маленькие магнитные энергии сливаются в одну большую. Когда электричество отключается, атомы опять разбредаются каждый своим путем.

Большинство марок стали ведут себя по-другому. По-видимому, в стали атомы не могут двигаться так же свободно, как в железе. Если уж они выстраиваются в определенном порядке, то остаются в том же положении и после отключения электричества. То есть сталь становится *постоянным магнитом*. Те «подковообразные магниты», с которыми играют дети, сделаны из стали. Многие элементы являются слабыми магнитами. Про такие говорят — *парамагнетики*. Магнетизм железа (и некоторых других металлов) выражен гораздо сильнее. Железо является *ферромагнетиком*.

Железная руда, которая называется магнетитом или *магнитным железняком*, является природным магнитом. Впервые это явление было замечено в Древней Греции в местности под названием Магnezия. Отсюда и получили свои названия магнетит и магнетизм. Древние греки были поражены свойствами магнитного железняка и придумали множество небылиц о нем. В «1001 ночи» также есть похожая сказка о железной горе, которая вытягивала из проходивших кораблей все гвозди, превращая их в бесформенные груды досок.

Вся наша планета представляет собой магнит, и такое устройство, как *компас*, позволяет извлекать

пользу из этого факта. Компас состоит из намагниченной, способной свободно вращаться стальной стрелы, которая указывает своим острием на магнитные полюсы Земли.

В прежние времена два элемента, очень похожие на железо, серьезно озадачивали немецких шахтеров, поскольку вели себя как-то не так. При обработке обычными способами из них не получались знакомые металлы вроде железа, серебра или меди.

Некоторые шахтеры думали, что гоблины, живущие под землей, заколдовали руду. От немецкого слова, обозначающего подземного гоблина, Kobold произошло название элемента номер 27 — *кобальта*. Другую руду шахтеры называли Kupfernickel, что значит «чертова медь» (кстати, чёрта в английском языке иногда называют Старый Ник, а медь в названии добавлена потому, что никелевая руда имеет красный цвет). Потом название сократили до *никель* и в таком виде присвоили элементу номер 28. Впервые кобальт был выделен Георгом Брандтом (не путать с Брандом, открывшим фосфор) в 1735 году, а никель в 1751 году Акселем Фредриком Кронстедтом.

Железо тоже не прочь пошутить. Молекула распространенного минерала *железного колчедана* состоит из одного атома железа и двух серы. Выглядит он как блестящие желтоватые кристаллы, которые обманули многих начинающих старателей. За это они и получили выразительное название — *золото дураков*.

И никель, и кобальт обычно встречаются вместе с железом. От веса Земли никель составляет более 3%, а кобальт только 0,25%. Большая часть их находится в земном ядре (состоящем на 90% из железа и на 10% из никеля), в земной коре их гораздо меньше.

Оба они примерно на 10% тяжелее железа и несколько прочнее его. Если бы их было так же много, как железа, их можно было бы широко использовать, так как они почти не ржавеют.

Никель может служить защитой металлов от ржавчины. Для этого металлическую деталь (обычно железную или медную) опускают в раствор, содержащий соединения никеля. Затем через раствор пропускают электрический ток. При соблюдении всех условий атомы никеля будут высвобождаться из раствора и оседать на железной или медной детали. Через некоторое время деталь скроется под сплошной тонкой пленкой *никелевого покрытия*. Красивое блестящее покрытие защищает металл от ржавчины. Весь этот процесс называется *гальванизацией*.

Кобальт и никель обладают магнитными свойствами в меньшей степени, чем железо, но в гораздо большей, чем остальные элементы. Если никель или кобальт смешать в определенной пропорции с железом, получится сплав, обладающий магнитными свойствами даже в большей степени, чем железо само по себе. Например, сплав *пермаллой* состоит на две трети из никеля и на одну из железа. Из него получают более сильные постоянные магниты, чем из стали. Еще более сильные магниты делают из *альнико*, сплава, состоящего из никеля, кобальта и алюминия, смешанных со сталью. Чтобы не использовать для магнитов массивные куски металла, мелкие частицы железа внедряются в пластик. Помимо того что такие магниты получаются очень сильными, благодаря мягкости пластика им легко придать любую желаемую форму.

Никелевые стали (содержащие около 3% никеля) обладают высокой прочностью. Большая часть добываемого в мире никеля идет на производство таких сталей. Одна из разновидностей никелевой

стали, состоящая на пять восьмых из железа и на три восьмых из никеля, называется *инваром*. Достоинство инвара состоит в том, что он почти не расширяется при нагреве и не сжимается при охлаждении. Это очень необычно для стали. Он сжимается или расширяется всего на $\frac{1}{15}$ по сравнению с обычной сталью. Это делает его просто незаменимым для производства измерительных лент и часовых маятников.

Кобальт тверже никеля (а никель тверже железа), и поэтому кобальтовые сплавы (*стеллиты*) являются самыми твердыми из известных сплавов. Они остаются твердыми даже при высоких температурах, и поэтому из них делают инструменты для обработки металла. В отличие от большинства марок стали стеллиты не разрушаются от тепла, выделяющегося от трения при обработке металла.

Из второй главы вы помните, что водород отверждает и сгущает растительные масла, превращая их в жиры. Если просто смешивать масло с водородом, то процесс займет много времени. Но если в смесь добавить определенные металлические порошки, процесс во много раз ускоряется. Ускоряя процесс, этот металлический порошок действует как *катализатор*. Самым дешевым катализатором для этого является широко используемый в промышленности порошковый никель.

Соединения кобальта имеют довольно романтическое применение. Пока сухие, они синие. Под воздействием влаги их молекулы присоединяют к себе молекулы воды и цвет меняется на бледно-розовый. Если такие соединения кобальта растворить в воде, получится бледно-розовый раствор. Этот раствор можно использовать как «невидимые чернила», потому что бледно-розовые буквы становятся почти невидимыми после испарения воды.

Затем, если бумагу слегка подогреть, молекулы воды покинут соединение кобальта. «Невидимые чернила» вновь станут темно-синими, и текст можно будет легко прочесть.

Соединения кобальта имеют и другое важное применение. Силикагель, как вы помните, используется в качестве влагопоглотителя. Сам по себе он выглядит как стеклоподобное бесцветное вещество, а потому на глаз невозможно понять, полностью он использован или нет. Возможно, он вобрал в себя всю воду, которую способен удерживать, и не может больше осушать пропускаемый через него воздух, а возможно, нет. Поэтому в него добавляют соединения кобальта. Пока силикагель сухой, он из-за кобальта синий. По мере наполнения влагой он становится розовым, потому что соединения кобальта в сочетании с водой становятся розовыми. Таким образом, мы получили индикатор влажности и теперь знаем, когда нужно менять силикагель.

Кстати, если в стекло или керамику добавить кобальт, это придает им глубокий синий цвет. Получится так называемое *кобальтовое стекло*.

Недавно было обнаружено, что витамин B_{12} содержит в своей молекуле атом кобальта. По этой причине витамин B_{12} и другие похожие соединения называют *кобаламинами*. Кобальт является одним из *необходимых микроэлементов* живой ткани.

Глава 12

НАТРИЙ И КАЛИЙ: АКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

К 1800 году химики предполагали, что должны существовать такие элементы, как *натрий*, номер 11, и *калий*, номер 19, но не могли получить их в свободном виде.

Вообще натрий и калий — очень распространенные элементы. Чуть более 2,5% земной коры приходится на натрий и чуть меньше 2,5% на калий.

Некоторые из обычных веществ, о которых я уже рассказывал в этой книге, содержат атомы натрия или калия.

Обычная *столовая соль*, например, является *хлоридом натрия*. Ее молекула содержит по одному атому натрия и хлора. Хлорид натрия образуется, когда соляная кислота реагирует с основанием (ниже я объясню, что такое основание), гидроксид-

дом натрия. Поэтому все соединения, которые могут быть образованы путем взаимодействия кислот и оснований, сгруппированы под общим названием *соли*.

Атомы солей удерживаются вместе в правильном порядке под действием электрических сил. Эти атомы очень трудно разделить, поэтому необходимы высокие температуры, чтобы расплавить большинство солей. Вода (лед) плавится (превращается в жидкость) при 0 °С, в то время как хлорид натрия плавится при 801 °С. Правильная расстановка атомов в солях (и во многих других веществах) проявляется в геометрическом строении их твердых форм, имеющих прямые грани и острые углы. Такие правильные формы твердых веществ называются *кристаллами*. Кристаллы хлорида натрия имеют кубическую форму.

Натриевая или чилийская селитра является *нитратом натрия* с молекулой, состоящей из одного атома натрия, одного азота и трех кислорода. Обычное стекло в основном состоит из *силиката натрия* с довольно сложной молекулой, содержащей атомы натрия, кремния и кислорода.

Калий обнаруживается в обычной селитре, которая является *нитратом калия* (один атом калия, один азота и три кислорода). Также его можно обнаружить в полевом шпате и в слюде. Нитрат калия применяется при производстве пороха. Нитрат натрия для этого не подходит, потому что он легко впитывает влагу из воздуха, а сырой порох для стрельбы не годится. Нитрат калия, который почти не впитывает влагу, формируется в разлагающихся выделениях животных, поэтому до появления современной химии специальные государственные служащие регулярно осматривали конюшни и погреба в поисках драгоценных кри-

таллов, которые обеспечивали бы боеспособность армии.

Соединения натрия и калия в изобилии встречаются в морской воде и в живых тканях. Они необходимы для жизни. Человеческий организм на 0,35% состоит из калия и на 0,15% из натрия.

В морской воде по большей части растворен, конечно, хлорид натрия (попробуйте морскую воду на язык и сами все поймете). Он главная составная часть воды всех океанов. В морях, не имеющих стока, это содержание еще выше. В воде Мертвого моря, разделяющего Израиль и Иорданию, содержится до 20% хлорида натрия. По всему миру также разбросаны «соляные копи». Это места, где узкие морские заливы полностью пересохли, оставив после себя соль, постепенно погребенную под наносами почвы и камней. Встречаются соляные пласты толщиной около километра. Поскольку соль не только употребляется в пищу, но и используется во многих других областях человеческой деятельности, такие соляные месторождения имеют важное значение. (В прежние времена русское правительство ссылало политических заключенных на соляные шахты в Сибирь. А мы до сих пор используем поговорку «назад, в соляные копи», имея в виду возвращение к тяжелой и неприятной работе.)

Несмотря на широкое распространение соединений натрия и калия, сами элементы получить достаточно трудно. Они настолько активны, что их атомы почти невозможно отделить от других атомов в соединениях.

Только в 1807 году английский химик Дэви сумел это сделать. Он расплавлял подходящее соединение натрия или калия и пропускал через него электрический ток.

Под воздействием тока атом натрия (или калия) двигался в один конец сосуда, в то время как атом или атомы соединения в другой.

Таким путем натрий и калий стало возможно выделять из соединений. Они оказались серебристо-белыми металлами, настолько мягкими, что допускали разрезание тупым ножом. Оба плавятся при весьма низкой температуре, ниже температуры кипения воды. Натрий — при 98 °C, а калий — при 63 °C.

Оба элемента очень активны, особенно калий. Выделенные в качестве элементов, они сразу же пытаются обратно вступить в соединение. На открытом воздухе натрий и калий мгновенно соединяются с кислородом. Получившееся соединение уже не имеет металлического блеска, он пропадает в первую очередь. Металл *тускнеет*. Калий соединяется с кислородом настолько энергично, что маленький кусочек выделяет достаточно тепла, чтобы расплавиться и воспламениться.

Поэтому, если вы хотите сохранить натрий или калий на некоторое время, вам лучше поместить их в керосин.

Вы можете подумать, что с таким же успехом можно хранить натрий или калий и в воде. Ответ — *ни в коем случае!* Элементы настолько активны, что постараются соединиться с кислородом, взяв его из молекулы воды. В результате один из атомов водорода окажется свободным. Если небольшой кусочек натрия или калия бросить в воду, раздастся громкое шипение высвобождающегося водорода. По поверхности воды (потому что он легче) начнет бегать, постепенно расплавляясь, металлический шарик. Как правило, во время реакции выделяется столько тепла, что водород почти всегда загорается.

В учебных химических лабораториях, где часто используется натрий, студенты должны быть очень аккуратны, чтобы не устроить «натриевый пожар». Опасность такого пожара в том, что его очень трудно потушить. Первым естественным движением было бы попытаться залить огонь водой, но это только усугубит ситуацию.

Натрий используют в лабораториях, когда хотят избавиться от небольших количеств воды. Определенные химические реакции могут проходить с эфиром при условии, что в нем полностью отсутствует вода. Даже намек на воду может все испортить, однако любая емкость с эфиром содержит некоторое количество воды.

Чтобы убрать воду, кусочек натрия помещается в узкий цилиндр с отверстием на дне.

Затем в цилиндр вставляется поршень и, с помощью рычага, опускается вниз. Под давлением поршня мягкий натрий выходит из отверстия, как зубная паста из тюбика, и попадает в колбу с эфиром. Колба закупоривается, и натрий начинает работать. Он не вступает в реакцию с эфиром, но реагирует на присутствующую воду, вызывая появление мелких пузырьков водорода. Когда вся вода уходит, образование пузырьков прекращается, и эфир можно использовать по назначению.

Натрий также используется в *натриевых паросветных лампах*. В данном случае к неону, заполняющему лампу, добавляется немного натрия. При прохождении электричества через неон натрий испаряется и дает яркий желтый свет, который проникает сквозь туман значительно дальше, чем свет обычной лампы.

Многие соединения натрия хорошо нам знакомы и часто применяются. Одно из очень полезных, но не очень знакомых соединений называется *пе-*

роксид натрия. Оно образуется при горении натрия и состоит из двух атомов натрия и двух кислорода. Так же как озон и перекись водорода, оно может использоваться для отбеливания различных материалов, но у него есть более важное применение. Оно соединяется с углеродом и одним атомом кислорода из двуокиси углерода, при этом один атом кислорода высвобождается. Если выдыхаемый воздух пропустить через пероксид натрия, двуокись углерода в нем заменяется на кислород. Воздух снова становится пригодным для дыхания. Это свойство пероксида натрия оказалось весьма полезным для замкнутых пространств, где приток свежего воздуха затруднен, позволяя использовать один и тот же воздух несколько раз, например в подводных лодках.

Когда натрий освобождает водород из молекулы воды, он присоединяется к атому кислорода и к одному из атомов водорода. В результате получается соединение *гидроксид натрия*, или едкий натр, с молекулой, содержащей по одному атому натрия, кислорода и водорода.

Гидроксид натрия, как я говорил ранее, относится к классу соединений, называемых *основаниями*. Если молекулы кислот удерживают атомы водорода слабо и легко расстаются с ними, молекулы оснований, наоборот, их крепко удерживают. Поэтому свойства оснований являются противоположными свойствам кислот. Если основание добавить к кислоте, они нейтрализуют друг друга. Смесь получается гораздо слабее химически, чем исходные вещества поодиночке.

Гидроксид натрия является самым дешевым и доступным из сильных оснований и поэтому широко применяется в промышленности. Получают его путем пропускания электрического тока через вод-

ный раствор хлорида натрия. Атомы хлора высвобождаются и собираются на одном электроде. Атомы натрия не высвобождаются, а вступают в реакцию с водой, освобождая водород и формируя гидроксид натрия. Водород улетучивается, оставляя в растворе гидроксид натрия.

Гидроксид натрия расщепляет молекулы жиров и масел на *глицерин* и *жирные кислоты*. Атомы натрия соединяются с жирными кислотами, образуя *мыло*. В мирное время это самый важный продукт, получаемый в результате этого процесса. Во время войны на первое место выходит глицерин, потому что является составной частью взрывчатки. Во время Второй мировой войны население призывали не выбрасывать жир от бекона и остатки подливок, а собирать их и сдавать для дальнейшей переработки в глицерин.

Способность гидроксида натрия расщеплять молекулы жиров имеет и другие применения. Если в забитый отвердевшим жиром сток кухонной раковины налить гидроксид натрия, он растворит или хотя бы размягчит засор и позволит воде свободно протекать. Гидроксид натрия, используемый в этих целях, обычно называют его старым названием *щелок*. Еще иногда его называют *каустической содой*, где слово «каустическая», означающее «кусающая», напоминает об ощущениях, возникающих при попадании химиката на кожу. Большие объемы гидроксида натрия применяются для преобразования древесной пульпы в вискозу или бумагу. Если хлопковые волокна обработать гидроксидом натрия, они становятся прочнее, шелковистее и легче окрашиваются. Это было обнаружено английским ученым Джоном Мерсером в 1850 году, потому обработанный таким образом хлопок сейчас называют *мерсеризованным хлопком*.

Более слабым основанием является *карбонат натрия* с молекулой, состоящей из двух атомов натрия, одного углерода и трех кислорода.

Когда он соединяется с кислотами, атомы углерода и кислорода отрываются и выделяются в виде углекислого газа. Расхожее название карбоната натрия — просто *сода*. Это название родилось задолго до того, как люди узнали о составе этого вещества, да и об атомах вообще. Название же элемента произошло от слова «сода», потому что натрий содержался в соде (по-английски натрий называется «содиум». — *Примеч. пер.*).

Карбонат натрия часто используется как источник углекислого газа, например для огнетушителей. Также углекислый газ, полученный из карбоната натрия, можно растворить в воде и получить *содовую воду*. Если добавить ароматизаторы, то получится *содовая шипучка*. Названия, конечно, не совсем удачные, если учесть, что ни в содовой воде, ни в шипучке собственно соды-то и нет, но теперь уже поздно что-либо менять.

Для некоторых надобностей карбонат натрия оказывается слишком сильным основанием. В этих случаях применяется более слабый *бикарбонат натрия*, имеющий только один атом натрия в молекуле. (Второй атом натрия замещен атомом водорода.) Бикарбонат натрия при соединении с кислотами также выделяет углекислый газ, но это основание является настолько мягким, что его можно принимать внутрь для устранения изжоги. Вы наверняка слышали, как в разговоре это соединение называют *питьевой содой*.

В желудке бикарбонат натрия нейтрализует некоторые кислоты, которые там всегда имеются. Углекислый газ выходит из желудка в виде отрыжки и уносит с собой все прочие газы. Это

понижает давление, которое вызывало боль в желудке.

Бикарбонат натрия также применяется при выпечке. Когда его смешивают с какой-нибудь слабой кислотой (например, с кислым молоком) в бездрожжевом жидком тесте, он выделяет углекислый газ, который, как мы видели в главе 5, поднимает тесто и делает пирожные легкими и воздушными.

Сульфат натрия (с молекулой, состоящей из атома натрия, атома серы и четырех атомов кислорода плюс десять свободно присоединенных молекул воды) был впервые исследован немецким химиком Иоганном Рудольфом Глаубером в 1658 году и вследствие этого получил просторечное название *глауберова соль*. Если растворить глауберову соль в воде, температура раствора заметно снизится, хотя обычно добавление химикалий в воду, как правило, вызывает повышение температуры. Например, если быстро растворять в воде большие количества серной кислоты или гидроксида натрия, вода может нагреться до точки кипения. И химики, в принципе, ожидают такой реакции. Но когда вместо этого вода резко охладилась, ученые были порядком удивлены.

Соединения калия во многом ведут себя так же, как соединения натрия, но встречаются они значительно реже. Во-первых, калия в земной коре меньше, чем натрия, и, во-вторых, он встречается в таких соединениях, откуда его совсем не просто выделить.

Наиболее доступным источником различных соединений калия является Стассфуртское месторождение в Германии на месте высохшего морского залива.

Соли калия лучше растворяются в воде, чем хлорид натрия, и, поскольку древнее море высыхало по-

степенно, хлорид натрия уже выпадал в осадок, в то время как соли калия еще оставались в растворе. Соединения калия переходили в твердое состояние последними и потому откладывались поверх всех более ранних отложений. В результате они оказались в более чистом виде, и их легче добывать.

Более трети всего мирового количества калия добывается на этом месторождении.

До Первой мировой войны химическая промышленность Германии была самой развитой в мире и немецкие химики постоянно использовали соединения калия для тех или иных надобностей, благо в Германии они были достаточно дешевы. Но в других местах эти соединения не отличались ни дешевизной, ни доступностью. Однако химики в таких странах, как Великобритания и Соединенные Штаты, довольно долго слепо следовали немецкому примеру, используя соединения калия там, где с тем же успехом (правда, не всегда) и гораздо дешевле можно было использовать соединения натрия. Что ж, и на ученых находят затмения.

Как мы знаем, растениям требуется много калия, а потому возникло опасение, что при интенсивном земледелии почва останется без калия и потеряет плодородие. По этой причине многие удобрения содержат атомы калия. (Изначально соли калия из Стассфуртского месторождения отбрасывались прочь, поскольку шахтеры были заинтересованы в хлориде натрия, лежащем ниже. Только в 1865 году немцы осознали ценность как удобрения того, что они называли *Abraumsalze* или «негодной солью».)

Соединения калия в минеральном виде были открыты только в 1797 году. До этих пор их знали лишь как составную часть растений. Растения сжигали, а соединения калия, оставшиеся в золе, растворяли в воде. Затем воду выпаривали в больших

железных сосудах. На дне оставался *карбонат калия* с молекулой из двух атомов калия, одного углерода и трех кислорода. (В золе некоторых морских растений также обнаруживали карбонат калия и добывали тем же способом.)

В обычной речи карбонат калия называют поташ (непереводимая игра слов, дословно «зола, оставшаяся в горшке». — *Примеч. пер.*). Карбонат натрия, приготовленный таким же образом, называли *кальцированная сода*. *Гидроксид калия*, который по своим свойствам близко напоминает гидроксид натрия (он же — едкий натр), но дороже, называют *едкое кали*. Название произошло от слова «поташ», от которого, в свою очередь, пошло название элемента (по-английски — *potassium*). В арабском языке такую золу называли *al-quili* (по-русски — щелочь), отсюда едкий натр и едкое кали получили название *едкие щелочи*. Более того, натрий, калий и другие элементы из той же колонки периодической таблицы получили название *щелочные металлы*. (В Средние века на Арабском Востоке велись кое-какие исследования в области химии, с тех пор в современной химии сохранилось несколько арабских слов.)

Слово «щелочь» наверняка вам знакомо. При изготовлении мыла очень важно удалить лишний гидроксид натрия, в противном случае мыло будет жечь кожу. Когда рекламируют мыло на радио или по телевидению, всегда говорят, что мыло не содержит «жестких щелочей». Также часто говорят, что среда является *щелочной*, то есть основной — противоположной кислотной.

Кстати, в прежние времена мыла не знали. Греки и римляне обнаружили, что древесная зола обладает чистящими свойствами. Это происходило благодаря присутствию карбоната калия, который

расщеплял молекулы жира и масла так же, как это делают гидроксиды калия или натрия, но, конечно, не так хорошо.

Щелочные металлы, кроме натрия и калия, являются большой редкостью. Простейший из них элемент номер 3 — *литий*. В периодической таблице он находится как раз над натрием. Это самый легкий металл, вдвое легче воды. Это значит, что он легче многих пород дерева. Его вес меньше одной пятой от веса алюминия.

Однако от его легкости пользы немного. Он не только редко встречается, но и, как все щелочные металлы, очень активен. На воздухе он вступает в реакцию даже с азотом, чего другие щелочные металлы не делают. Небольшие его количества могут быть добавлены в определенные сплавы для прочности. *Нитрат лития* используют при изготовлении фейерверков для получения красного цвета.

Новые применения ему нашли лишь во второй половине XX века. Гидрид лития (с молекулой, состоящей из одного атома лития и одного водорода), возможно, используется в некоторых типах водородных бомб. Более мирное применение он нашел в качестве катализатора при производстве новых видов пластмасс.

Первым открыл литий Август Арфведсон в 1817 году путем того же электролитического процесса, который использовал Дэви при работе с натрием и калием. Название элемента происходит от греческого слова «камень», потому что он встречался только в мире минералов, в то время как натрий и калий (единственные известные на то время щелочные металлы) встречались и в растениях и в животных.

Тяжелые щелочные металлы *рубидий* (номер 37) и *цезий* (номер 55) были открыты при довольно ин-

тересных обстоятельствах. Вы, наверно, помните, что любой элемент при нагревании испускает свет и что, если этот свет пропустить через призму, он превратится в линии разных цветов, а у каждого элемента этот набор линий свой.

Натрий или соединение, содержащее натрий, например, дают при нагревании две яркие желтые линии. Такой метод анализа называется *спектроскопией*, и, как мы знаем, благодаря этому методу на Солнце был обнаружен гелий.

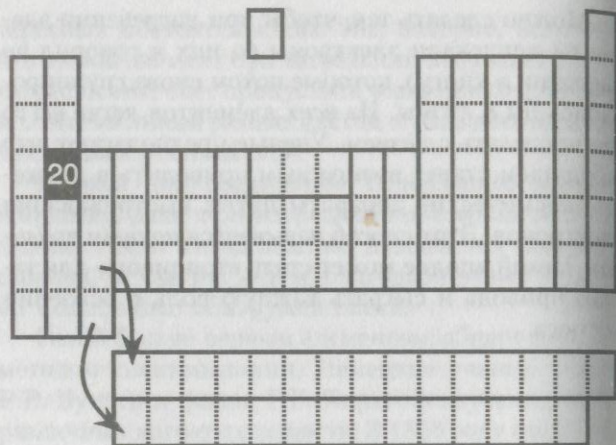
Гелий был не первым элементом, обнаруженным методом спектроскопии. Немецкие ученые химик Р.В. Бунзен и физик Г.Р. Кирхгоф изучали линии различных нагретых веществ. В 1860 году им встретилось вещество, которое давало голубые линии, нигде больше не повторявшиеся. Из химических свойств вещества они пришли к выводу, что оно должно содержать щелочной металл. Но это был совершенно неизвестный еще металл. Они назвали металл цезием от латинского слова «небесно-голубой». Цезий был первым элементом, открытым методом изучения испускаемого им света.

Вскоре Бунзен и Кирхгоф обнаружили вещество, содержащее щелочной металл с другим типом атома. На этот раз линии были красными, поэтому они назвали новый металл рубидием, от латинского слова «темно-красный».

Разумеется, прошло немало времени до того, как эти элементы были выделены в виде чистого металла. Цезий не удавалось выделить до 1882 года, а рубидий до 1910. Оба были выделены с помощью электролитического метода Дэви.

Цезий — самый мягкий из металлов (как воск) и самый активный. Он плавится уже при температуре в $28,5^{\circ}\text{C}$. Поскольку это всего лишь 83°F , вы можете увидеть жидкий цезий любым жарким летним днем.

Можно сделать так, чтобы при нагревании элементы испускали электроны (о них я говорил во введении в книгу), которые потом снова группировались бы в атомы. Из всех элементов легче всего это проделать с цезием. Ученые предполагают, что в будущем станет возможным приводить в движение космические аппараты путем выстреливания электронов. Этот способ называется *ионным приводом*. Цезий вполне может стать «топливом» для такого привода и сыграть важную роль в освоении космоса.



Глава 13

КАЛЬЦИЙ: КОСТЯНОЙ ЭЛЕМЕНТ

В земной коре есть минералы, которые не являются силикатами. Самый распространенный из них — *известняк*. Этот минерал известен под несколькими названиями, в зависимости от того, в какой форме он находится. Если это непрозрачные кристаллы, его называют *кальцитом*. Если кристаллы прозрачные — это *исландский шпат*. Очень красивой формой известняка является *мрамор*, который хорошо поддается полировке и из которого древние греки и римляне строили прекрасные храмы.

И наконец, крошащаяся матовая форма известняка называется *мел*, из которого состоят знаменитые меловые скалы Дувра.

Химическое название известняка — *карбонат кальция*, и, как следует из этого названия, здесь присутствует элемент, о котором я еще не расска-

зывал. Это элемент номер 20 — *кальций*, серебристо-белый металл, очень активный, но не так, как щелочные металлы, о которых я говорил в предыдущей главе. Он реагирует с водой, освобождая водород, но делает это не так бурно, как натрий или калий. Он быстро тускнеет на воздухе, соединяясь с кислородом и также с азотом. Кальций был впервые выделен Дэви в 1808 году все тем же электролитическим методом, который он применял для выделения натрия и калия.

Карбонат кальция (его молекула состоит из одного атома кальция, одного углерода и трех кислорода) вырабатывают многие живые организмы в качестве защитного вещества. Из карбоната кальция состоят яичная скорлупа, раковины устриц и других моллюсков. Когда инородное тело, вроде песчинки, попадает внутрь устрицы, та отгораживается от него с помощью карбоната кальция, формируя круглый объект, который мы называем *жемчужиной*. Жемчужины правильной формы могут стоить очень дорого, но это всего лишь карбонат кальция, как и яичная скорлупа.

Карбонат кальция вступает в соединение с кислотами и в процессе этого выделяет углекислоту. Происходит это гораздо медленнее, потому что карбонат кальция, в отличие от карбоната натрия, не растворяется в воде. (Вещества, растворимые в воде, участвуют во всех химических процессах гораздо активнее и полнее, чем нерастворимые.)

Если опустить жемчужину в кислый раствор (в уксус, например), она начнет медленно соединяться с кислотой и постепенно разрушится. Это, кстати, один из способов отличить натуральный жемчуг от имитации, но вы вряд ли захотите попробовать такое со своим жемчугом. И я не вправе вас осуждать за это.

Существует целый класс морских животных, называемых *кораллы*, чьи скелеты из карбоната кальция принимают причудливые и фантастические формы. Они живут в теплых и мелких морях, и большинство рифов в южной части Тихого океана не что иное, как скопления скелетов этих животных.

Скелеты микроскопических существ, которые называются *фораминиферами*, также состоят из карбоната кальция. Скелеты триллионов и триллионов этих животных, оседая на дне, образуют огромные горы. Знаменитые меловые скалы Дувра как раз и состоят из таких скелетов. Возможно, что все залежи карбоната кальция на Земле состоят из останков различных мелких животных. А это немало, потому что карбонат кальция составляет 3,5% земной коры.

Подземные залежи карбоната кальция подвергаются медленному воздействию осадков. Под воздействием дождевой воды, просачивающейся с поверхности (и несущей с собой угольную кислоту, захваченную из воздуха), молекулы карбоната кальция изменяются. Они соединяются с атомами, содержащимися в воде и в угольной кислоте, и превращаются в *бикарбонат кальция*, который гораздо лучше растворяется в воде.

Постепенно бикарбонат кальция вымывается водой, и под землей образуются огромные полости. Мамонтова пещера в Кентукки и Карлсбадские пещеры в Нью-Мексико являются как раз такими *известняковыми пещерами*. В них можно увидеть множество прекрасных и замысловатых природных скульптур, которые получаются из известняка там, где капает вода, содержащая бикарбонат кальция. По мере испарения воды бикарбонат кальция теряет и воду, и угольную кислоту, снова превращаясь в кар-

бонат кальция. Известняковые «сосульки», свисающие с потолка, называются *сталактитами*. А колонны, поднимающиеся от пола, — *сталагмитами*.

Если карбонат кальция сильно нагреть, от молекулы в виде углекислого газа отделятся один атом углерода и два кислорода. В результате останется *оксид кальция* с молекулой, состоящей из одного атома кальция и одного кислорода.

В просторечии это вещество называется *негашеная известь*. Слово «негашеная» в названии не означает, что вещество горит. В данном случае это значит, что вещество активно и готово к реакции, в отличие от «потухшего», имеется в виду его способность впитывать воду. Это происходит очень быстро с большим выделением тепла. Причем тепла настолько много, что оксид кальция, к которому добавлена вода, может поджечь дерево. (Мы уже знаем, как можно зажечь огонь, добавляя воду к натрию или калию. Вот еще один способ разжечь огонь с помощью воды.)

Люди, работавшие с оксидом кальция, были поражены его готовностью притягивать воду. Им казалось, что вещество ведет себя как человек, который не пил несколько дней, и они стали называть процесс добавления воды в известь «гашением», по аналогии с утолением (тушением) жажды. И такая привычка «очеловечивать» привела к появлению названия «негашеная известь».

Оксид кальция часто называют и просто *известь*. Название кальций произошло от латинского слова *calx*, то есть известь.

Оксид кальция — одно из тех веществ, которые в прежние времена химии называли *землями*. Это высокоплавкие оксиды. Другие примеры, которые я приводил, — это оксид алюминия, оксид железа и диоксид кремния. Когда в оксид кальция добавля-

ется вода, образуется *гидроксид кальция* или *гашеная известь* (известь, которая больше не хочет пить). Гидроксид кальция является основанием. Оксид кальция из-за того, что при соединении с водой образует основание, называется *щелочной землей*. (Вспомните, в 12-й главе я говорил, что слова «щелочь» и «основание» означают противоположность слову «кислота».) По этой причине кальций и схожие с ним элементы называются *щелочно-земельными металлами*.

Оксид кальция плавится при температуре в 2500 °С. Если оксид кальция поместить в огонь, он не расплавится (если только огонь не очень жаркий), а придаст пламени яркий белый цвет. Это свойство иногда (до изобретения электрического освещения) использовали для подсветки театральной сцены. Такие светильники устанавливали по переднему краю сцены и закрывали специальным щитком — рампой. Отсюда пошло выражение «огни рампы».

В некотором отношении гидроксид кальция является более сильным основанием, чем гидроксиды натрия или калия. Унция (около 30 г) гидроксида кальция может нейтрализовать на 10% больше кислоты, чем унция гидроксида натрия, и на 50% больше, чем унция гидроксида калия. Здесь опять имеет значение растворимость.

Известно, что многие вещества растворяются в воде. Растворяется соль, которую вы добавляете в суп. То же самое делает сахар в вашем кофе. А такие вещества, как песок, стекло или карбонат кальция, в воде не растворяются.

Гидроксид натрия и гидроксид калия растворяются очень хорошо. В литре воды легко растворяется более 500 г гидроксида натрия и не менее килограмма гидроксида калия. Полученный раствор называют *раствором сильного основания*.

Гидроксид кальция растворяется очень слабо. В литре воды может раствориться не более 0,075 г гидроксида кальция. Поэтому раствор гидроксида кальция (еще называемый *известковой водой*) является всего лишь *довольно сильным основанием*. Гидроксид кальция — сам по себе сильное основание, но в растворе его недостаточно.

Углекислый газ в известковой воде будет соединяться даже с небольшим количеством гидроксида кальция, образуя при этом карбонат кальция. Карбонат кальция растворяется еще меньше, чем гидроксид кальция. Как только он появляется под воздействием углекислого газа, он тут же уходит из раствора (то есть *осаждается*) в виде белого порошка. Если опустить в известковую воду соломинку и подуть в нее, жидкость сразу же станет молочно-белой от осажденного карбоната кальция.

Этот нехитрый опыт демонстрирует наличие углекислого газа в выдыхаемом воздухе, а то, что происходит между углекислым газом и гидроксидом кальция, занимает не последнее место в нашей повседневной жизни.

Побелка, например, представляет собой порошок гидроксида кальция, который подмешивают в воду. Часть его растворяется, но большая часть плавает в толще воды в виде *суспензии*. Когда побелка наносится на забор или другую деревянную поверхность, тонкий слой гидроксида кальция быстро реагирует с углекислым газом из воздуха и превращается в карбонат кальция.

Карбонат кальция прочно прилипает к дереву, и, поскольку он не растворяется водой, дождь не может его смыть.

Если смешать в правильных пропорциях гидроксид кальция с песком, получится *строительный раствор*. Строительный раствор кладется между

кирпичами при строительстве для прочности. И снова при контакте с воздухом гидроксид кальция превращается в карбонат кальция. Таким образом, раствор затвердевает, или *становится*, прочно скрепляя кирпичи между собой и превращая всю постройку в единое целое.

Иногда строителям требуется вещество, которое могло бы застыть и под водой. (Строительный раствор для этого не годится, поскольку, чтобы застыть, ему нужен воздух с углекислым газом.) Такое вещество называется *цемент*. Цемент — это смесь известняка и глины. При добавлении воды известняк и глина соединяются с водой и друг с другом. В результате получается твердый *алюмосиликат кальция*.

У цемента есть несколько применений, но главным является строительство больших дамб. И его способность застывать под водой здесь ценится выше всего. Чтобы увеличить прочность цемента, в него подмешивают песок и дробленые камни. И если полученная смесь, называемая *бетон*, заливается вокруг подобия скелета из железных прутьев, мы получаем *армированный бетон*, или *железобетон*, который настолько прочен, что может сдерживать реки.

Еще одно интересное соединение кальция фамиллярно называют *парижской штукатуркой* (оно же штукатурный гипс или алебастр). На более строгом языке это называется *полугидратом сульфата кальция* (с молекулой, состоящей из одного атома кальция, одного серы и четырех кислорода — это сульфат кальция. Плюс небольшое количество воды — одна молекула воды на каждые две сульфата кальция).

При добавлении к парижской штукатурке воды она превращается в *гипс*, или *дигидрат сульфата кальция*, который является комбинацией двух мо-

лекул воды с одной молекулой сульфата кальция. Парижская штукатурка представляет собой сухой рыхлый порошок. Когда он превращается в гипс, он застывает и становится прочной, твердой *отливкой*. Гипс используется для фиксирования сломанных конечностей, чтобы они были неподвижны, пока кости не срастутся.

Кстати, гипс часто встречается в виде минерала. Иногда его можно обнаружить в белых массах, известных как *алебастр*. Вам, должно быть, он больше знаком как разновидность мела, которым пишут на классной доске.

Другое распространенное соединение кальция — *хлорид кальция* (с молекулой, состоящей из одного атома кальция и двух хлора). Он впитывает влагу из воздуха и поэтому иногда разбрасывается на пыльных дорогах. Даже в сухую погоду он впитывает достаточно влаги, чтобы поверхность дороги оставалась влажной. Если дорога будет совсем сухой, то проезжающие автомобили будут поднимать клубы пыли, что создает неудобства для водителей, да и просто опасно для здоровья.

Ряд соединений, о которых я рассказывал ранее, имеют в своих молекулах атомы кальция.

Отбеливатель, например, является *гипохлоридом кальция*. Флуорит, флюс, чьи свойства дал элементу фтор, является *фторидом кальция*. Обычное стекло содержит *силикат кальция* наряду с силикатом натрия. Сам по себе силикат натрия иногда называют *жидким стеклом*, потому что он хорошо растворяется в воде, в то время как смесь силикатов кальция и натрия, из которых состоит стекло, нет. (Стекло делается путем нагревания песка, соды и известняка до температуры в 1300 °C, чтобы они сплавились вместе. Песок дает силикат, сода — натрий, а известняк — кальций.)

кирпичами при строительстве для прочности. И снова при контакте с воздухом гидроксид кальция превращается в карбонат кальция. Таким образом, раствор затвердевает, или *становится*, прочно скрепляя кирпичи между собой и превращая всю постройку в единое целое.

Иногда строителям требуется вещество, которое могло бы застыть и под водой. (Строительный раствор для этого не годится, поскольку, чтобы застыть, ему нужен воздух с углекислым газом.) Такое вещество называется *цемент*. Цемент — это смесь известняка и глины. При добавлении воды известняк и глина соединяются с водой и друг с другом. В результате получается твердый *алюмосиликат кальция*.

У цемента есть несколько применений, но главным является строительство больших дамб. И его способность застывать под водой здесь ценится превыше всего. Чтобы увеличить прочность цемента, в него подмешивают песок и дробленые камни. И если полученная смесь, называемая *бетон*, заливается вокруг подобия скелета из железных прутьев, мы получаем *армированный бетон*, или *железобетон*, который настолько прочен, что может сдерживать реки.

Еще одно интересное соединение кальция фамиллярно называют *парижской штукатуркой* (оно же штукатурный гипс или алебастр). На более строгом языке это называется *полугидратом сульфата кальция* (с молекулой, состоящей из одного атома кальция, одного серы и четырех кислорода — это сульфат кальция. Плюс небольшое количество воды — одна молекула воды на каждые две сульфата кальция).

При добавлении к парижской штукатурке воды она превращается в *гипс*, или *дигидрат сульфата кальция*, который является комбинацией двух мо-

лекул воды с одной молекулой сульфата кальция. Парижская штукатурка представляет собой сухой рыхлый порошок. Когда он превращается в гипс, он застывает и становится прочной, твердой *отливкой*. Гипс используется для фиксирования сломанных конечностей, чтобы они были неподвижны, пока кости не срастутся.

Кстати, гипс часто встречается в виде минерала. Иногда его можно обнаружить в белых массах, известных как *алебастр*. Вам, должно быть, он больше знаком как разновидность мела, которым пишут на классной доске.

Другое распространенное соединение кальция — *хлорид кальция* (с молекулой, состоящей из одного атома кальция и двух хлора). Он впитывает влагу из воздуха и поэтому иногда разбрасывается на пыльных дорогах. Даже в сухую погоду он впитывает достаточно влаги, чтобы поверхность дороги оставалась влажной. Если дорога будет совсем сухой, то проезжающие автомобили будут поднимать клубы пыли, что создает неудобства для водителей, да и просто опасно для здоровья.

Ряд соединений, о которых я рассказывал ранее, имеют в своих молекулах атомы кальция.

Отбеливатель, например, является *гипохлоридом кальция*. Флуорит, флюс, чьи свойства дал элементу фтор, является *фторидом кальция*. Обычное стекло содержит *силикат кальция* наряду с силикатом натрия. Сам по себе силикат натрия иногда называют *жидким стеклом*, потому что он хорошо растворяется в воде, в то время как смесь силикатов кальция и натрия, из которых состоит стекло, нет. (Стекло делается путем нагревания песка, соды и известняка до температуры в 1300 °C, чтобы они сплывались вместе. Песок дает силикат, сода — натрий, а известняк — кальций.)

Когда сода заменяется поташем, получившееся *известковое стекло* гораздо тверже и жаропрочнее, чем обычное *натриево-силикатное стекло*.

Обычное стекло не обладает совершенно гладкой поверхностью, а имеет небольшие волны и гребни. Если смотреть через такое стекло, предметы искажаются. Если же поверхность отшлифована и сделана ровной, такое *листовое* (или *зеркальное*) *стекло* предметы не искажает.

Если два слоя стекла прокладываются листом тонкого прозрачного пластика, стекло становится небьющимся. Конечно, стекло может разбиться, но осколки никуда не разлетятся. Они останутся на месте, приклеенные к пластику. Такое безопасное стекло применяется, например, в автомобилях, чтобы избежать ужасных ранений, которые могут причинить разлетающиеся при аварии осколки.

Тонкий слой стекла на поверхности глины, кирпича или другого тугоплавкого материала называется *глазурью*. К глазури можно добавить определенные вещества, чтобы сделать ее белой или полупрозрачной. Такая непрозрачная глазурь называется *эмалью*. Большая часть оборудования современной кухни сделана из металла, покрытого эмалью. Металл дает твердость, а эмаль, создавая защиту от воздействия воздуха или воды, в то же время приятна на вид.

Стекло приобретает собственные декоративные качества, если в него добавить различные химикаты для придания цвета. Маленькие кусочки разноцветного *окрашенного стекла* могут стать основой для самостоятельных произведений искусства.

Соединения кальция необходимы для жизни. Многие удобрения являются соединениями кальция. Например, суперфосфат, о котором я расска-

зывал в 9-й главе, состоит из *фосфата кальция* и *сульфата кальция*.

Смесь *нитрата кальция* и оксида кальция является другим ценным удобрением.

Самое главное, что из кальция состоят кости. Я уже рассказывал ранее, что фосфат кальция является основной составной частью костей. На самом деле они состоят из смеси фосфата кальция с меньшим количеством карбоната кальция. Скелет среднего взрослого мужчины содержит более килограмма кальция и только около 500 г фосфора. Фосфор необходим и для мягких тканей, кальций же находится только в костях. Поэтому кальций имеет полное право называться «костяным элементом».

Из всего вышесказанного можно заключить, что кальций полезен во всех отношениях и не имеет недостатков. Однако это не совсем так. Вода, вытекающая из вашего крана, может быть хорошего качества и давать обильную мыльную пену. Такая вода содержит очень мало твердых примесей, растворенных в ней. Это вода из горных водоемов, обычно пополняемых дождями. Такая вода называется *мягкой*. Среди городов, имеющих счастливую возможность снабжать свое население мягкой водой, можно назвать Бостон и Нью-Йорк.

Вода из озер и рек прежде, чем войти в наш дом, как правило, имела контакт с почвой. Часто это приводит к растворению в ней небольшого количества соединений кальция. Когда мыло попадает в такую воду, его молекулы вступают в химический процесс с соединениями кальция и образуют так называемое *кальциевое мыло*. Кальциевое мыло не мылится. Оно липкое и почти не растворяется. Оно оседает на одежде и на стенках раковины и очень трудно удаляется. Вместо того чтобы отстираться, вещи выглядят еще грязнее. «Кольцо» по краю ванны после купания

в ней чаще всего оставляет кальциевое мыло, а не грязь.

Такая вода называется *жесткой*.

К счастью, жесткую воду можно смягчить. Если присутствующее в ней соединение кальция — бикарбонат кальция, то достаточно ее вскипятить. Растворимый бикарбонат кальция превращается в нерастворимый карбонат кальция и выпадает в осадок. Только растворенные соединения кальция доставляют неприятности. После удаления растворенного карбоната кальция ничто не мешает мылу мылиться. Воду, которую можно смягчить кипячением, называют *временно жесткой*.

А что, если в воде находятся сульфат кальция или хлорид кальция? Кипячение на них не действует. Воду можно кипятить до бесконечности, а она все равно останется жесткой. Это *постоянно жесткая* вода.

Если в такую воду добавить карбонат натрия, он соединится с сульфатом кальция или хлоридом кальция и сформирует карбонат кальция. Карбонат кальция оседает и легко удаляется. В воде останутся только сульфат натрия или хлорид натрия, которые совершенно не мешают мылу. Карбонат натрия смягчает воду и по этой причине часто называется *стиральной содой*. (Другие вещества, такие как фосфат натрия или аммиак, также могут добавляться в жесткую воду для удаления кальция и смягчения воды.) Смягчить воду можно также, пропустив ее через специальную глину, называемую *цеолитом*. Атомы кальция при этом соединяются с цеолитом, а безопасные атомы натрия занимают их место в растворе. Кроме того, химики создали комплексные органические молекулы, называемые *ионообменными полимерами*, которые даже эффективнее цеолита. Можно создать ионообменные полимеры, выво-

дящие почти все вещества, растворенные в воде, включая хлорид натрия. Таким путем можно сделать морскую воду пригодной для питья. Можете представить, насколько необходимы такие ионообменные полимеры на борту спасательного плота, плывущего со своими пассажирами по пустынной глади океана в ожидании помощи.

Обойти проблему жесткой воды можно другим способом: путем создания соединений, действующих как мыло, но не образующих нерастворимых соединений с кальцием. Множество таких *детергентов* (моющих средств) появилось в продаже за последнее время, и теперь жесткая вода не создает столько проблем для домохозяек.

количество магния при попадании в цель. Температуры горения магния достаточно, чтобы быстро поджечь все, что может гореть в здании. Потушить магний очень трудно. Он настолько активен, что соединяется с азотом и даже способен извлечь кислород из углекислоты или воды. Ни одно из этих обычно инертных веществ не в состоянии потушить горящий магний. Сделать это может только песок. Поэтому во время Второй мировой войны людям приходилось держать наготове ведра с песком на случай авианалетов.

Наиболее полезным качеством магния в конструктивном смысле является его легкость. Он гораздо легче, чем даже алюминий. Алюминиевый кубик со стороной в 2,5 см весит около 70 г. Такой же кубик магния весит меньше 30 г. Поэтому магний, как и алюминий, используется в самолетостроении и в других областях, где легкость важнее прочности. Обычно он используется в виде сплавов с алюминием. Это *дау-металл*, состоящий на 90% из магния и на 10% из алюминия, и *магналий*, состоящий на 30% из магния и на 70% из алюминия.

Применение легких сплавов в авиации во время Второй мировой войны было настолько широким, что мировое производство магния увеличилось в десять раз, с 20 до 200 тысяч тонн в год.

Магний — достаточно распространенный элемент земной коры, его в ней 2,5% и еще больше, если копнуть глубже.

Как я уже говорил, огромные гранитные плиты представляют собой смесь кремнезема и силикатов алюминия. Под этими плитами (и под дном океана) находится *базальт*, представляющий собой *силикат магния*. Континенты составляют так называемый *сиальный слой* (аббревиатура от «*силикон*» и «*алюминий*»), ниже его располагается слой *сима*

(аббревиатура от «*силикон*» и «*магний*»). В самой земной коре карбонат магния в соединении с карбонатом кальция составляет все горные цепи. Это соединение называется *доломитом*.

В составе всей Земли, не только коры, магния больше, чем алюминия. Магний составляет 8,5% всей массы Земли. Некоторые геологи считают, что процент может доходить до 17 и что единственным более распространенным металлом является только железо.

Общеизвестными разновидностями силиката магния являются асбест и тальк. *Асбест* — это минерал, который может быть разделен на нити, спряден и соткан в довольно грубую ткань. Занавеси и предметы одежды, сделанные из такой ткани, не горят и некоторое время могут противостоять высоким (или низким) температурам. Трубы, по которым проходит пар или горячая вода, часто оборачивают асбестом, а все виды огнеупорных покрытий, плиток и изоляции делают только из асбеста. *Тальк* — мягкое, шелковистое на ощупь вещество, которое в порошкообразном виде широко используется в повседневной жизни. Крупные массивы талька называются *аргиллитом*.

Другой формой силиката магния является *морская пенка*, легкое пористое вещество, используемое для изготовления курительных трубок. В процессе курения поры заполняются табачными смолами, и вся трубка приобретает богатый, сочный цвет, который весьма ценится среди знатоков.

Все же человечество в наши дни добывает магний не из почвы. Одно из твердых веществ, растворенных в морской воде, — *хлорид магния*. В морской воде хлорида магния в пять раз меньше, чем хлорида натрия, и все же в кубическом километре морской воды содержится 15 миллионов тонн хлорида

магния. И поскольку в мировом океане имеется 250 миллионов кубических километров воды, без магния мы не останемся, если сможем выделить его из морской воды. А мы это можем и делаем. Магний — единственный из металлов, который экономически выгодно добывать из морской воды. Из других элементов, кроме него, из морской воды добывается только бром.

Иногда хлорид магния в виде примеси оказывается в обычной соли. Употребление его в пищу не оказывает никакого воздействия, однако может возникнуть проблема иного рода. Хлорид магния, так же как и хлорид кальция, притягивает влагу из воздуха. И когда он присутствует в соли, он собирает достаточно воды, чтобы сделать соль влажной (особенно в дождливую погоду). Соль тогда становится комковатой и плохо высыпается из солонки. Это, конечно, пустяк, но способный вывести домохозяйку из себя. Многие марки соли, имеющиеся сейчас в продаже, специально обрабатываются для предотвращения комкования. Хлорид магния также обнаруживается в соединении с хлоридом калия в Стассфуртских залежах. Такое соединение называют *карналлитом*.

Общепотребительное название оксида магния — *магнезия*. Название произошло от местности в Греции, которая дала название магнитам и магнетизму. Название элемента магния произошло от слова «магнезия». Оксид магния — тугоплавкое вещество и плавится при очень высокой температуре, более высокой, чем также тугоплавкий оксид кальция, поэтому оба вещества часто используются для футеровки печей. Смесь оксида магния и хлорида натрия после вымачивания застывает через несколько часов в твердую массу, которая называется *магнезиевым цементом*.

Когда оксид магния растворяется в воде, он становится *гидроксидом магния*, который является основанием и меньше растворяется в воде, чем гидроксид кальция. Если гидроксид магния смешать с водой, образуется кремово-белая суспензия, которая называется *магнезиевое молоко*. Магнезиевое молоко иногда используется в качестве антацидного и слабительного средства. Два других соединения магния, которые также используются в качестве слабительного, — *цитрат магния* и *сульфат магния*.

Вещество, состоящее из одной молекулы сульфата магния, соединенной с семью молекулами воды, широко известно как *соль Эпсома*. Свое название оно получило из-за того, что впервые было выделено из воды, обнаруженной в источнике около небольшого городка Эпсом на юго-востоке Англии в 1695 году.

Так же как и соединения кальция, соединения магния делают воду жесткой (кстати, как и соединения железа). Те же способы смягчения воды путем удаления соединений кальция действуют и в случаях с магнием и железом.

Магний — еще один жизненно необходимый элемент. В человеческом организме, в основном в костях, находится до 20 г магния.

Напоследок я оставил, пожалуй, самое важное, что нужно знать о магнии. Все зеленые растения содержат вещество *хлорофилл*.

Именно хлорофилл улавливает солнечную энергию, что позволяет растениям строить все свои ткани из простой воды, углекислоты и минералов. Ткани растений позволяют жить всем животным. Это значит, что вся растительная и животная жизнь (и большинство микроскопических форм жизни) зависит от хлорофилла. А каждая молекула хлорофилла содержит атом магния, без которого хлоро-

филл теряет способность улавливать солнечную энергию, что делает невозможной всю растительную и животную жизнь.

Два щелочно-земельных металла, находящиеся в периодической таблице ниже кальция, не так сильно распространены, как кальций или магний, но все же не являются редкими.

Элемент номер 38 — *стронций* — называется так потому, что порода, его содержащая, была найдена (в 1790 году) в шахте недалеко от деревни Стронтиан в Шотландии.

Элемент номер 56 — *барий*. Название произошло от старого названия распространенного минерала, содержащего атом бария. Минерал назывался *баритом* от греческого слова, означавшего «тяжелый». Барит, как минерал, обладает большим весом, он вдвое тяжелее гранита, сейчас его обычно называют *тяжелым шпатом*.

И стронций, и барий были выделены Дэви в 1808 году. Оба металла по внешнему виду и свойствам напоминают кальций, но более активны. Порошок бария вспыхивает на воздухе. Барий самый активный из щелочно-земельных металлов и очень похож на щелочные металлы.

Барий обладает сильной способностью поглощать и соединяться с кислородом и азотом, впрочем, как и другие активные металлы, например магний и цезий. Поэтому в процессе производства радиоламп в них помещают небольшую гранулу, содержащую три этих металла. Когда вакуумным насосом из лампы откачивается воздух, все равно какие-то следы его остаются. Как ни ничтожны эти следы, они мешают работе лампы. Но как только под действием электрического тока гранула из бария, цезия и магния начинает нагреваться, она испаряется и соединяется с кислородом и азотом, ос-

тавившимися в лампе. Затем получившиеся соединения и смесь металлов по мере охлаждения оседают на внутренней поверхности лампы в виде светлого зеркального налета. Вы наверняка обратили внимание на этот зеркальный налет, если когда-нибудь видели радиолампу.

Соединения стронция и бария используются в фейерверках и в сигнальных ракетах. *Нитрат стронция* горит ярким красным пламенем, *нитрат бария* — ярко-зеленым. Гидроксид стронция соединяется с сахаром, формируя *сахарат стронция*. Его можно использовать для отделения сахара от мелассы (патока кормовая, отход свеклосахарного производства). Как только сахарат стронция сформируется, стронций легко удаляется.

Гидроксид бария — одно из самых сильных оснований среди щелочно-земельных гидроксидов. В ряде случаев его использование предпочтительнее, чем использование гидроксидов натрия или калия. Последние поглощают углекислоту из воздуха (если не приняты специальные меры предосторожности). Получившиеся в результате карбонаты натрия и калия нарушают чистоту гидроксидов. Гидроксид бария также поглощает углекислоту, но получившийся карбонат бария, в отличие от других щелочных карбонатов, не растворяется в воде. В виде белого порошка он выпадает в осадок. В результате гидроксид бария получается несколько слабее, но зато чище.

Соединения бария очень ядовиты (*карбонат бария*, например, часто используется как крысиная отравка), и тем не менее определенные соединения бария по предписанию врачей в больших количествах принимаются внутрь.

Это может звучать странно, но на то есть серьезная причина.

Химическое название барита — *сульфат бария*. (Его молекула содержит по одному атому бария и серы и четыре атома кислорода.) Сульфат бария очень плохо растворяется, даже хуже, чем карбонат кальция. Соединения бария не могут причинить вреда до тех пор, пока они не в растворе, потому что только растворенные вещества могут проникнуть в организм через кишечник. А поскольку сульфат бария нерастворим, он свободно проходит через кишечник, не причиняя никакого вреда.

Тогда зачем же врачи заставляют вас глотать его? Ответ очень прост. Рентгеновские лучи проходят сквозь простые атомы, с небольшими номерами, но задерживаются атомами больших номеров. Кости в основном состоят из кальция (элемент номер 20) и фосфора (номер 15). Мягкие ткани организма состоят в основном из водорода (номер 1), углерода (номер 6), азота (номер 7) и кислорода (номер 8). Поэтому рентгеновские лучи легче проходят через кожу, мышцы и кровь, чем через кости и зубы. Кости и зубы выглядят белыми на черном рентгеновском снимке. Врач может определить, где и как кость сломана или расщеплена. Зубной врач может увидеть, есть ли скрытые полости в зубах.

Но иногда врачу необходимо посмотреть кишечник пациента. При обычных условиях рентгеновские лучи такой возможности предоставить не могут, и было бы неразумно разрезать пациента только затем, чтобы посмотреть. Поэтому врач кормит пациента «бариевой взвесью», смесью сульфата бария и порошкового молока или чего-нибудь еще (чтобы сделать сульфат бария немного вкуснее). Как только это сделано, сульфат бария начинает неспешное путешествие по желудку и кишечнику, наполняя их элементом, чей номер 56.

Сульфат бария задерживает рентгеновские лучи даже лучше, чем кости, создавая на снимке четкий белый силуэт. Форма этого силуэта, расстояние, на которое продвинулась смесь, и другие признаки оказывают врачам неоценимую помощь в правильной постановке диагноза.

С давних времен известен драгоценный камень *берилл*. Его непрозрачные, синие и зеленые разновидности считаются полудрагоценными. Прозрачные разновидности считаются драгоценными. *Аквамарин* — прозрачная синяя разновидность, *изумруд* — зеленая. (Изумруд считается самым дорогим из драгоценных камней.)

В 1798 году французский ученый Никола-Луи Вокелен выделил из берилла соединение, которое он назвал *глюциной*, от греческого слова «сладкий». (Он назвал его так потому, что некоторые соединения, которые он получил, используя глюцину, были сладкими на вкус.) В 1828 году два химика Фридрих Веллер и Антуан Бюсси выделили новый элемент, который присутствовал и в берилле, и в глюцине. Элемент обычно называют бериллий, а берилл теперь называется *алюмосиликатом бериллия*. Долгое время элемент назывался *глюцинием* от глюцины, которая теперь известна как *оксид бериллия*.

Бериллий — элемент номер 4. Так же как магний и алюминий, после соприкосновения с воздухом его покрывает тонкий слой окисла. Он наименее активный из щелочно-земельных металлов, но наиболее прочный. Из всех элементов этой группы он больше всего напоминает алюминий. Так иногда случается, что первый элемент в группе похож на элемент, расположенный в периодической таблице по диагонали направо вниз от него. Вот еще пример: кислород, который по ряду признаков больше напоминает хлор, чем сера.

Рентгеновские лучи легко проходят сквозь бериллий из-за его небольшого атомного номера. Поэтому он используется в качестве «окна» в рентгеновских трубках. Лучи проходят через небольшой участок бериллия и выходят наружу направленным пучком.

Прежде казалось, что бериллий станет широко использоваться в домах и офисах, но вышло наоборот. И вот почему.

Цилиндрические стеклянные лампы, содержащие небольшое количество ртути, при пропускании электрического тока испускают свет и некоторые другие виды излучений. Некоторые из этих излучений невидимы, но несут большое количество энергии, например *ультрафиолетовое излучение*. Некоторые минералы поглощают ультрафиолетовое излучение и возвращают энергию назад в виде света разных цветов. Это очень красивое зрелище. Способность светиться под воздействием ультрафиолетового излучения называется *флуоресценцией* (или люминесценцией).

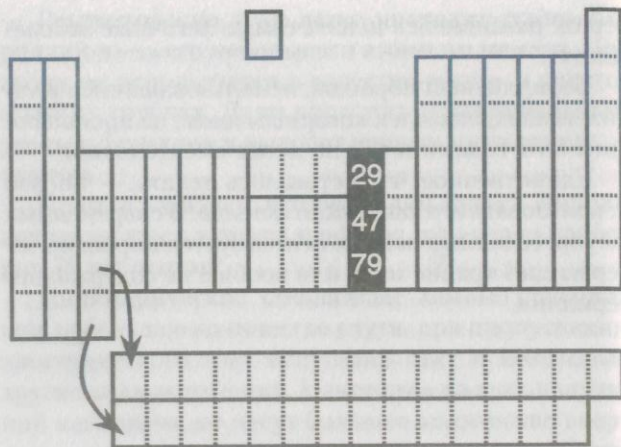
Обычные ртутные лампы давали жуткий зеленый свет, при котором ни читать, ни жить было практически невозможно. Но если внутреннюю поверхность лампы покрыть порошком, содержащим соединения бериллия, то под действием ультрафиолетового излучения он дает яркий белый свет. В результате *флуоресцентные лампы* стали широко использоваться на кухнях, заводах и в офисах. Такие лампы были более подходящими, чем обычные лампы накаливания. Они давали больше света, выделяли меньше тепла и потребляли меньше электричества.

Затем начались проблемы. У людей, порезавшихся об осколки разбитых флуоресцентных ламп, оставались незаживающие раны, у вдохнувших по-

рошок развивались неизлечимые легочные заболевания.

Бериллиевый порошок, использовавшийся в таких лампах, оказался коварным ядом, не проявляющим себя годами и тем не менее смертельным.

Единственное, что оставалось делать, — так это использовать его как можно меньше. В современных флуоресцентных лампах используется порошок, содержащий крайне мало или вообще не содержащий бериллия.



Глава 15

МЕДЬ, СЕРЕБРО И ЗОЛОТО: ДЕНЕЖНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Сотни тысяч лет первобытные люди пользовались инструментами, сделанными из дерева, кости и камня. Эти материалы были легкодоступны. Различные металлы были бы, конечно, намного удобнее, но они не были столь же доступны. Металлы обычно находятся в соединениях. Отделить атомы металла от других атомов соединения совсем не так просто, как подобрать кусок камня и вытесать из него топор.

Металлы были открыты только шесть тысяч лет назад. И наверняка это открытие было случайным.

Чем активнее металл, тем больше вероятность, что он обнаружится только в виде соединений. Чем он активнее, тем сложнее его выделить из соединения. С другой стороны, инертный металл может

быть обнаружен в чистом виде — то есть металл как элемент сам по себе. А если инертный металл окажется в соединении, то его атомы достаточно легко отделяются.

Вот три достаточно инертных металла, химически похожих друг на друга. Это — *медь* (элемент номер 29), *серебро* (номер 47) и *золото* (номер 79). Медь (купрум) получила свое название от средиземноморского острова Кипр, где во времена греков и римлян были медные шахты. «Серебро» (silver) и «золото» (gold), так же как и «железо» (iron), — англосаксонские названия. Серебро, более инертное, чем медь, чаще встречается в чистом виде, но является более редким металлом. Золото самое инертное, но и самое редкое из всех трех. Иногда серебро и золото встречаются в виде природного сплава. Такой сплав называется *электрумом*.

Мы не знаем, какой из металлов был открыт первым. Образцы всех трех обнаружены в древнеегипетских и вавилонских археологических находках, датированных четвертым тысячелетием до н. э.

Что действительно могло случиться, так это то, что кто-то случайно развел костер на камне, в котором так же случайно оказались медь, серебро или золото в чистом виде или в соединении. (Медь, скорее всего, была в соединении.) Когда костер прогорел, а человек решил покопаться в золе, он заметил маленькие металлические шарики, которые выплавились из камня. (Если металлом была медь в виде соединения, горящий углерод из дров мог легко соединиться с прочими элементами, оставив медь в чистом виде. Как вы, наверно, помните, горящий углерод именно так воздействует на соединения железа.)

Наш первобытный предок вполне мог быть привлечен цветом и блеском металла. Все три металла

достаточно красивы. Медь — красно-коричневая, золото — желтое (это единственные окрашенные металлы), серебро — белое. И если человек был достаточно любопытен, чтобы постучать по металлу камнем, он был бы удивлен тем, что металл не раскалывается, как камень, и не расщепляется, как дерево или кость. Вместо этого он гнется и плющится. Ему можно придать любую форму.

Вне всякого сомнения, самым первым применением этих блестящих маленьких кусочков было украшение. С тех пор как человек (особенно женщины) стал ценить красоту, начались осознанные поиски металлов в любом виде. (Некоторые ученые считают, что открытие металла произошло на Синайском полуострове, где смыкаются Африка и Азия.)

Прошли века, и человек обнаружил, что медь можно сделать тверже, если добавить к ней некоторые другие металлы. Как это обнаружилось, мы не знаем. Вероятно, случайно. Каким-то образом он понял: если добавить к меди немного цинка, получится *латунь*, которая желтее, тверже и дешевле меди. А если добавить немного олова, получится *бронза*.

Самые ранние находки бронзовых предметов в египетских гробницах относятся к 3500 году до н. э. Более двух тысяч лет бронза была самым твердым металлом. Из нее делали доспехи и наконечники копий, ножи и топоры. Она намного превосходила камень по твердости и способности сохранять остроту лезвий.

Вплоть до появления железа ничего лучше бронзы придумано не было. Латунь впервые появилась во времена Римской империи.

Современный медный сплав содержит 2% бериллия. Он тверже любого другого медного сплава,

известного древним, и почти такой же твердый, как сталь (правда, далеко не такой дешевый). Кусок бериллиевой меди можно согнуть и разогнуть много больше раз, чем лучшую сталь, и он не сломается. Более того, бериллиевая медь не дает искр при соприкосновении с чем-либо твердым, поэтому инструменты, изготовленные из нее, особенно ценятся там, где в воздухе могут быть огнеопасные испарения.

Медь, серебро и золото настолько ценились людьми как украшение или материал для изготовления чего-нибудь полезного, что небольшое количество любого из трех металлов стоило столько же, сколько несколько коров и множество мешков зерна или вязанок дров. Стало удобно иметь эти металлы, поскольку они представляли большую ценность в малом объеме. Кусок золота, за который можно купить 10 коров, занимает гораздо меньше места, чем эти коровы, и к тому же не требует корма и ухода. Теперь, если вы захотели говядины, вам нужно было всего лишь совершить обмен. За всю свою историю человек добыл 50 000 тонн золота. Это не так уж и много, но и золото — один из самых редких элементов, за исключением совсем уж редких, о которых я расскажу в последней главе.

Медь, серебро и особенно золото превратились в *средство обмена*. Золото было редким, красивым, оно не тускнело, его можно было использовать в ювелирных изделиях. Имущество стало исчисляться в количестве золота. Около 600 года до н. э. в Малой Азии, в стране, которая называлась Лидия, начали использовать кусочки золота с государственной печатью и портретом правителя на них. Печать гарантировала чистоту золота и вес кусочка.

Люди стали предпочитать такие *монеты* обычным кускам металла сомнительного веса и чистоты.

Монеты до сих пор делают из сплавов меди, серебра и золота. (Чистые металлы оказались слишком мягкими, чтобы выдержать бесчисленные переходы из рук в руки.) Давайте для примера посмотрим на американские монеты. Пенни делается из разновидности бронзы: это 95% меди, 4% олова и 1% цинка. Пятицентовик также большей частью состоит из меди, но медным не выглядит. В нем 75% меди и 25% никеля. Никель придаст сплаву серый цвет, а монете ее просторечное название (никель. — *Примеч. пер.*). (В древней Бактрии, там, где сейчас Афганистан, существовали монеты, сделанные из сплава меди и никеля в почти тех же пропорциях.) Серебряные монеты, такие как дайм (10 центов. — *Примеч. пер.*), четверть доллара, полдоллара и доллар, на 90% состоят из серебра и на 10% из меди. Английские монеты, которые раньше были серебряными, сейчас делаются, так же как и американский пятицентовик, из меди и никеля. Золотые монеты состоят на 90% из золота и на 10% из меди. Вы, возможно, никогда не видели золотой монеты, потому что некоторое время назад золотые монеты были запрещены к хождению в Соединенных Штатах. На то были серьезные экономические причины, и теперь золотой запас Америки просто хранится в Форт-Нокс.

В наши дни у меди есть более важное применение, чем украшения или монеты. Электричество, чтобы приносить пользу, должно как-то передаваться из одного места в другое. Вещества, через которые электричество свободно проходит, называются *проводниками*. Прочие вещества — *непроводниками*.

Из элементов проводниками являются металлы, а неметаллы, соответственно, непроводниками. (Есть, конечно, исключения. Висмут хоть и металл,

но очень плохой проводник. Углерод — неметалл, но очень хороший проводник, по крайней мере в форме графита.)

Когда мы передаем электричество из одного места в другое, мы стремимся не потерять его по пути. Чем лучше проводник, тем меньше электричества мы теряем. Одним из способов определить, насколько хорош проводник, является измерение количества выделившегося тепла при пропускании через него определенного количества электричества. Тепло, возникающее вследствие *сопротивления проводника*, и есть потерянное электричество. Чем лучше проводник, тем ниже сопротивление, меньше выделение тепла, а следовательно, и потеря электричества.

(Некоторые электроприборы, напротив, созданы для превращения электричества в тепло. В них находятся специальные провода с высоким сопротивлением, которые раскаляются докрасна при пропускании через них электрического тока. Например, тостер.)

Теперь представьте, что у вас есть несколько проводов, сделанных из разных металлов. Все провода одинаковой толщины и длины, и вы пропускаете через них одно и то же количество электричества. Выяснится, что меньше всего тепла выделяет серебряный провод. Серебро — лучший из проводников, медь на втором месте.

Если бы металлам ставили оценки за их проводимость, то серебро получило бы 100 баллов, медь — 95, золото — 67, алюминий — 58 и железо — 16. Поскольку медь почти такой же хороший проводник, как и серебро, но заметно дешевле, из нее и делается большая часть электропроводки.

Более половины всей производимой меди в том или ином виде используется в электрооборудова-

нии. (Как я уже говорил, алюминий применяется для передачи электричества на большие расстояния, чтобы сэкономить медь.) Щелочные металлы хоть и являются по своим химическим свойствам самыми «металлическими», отнюдь не самые лучшие проводники. Лучший проводник из них, натрий, пользуясь приведенной выше системой оценок, получил бы только 35 баллов.

Во время Второй мировой войны запасы меди уменьшились настолько, что из государственного хранилища Форт-Нокс было изъято большое количество серебра для использования в качестве проводника в американской Национальной лаборатории Оук-Ридж. (После войны серебро вернули.) В 1943 году правительство попробовало даже выпустить пенни, не содержащие меди, но эксперимент провалился. Новые пенни образца 1943 года путали с даймами. Кроме того, в процессе обращения пенни становились серо-черного цвета и выглядели ужасно. Людям они не нравились, и в 1944 году, несмотря на нехватку меди, правительство вернулось к выпуску старого медного пенни.

Медь (как и кобальт) является необходимым микроэлементом для живых тканей. У таких животных, как крабы, лобстеры, улитки и кальмары, голубая кровь, действительно голубая. Их кровь содержит *гемоцианин*, который переносит кислород так же, как гемоглобин в нашей крови. Гемоцианин — вещество голубого цвета, и его молекулы содержат атомы меди.

Медь — наименее инертный металл из трех и поэтому наименее подходит для ювелирных украшений. На воздухе, соединяясь с кислородом, медь сначала покрывается коричневым налетом оксида, а затем более медленно она становится зеленой от соединений серы, находящихся в воздухе, и обра-

зует «основный сульфат». Около моря образуется «основный хлорид» (тоже зеленый) под действием хлорида натрия, содержащегося в водяной пыли.

Зеленый налет выглядит достаточно привлекательно, и это ценится. Самым наглядным примером служит статуя Свободы в нью-йоркской бухте, сделанная из меди и теперь имеющая сине-зеленую окраску. Сине-зеленый налет предохраняет медь от дальнейших изменений. (Иногда зеленый налет называют *патиной*.)

Распространенная разновидность медной руды *малахит* обладает тем же привлекательным цветом и используется для создания замечательных произведений искусства. Это и другие соединения меди много веков снабжали художников синей и зеленой красками.

Цвет таких соединений меди определяется, собственно, не самой медью. Например, *сульфат меди* (с молекулой, состоящей из одного атома меди, одного серы и четырех кислорода) белый. Однако если добавить воды, то каждая молекула сульфата меди присоединит к себе по пять молекул воды, правда весьма непрочно. Такая непрочно присоединенная вода называется *гидратационной водой* и может быть легко удалена при нагревании. *Гидратный сульфат меди* имеет глубокий синий цвет.

Многие соли, такие как сульфат меди, могут быть гидратизированы с изменением их свойств. Когда удаляется гидратационная вода, молекулы становятся *безводными*. Часто безводные соли не формируют кристаллы, тогда как гидратизированные соли, наоборот, создают красивые кристаллы. Так происходит с сульфатом меди. Поэтому гидратационная вода часто называется *кристаллизационной водой*.

Между прочим, сульфат меди используется для уничтожения микроскопических водорослей.

Внутренняя поверхность плавательных бассейнов обычно кажется голубой из-за налёта этого или похожего соединения меди. Оно также используется при опрыскивании деревьев и виноградной лозы для уничтожения грибка.

Серебро — очень красивый металл, из которого изготавливали предметы кухонной утвари, такие как блюда, тарелки и ножи. Сейчас, с появлением нержавеющей стали, серебро не так популярно, но у многих до сих пор сохранились разнообразные наборы серебряных вилок, ложек и ножей. Предметы делались или из серебряных слитков (которые в нашей стране являются сплавом, на 90% состоящим из серебра и на 10% из меди. В Англии, соответственно, 92,5% и 7,5%), или путем серебрения. В последнем случае дешёвый металл, вроде железа, покрывался слоем серебра способом электроосаждения или гальванизации.

Серебро легко тускнеет под воздействием серосодержащих соединений. Наша современная индустриальная цивилизация выделяет много дыма, в котором содержатся соединения серы. Они вступают в реакцию с серебром и формируют черно-коричневый налет *сульфида серебра*. Серебро также быстро тускнеет при соприкосновении с куриными яйцами, в которых много соединений серы.

Золото, самый инертный из трех элементов, лучше всего подходит для ювелирных изделий. На него не действуют ни кислород или соединения серы, ни обычные кислоты. Чистое золото слишком мягкое и в процессе носки украшений быстро истирается. Для придания твердости и долговечности в него добавляют некоторое количество меди.

Чистота золота измеряется в *каратах*. Абсолютно чистое золото — 24 карата. Английские золотые монеты (92% золота) оцениваются в 22 карата. Аме-

риканские монеты (90% золота) только в 21,6 карата. В ювелирных изделиях обычно используется 14-каратное золото, то есть 58% золота и 42% меди.

Ювелирные изделия можно удешевить, повысив в них содержание меди. Однако, если количество меди достигает определенного уровня, изделия начинают хоть и медленно, но зеленеть на воздухе. Отсюда появилась шутка о дешевых ювелирных изделиях, которые, будучи подаренными на Рождество, «к весне зеленеют».

На золото воздействует хлор. Средневековые алхимики ничего не знали о хлоре, но когда они смешивали азотную и соляную кислоты, то обнаружили, что такая смесь растворяет золото. Они назвали эту смесь *царской водкой*, потому что она растворяла «царя металлов». Это название до сих пор в ходу у химиков. Но не кислоты растворяют золото. При смешивании они реагируют друг с другом, высвобождая хлор. Смесь приобретает зеленый цвет, и вокруг ощущается запах хлора. Так вот собственно хлор и растворяет золото.

Поскольку серебро — достаточно инертный металл, оно легко выделяется из соединений. *Хлорид серебра*, одно из самых распространенных соединений, представляет собой белый порошок с молекулой, содержащей по одному атому серебра и хлора. Если выставить его на свет, соединение распадется. Энергии света для этого достаточно. Хлор медленно улетучится в виде газа, а серебро останется в виде очень мелкого порошка. Как и большинство металлов, в виде порошка серебро приобретает черный цвет.

Существует множество химических реагентов, которые разделяют серебро и хлор.

Если сначала подвергнуть хлорид серебра воздействию света, реагенты работают быстрее. Даже

если света настолько мало, что распад хлорида серебра не происходит, все равно соединение становится готовым к распаду.

Теперь представьте себе, что хлорид серебра (или похожее соединение серебра) размазан по листу бумаги, который затем помещается в светонепроницаемую коробку. Свет, отраженный от предмета, который может попасть в коробку только через очень маленькое отверстие или фокусирующую линзу, создает изображение предмета на листе бумаги. Свет воздействует на бумагу очень короткое время. Затем бумага (в темноте) вынимается и обрабатывается химикатом (*проявителем*), который разрушает хлорид серебра. Распадутся только те участки хлорида серебра, на которые воздействовал свет. Эти участки станут черными. Остальные участки останутся белыми.

Таким образом, белые участки изображения, отражающие достаточно света, на бумаге окажутся черными. Участки изображения, глубоко окрашенные или черные, отражают не так много света и получаются белыми. Человек с белым лицом, красными губами и черными волосами на бумаге получится с черным лицом, белыми губами и волосами. Так мы получили *фотонегатив*.

Если негатив был получен на чем-нибудь прозрачном, вроде стекла, через него можно пропустить свет на бумагу, покрытую хлоридом серебра. Произойдет обратный процесс. Свет легко пройдет через белые губы и волосы на негативе, и на бумаге они окажутся черными. Черное лицо не пропустит свет, поэтому на бумаге оно окажется белым. Так получается *фотопозитив*, или просто *фотография*.

Если такой негатив или позитив выставить на свет, светлые участки начнут темнеть. Поэтому, перед тем как выставлять на свет, они должны быть

обработаны химикатом (называется *фиксажем*), который растворит весь хлорид серебра и оставит только черный налет порошкового серебра. Для этой цели используется *тиосульфат натрия* (его молекула состоит из двух атомов натрия, двух серы и трех кислорода).

Впервые фотографический процесс был разработан французом Л.Ж.М. Дагером в 1837 году, и поэтому самые первые фотографии назывались дагеротипами. С тех пор в фотографии произошли огромные изменения. Соединения серебра стали настолько чувствительными, что для получения изображения стало достаточно долей секунды воздействия света. (В прежние времена людям приходилось долго «позировать» фотографам. Теперь можно фотографировать и движущиеся объекты.) Вещество, называемое *нитроцеллюлозой*, получаемое из дерева, обработанного азотной кислотой, прозрачное и гибкое настолько, что может сворачиваться в длинные рулоны, используется как для негативов, так и для позитивов. Американец Джордж Истман впервые изготовил такую *пленку* в 1884 году. И поскольку на одном рулоне пленки можно получить тысячи негативов, стало возможно кино. Начиная с 1909 года нитроцеллюлозу постепенно заменил *ацетат целлюлозы* (также получаемый из древесины). Ацетат целлюлозы менее горюч и потому менее опасен. Около седьмой части всего производимого серебра сейчас используется в фотографии.

Соединение *йодид серебра* (его молекула состоит из одного атома серебра и одного йода) получило интересное современное применение.

В виде мелкого порошка им можно посыпать с самолета облака. Каждая частичка порошка действует в качестве центра, вокруг которого формируется дождевая капля. Если таким образом «засе-

ять» облако, может начаться ливень. Научное «заклинание дождя» — действенный способ борьбы с засухой.

Медь и серебро красивы, дороги, но и к тому же полезны. Нельзя говорить об электричестве без медных проводов и о фотографии без серебра.

Но есть ли польза от золота? Почти никакой. Только ювелирные изделия. Небольшие частички золота, добавленные в стекло, делают его ярко-красным или фиолетовым. Такое рубиновое стекло можно использовать в витражах. (Можно также использовать и медь. Стекло тогда получится синим или зеленым.)

Золото — самый ковкий металл. Это значит, что ударами молотка его можно превратить в тончайшие листы. (Серебро на втором месте.) *Сусальное золото* может быть толщиной в 0,0001 мм. Одно время такое золото широко применялось для золочения букв на обложках книг, а сейчас для надписей на дверях офисов. Такие буквы выглядят очень нарядно и не тускнеют со временем, а сусальное золото настолько тонкое, что стоит не очень дорого. И вот, собственно, все области применения золота. Как уже говорилось, в США для чеканки монет оно больше не используется.

Еще интересно, что золото тяжелое. Это одно из самых тяжелых веществ. Оно почти в три раза тяжелее стали.

Кубик со стороной в 2,5 см из железа или стали весит более 100 г. Такой же кубик меди весит 120 г, серебра более 150 г. А золотой кубик — 300 г!

Есть старая история о деревенских парнях, которые приехали в большой город и купили у местных жуликов «золотые кирпичи», которые на самом деле были обыкновенными, только покрашенными золотой краской. Чтобы так обмануться, надо вооб-

ще ничего не знать о золоте. Но вас-то теперь не проведешь, поскольку вы знаете, насколько золото тяжелое.

Представьте, что у вас в руках предмет размером с обычный кирпич $65 \times 120 \times 250$ мм. Его объем составит $1\,950\,000 \text{ мм}^3$. Такой кирпич будет весить чуть меньше 3 кг. Кирпич же из сплошного золота будет весить не меньше 20 кг. Поэтому, если жулик держит «золотой кирпич» одной рукой, вы, даже не глядя на него, поймете, что это не золото. (Такой золотой кирпич, если действительно золотой, сейчас стоит 20 000 долларов.)

что она так же дорога, как и золото, и было бы крайне жаль потерять хотя бы часть ее. Для плавки щелочных веществ платиновые тигли применять нельзя. Вместо этого можно использовать серебряные и даже железные тигли.

Редкость и инертность платины делают ее пригодной для ювелирных изделий. Ее часто используют как оправу для бриллиантов. Платина — один из металлов, который используется в сплаве с золотом для удаления его желтого цвета. Самый распространенный вид такого *белого золота* содержит около 10% никеля и совсем немного другого металла — цинка. Более дорогая разновидность, называемая *платиновое золото*, делается из трех частей золота и двух частей платины. Белое золото широко применяется в ювелирном искусстве.

Когда платина впервые была обнаружена в России, фальшивомонетчики стали делать из нее монеты, покрывать золотом и выдавать за настоящие. Позже, в 1830-х и 1840-х годах, Россия официально чеканила платиновые монеты. По мере роста цены платины и чеканка, и подделка прекратились.

В рудах, содержащих платину, находят обычно и другие металлы, в чем-то сходные с ней. Их пять, помимо платины, а вместе они называются *металлы платиновой группы*. Эти шесть металлов разделены на две группы по три, называемые *триадами*. В каждой триаде номера элементов идут подряд.

Первая триада состоит из *рутения* — номер 44, *родия* — номер 45 и *палладия* — номер 46.

Во вторую триаду входят *осмий* — номер 76, *иридий* — номер 77 и, конечно, платина — номер 78. Все, кроме палладия, дороже золота.

Если вы взглянете на периодическую таблицу в начале или в конце книги, вы увидите, что эти две триады элементов располагаются сразу под триадой,

о которой я уже рассказывал, — железо, кобальт и никель; номера 26, 27 и 28. Платиновые металлы не очень похожи на железо, кобальт и никель, но и не совсем другие. Элементы платиновой группы в небольших количествах находят в никелевых шахтах Канады.

На протяжении семидесяти лет после открытия платины только она и была известна. Затем в 1803—1805 годах были выделены четыре из пяти родственных платины. Англичанин У.Х. Волластон открыл палладий и родий. Родий получил свое название от греческого слова «розовый», потому что некоторые его соединения имели такой цвет. Палладий называли в честь малой планеты Паллады, открытой на несколько месяцев раньше. Тем временем англичанин Смитсон Теннант в остатке после растворения самородной платины в царской водке открыл еще два металла. Один из них был назван осмием, от греческого слова «запах», потому что его соединение с кислородом, *тетроксид осмия*, обладало резким и неприятным запахом. (Тетроксид осмия также очень ядовит. Его молекула состоит из одного атома осмия и четырех кислорода.) Иридий получил название от латинского слова «радуга» вследствие разнообразия окраски его соединений — зеленой, красной и фиолетовой.

Рутений, встречающийся только в самородной платине, на время выпал из поля зрения. Этот самый редкий из металлов платиновой группы, наконец, был открыт в 1844 году химиком К.Е. Клаусом при исследовании остатков очистки уральской самородной платины в Петербургском монетном дворе. Он назвал металл рутением от древнего названия России.

Так как осмий и иридий были обнаружены в том, что осталось от платины после растворения в

царской водке, очевидно, что на эти два металла она не действует. Получается, что они даже «благороднее» платины. Родий и рутений также кое в чем «благороднее» платины. Тигли из родия могут использоваться при температурах, когда платина начинает размягчаться. Палладий так же, как и платина, растворяется в царской водке. Из всех металлов, похоже, иридий самый «благородный».

Серебро при изготовлении отражающих зеркал для прожекторов покрывают слоем родия или палладия. После этого соединения серы уже не могут привести к потускнению, и полированная поверхность останется ясной навсегда.

Осмий и иридий тверже платины. Чистая платина оказалась слишком мягкой для лабораторных нужд. Примесь иридия (10%) делает ее достаточно твердой.

Тот же сплав платины с иридием применяется при изготовлении *эталонов измерения*. (Это образцы основных эталонов измерения, с которыми должны сравниваться все прочие.) Например, в пригороде Парижа, в защищенном месте, хранится прут из сплава платины и иридия с двумя метками на нем. Расстояние между этими метками при температуре 0 °C называется *метром*.

Это *Международный эталон метра*. Большинство стран мира договорились увязывать свои меры длины с этим метром. *Ярд*, например, составляет ровно 0,914 м.

Есть там еще брусок из того же сплава, который называется *килограммом*. Это эталон меры веса (килограмм — это около 2,2 фунта).

Сплав осмия и иридия называется *осмиридиумом*. Этот сплав встречается в природе и обычно содержит немного других металлов платиновой группы. Осмиридиум отличается большой твердостью и при-

меняется для изготовления кончиков перьев авторучек и патефонных игл.

Металлы платиновой группы — довольно плохие проводники. Их проводимость составляет одну шестую от проводимости меди или серебра. Но такое качество иногда бывает полезным. Плохие проводники, как я уже писал, при пропускании электрического тока нагреваются. Если провод достаточно тонкий, он может раскалиться добела. Поэтому осмий одно время использовали для нитей в электрических лампочках. У осмия самая высокая среди платиновых металлов температура плавления (2750 °C), и, даже раскаленный добела, он не плавится.

Металлы платиновой группы обладают большим весом. Рутений, родий и палладий тяжелее серебра. Осмий, иридий и платина тяжелее золота и вообще самые тяжелые вещества на Земле.

Платина на 10% тяжелее золота. Если бы тот 20-килограммовый золотой кирпич, о котором я говорил, был из платины, то он весил бы более 22 кг. Иридий и осмий еще тяжелее. Кирпич из любого из них весил бы более 23 кг. (Осмий совсем немного тяжелее иридия, и это самые тяжелые из известных веществ.)

В присутствии платины водород начинает соединяться с кислородом при комнатной температуре и может прикрепиться ко многим органическим молекулам. В присутствии платины кислород соединяется с диоксидом серы, образуя серный газ, — это одна из стадий получения очень важной серной кислоты. Во всех случаях платина действует как катализатор.

В виде мелких кусочков платина действует еще эффективнее. Растертая в порошок, она, как и большинство металлов, становится черной. Этот

порошок называется *платиновой чернью*. Чтобы было легче работать с таким дорогим веществом, его помещают на инертную асбестовую подложку. *Платинированный асбест* в качестве катализатора используется во многих производственных процессах. Химические реакции, которые могут тянуться вечно, в его присутствии протекают почти мгновенно. Это ускоритель, который устраняет разницу между теоретической и практической возможностями.

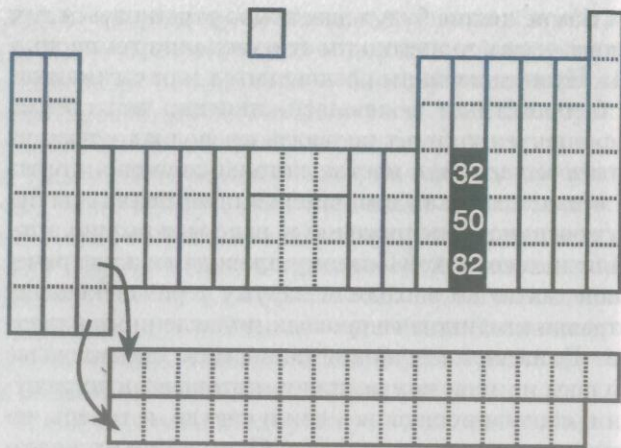
Единственная проблема — его цена. Поскольку платина — очень дорогой металл, используются другие вещества с похожими свойствами.

Также хорошим катализатором для водородных реакций является палладий. Интересно увидеть, как палладий абсорбирует водород. Кусочек палладия может абсорбировать количество водорода, в пятьсот раз превышающее его объем при обычной температуре (естественно, увеличившись в объеме). При высоких температурах он абсорбирует еще больше. Водород проходит сквозь лист палладия, абсорбируясь на одной стороне и высвобождаясь на другой. Другие металлы платиновой группы также абсорбируют водород, но не в такой степени, как палладий.

Кроме всего прочего, палладий, как и платина, используется в ювелирном искусстве. Его применяют в другой разновидности белого золота. Девять частей золота, смешанные с одной частью палладия, образуют сплав белого цвета, известный как *палладиевое золото*.

Платина, как и большинство веществ, расширяется при нагреве и сжимается при охлаждении. Степень расширения и сжатия почти такая же, что и у обычного стекла. Это значит, что, если расплавленное стекло остудить вокруг платинового прово-

да, оба вещества будут одинаково расширяться или сжиматься в зависимости от изменения температуры. Прочие металлы расширяются или сжимаются в большей или в меньшей степени, чем стекло. Если в стекло будет вплавлен провод из одного из таких металлов, в местах соприкосновения стекла и металла при каждом изменении температуры будут возникать напряжения и, рано или поздно, что-нибудь сломается. Поэтому провода из электрической лампочки выходили наружу через небольшие отрезки платинового провода, вплавленного в стекло. В настоящее время появились специальные сплавы из дешевых металлов, которые расширяются и сжимаются так же, как и стекло, и теперь используются вместо платины. Один из таких железно-никелевых сплавов называется *платинитом*.



Глава 17

ОЛОВО И СВИНЕЦ: ЭЛЕМЕНТЫ КОНСЕРВИРОВАНИЯ И ИСКУССТВА

Углерод и кремний оба неметаллы, но под ними в периодической таблице находится три металла. Два из них всем нам знакомы, поскольку известны с древности. Это *олово*, элемент номер 50, и *свинец*, элемент номер 82.

Образцы обоих металлов (или сплавов, их содержащих) обнаружены в археологических находках, датируемых 3000 г. до н. э.

В Библии упоминается свинец и, возможно, олово. (В описании райского сада говорится о земле Хавила, где находят бделлий. Никто точно не знает, что такое бделлий, но есть основания предположить, что это олово или какой-нибудь сплав, содержащий олово.)

Самое раннее из известных нам применений олова — это производство бронзы, которая на протяжении тысячелетий была самым твердым металлом, известным людям. (В наши дни добавление небольшого количества фосфора позволяет получать *фосфористую бронзу*, которая прочнее, чем та, которую получали древние.) Финикийцы, жившие на восточном побережье Средиземного моря, плавали на своих кораблях к далеким и загадочным Оловянным островам в Атлантике, привозя оттуда оловянную руду. Расположение Оловянных островов хранилось в глубокой тайне, и, поскольку только финикийцы знали, где взять оловянную руду, они могли просить за нее хорошую цену. Мы-то сейчас точно знаем, что Оловянные острова — это Корнуолл на юго-западе Англии вместе с небольшими островами у побережья.

Здесь до сих пор можно найти олово в виде *диоксида олова*, чья молекула содержит один атом олова и два кислорода. Руда, состоящая из диоксида олова, называется *касситеритом* или *оловянным камнем*. Такой диоксид олова (разумеется, очищенный, так как в природе он содержит много примесей) добавляется в глазури, чтобы получить белую эмаль. Поскольку он делает прозрачное вещество непрозрачным, его называют *глушителем*.

Английские шахты на сегодняшний день уже почти полностью выработаны. И теперь олово (в самом деле редкий металл) добывается в основном на полуострове Малакка в Юго-Восточной Азии и совсем немного в Боливии в Южной Америке.

Когда во время Второй мировой войны Япония оккупировала полуостров Малакка, в Соединенных Штатах возникли серьезные проблемы с консервированием продуктов. При покупке новых тюбиков зубной пасты людям приходилось сдавать старые,

использованные, потому что в них содержалось олово.

Олово до сих пор применяется для производства бронзы, но это не основное его применение. (Дорогое олово в бронзе стали все больше заменять более дешевым алюминием. Такая алюминиевая бронза вполне подходит для всех нужд.) Олово можно полировать, и на него не действуют кислород, вода или слабые кислоты. Оно может соприкасаться с продуктами питания (которые часто являются слабыми кислотами), не тускнея и не воздействуя на продукты. Поэтому стальные банки для консервирования продуктов покрывают слоем олова. Вот почему их называют «оловянные банки». В Англии их называют просто оловом. Названия, конечно, не совсем верные. Чистое олово слишком дорогое (в три раза дороже меди) и слишком мягкое для производства банок. Его используют только в качестве покрытия. Такое покрытое оловом железо обычно называют *белой жестию*. Половина производимого сейчас олова уходит на консервные банки.

Олово не обладает достаточной вязкостью, чтобы делать из него провода. Однако обладает достаточной ковкостью, чтобы быть расплюснутым до состояния *оловянной фольги*. Из-за инертности олова в такую фольгу заворачивали продукты, например конфеты. В настоящее время оловянную заменила более дешевая алюминиевая фольга. Но, в силу привычки, многие люди до сих пор называют ее «оловянной». В промышленном производстве делается все возможное, чтобы использовать поменьше олова, особенно после Второй мировой войны, когда безвыходность ситуации подтолкнула к поиску заменителей.

При определенных условиях олово выдает свое родство с углеродом и кремнием.

При температуре ниже 18 °С обыкновенное металлическое олово, которое называется *белым оловом*, переходит в свою аллотропическую модификацию, которая называется *серым оловом*. Серое олово уже не металл, а неметалл, имеющий определенное сходство с углеродом и кремнием. Серое олово превращается в порошок. Правда, если падение температуры не резкое, превращение проходит довольно медленно. Известны случаи превращения оловянных предметов в порошок в таких холодных городах, как Ленинград. Люди, впервые столкнувшись с этим явлением, называли его «оловянная гниль», «оловянная чума», «оловянная порча» и «оловянная болезнь». Но ни одно из этих названий нельзя считать удовлетворительным.

А вот еще одна интересная особенность олова. Этот металл состоит из мелких кристаллов, и поэтому, если согнуть полоску олова, кристаллы начинают тереться друг об друга, издавая скрипящий звук. Этот звук называется «плач олова».

Древние римляне делали из свинца резервуары для питьевой воды, трубы для подачи воды и стоки для канализации. До сих пор в английском языке людей, связанных по работе с трубами и водоснабжением, называют *plumber* от латинского названия свинца (*plumbum*), хотя водопроводные трубы из свинца больше нигде не изготавливают и не применяют.

Ряд качеств свинца делал его подходящим для водопроводных труб. Во-первых, он мягкий, и его легко свернуть в трубу, даже без современного станка. (Этот самый мягкий из распространенных металлов может быть поцарапан ногтем. В прежние времена, когда люди еще не знали графита, палочки мягкого свинца использовались в качестве карандашей. Вот почему графитные карандаши до

сих пор зовут «свинцовыми», а графитовые стержни для автоматических карандашей «свинцом». Поэтому же одно из старых названий графита *plumbago* происходит от латинского слова «свинец».)

Во-вторых, свинец не реагирует на слегка щелочную воду (что часто бывает с природной водой) и служит долгое время. Часть древнего римского водопровода используется до сих пор. Если к свинцу добавить несколько сотых процента теллурия, то такой сплав будет полностью устойчив к коррозии. Но есть у свинца и одно очень неприятное качество. Под влиянием слегка кислотной воды свинец корродирует, и в воде растворяется некоторое количество соединений свинца. Эти соединения ядовиты. 30 г свинца достаточно, чтобы отравить почти 95 000 л воды.

Свинец накапливается в костях и там остается. Из организма свинец выводится крайне медленно. Поэтому, даже если соединений свинца в воде недостаточно для немедленного отравления, они могут накопиться в организме и проявить себя позже. Другими словами, отравление свинцом носит кумулятивный характер.

Наиболее важным применением свинца сейчас является использование его в качестве цветовой основы краски, то есть *пигмента*. Одно из соединений свинца, применяющихся для этого, является *основным* — это *карбонат свинца*, обычно называемый *белым свинцом*. У него довольно сложная молекула из трех атомов свинца, двух углерода, двух водорода и восьми кислорода. Его смешивают с льняным маслом и получают белую краску, которая остается яркой и чистой долгое время, но только при хорошей погоде, чистом воздухе и воде. В наши дни в воздухе часто содержатся соединения

серы — результат сжигания угля. Эти соединения воздействуют на белый свинец, образуя *сульфид свинца* (его молекула содержит один атом свинца и один серы). Поскольку сульфид свинца черный, белая краска постепенно темнеет.

(Кстати, сульфид свинца имеется в почве и называется *галенитом*. Это самая богатая свинцовая руда. Свинец такой же редкий металл, как и олово, но, поскольку свинцовые руды обнаруживаются по всему миру, не такой дорогой.)

Потемнения под воздействием серы — одна из проблем свинцовой краски. Другая проблема — ее ядовитость. Художники настолько часто страдают от отравления свинцом, что это стало их профессиональным заболеванием.

Другие пигменты также содержат свинец. Один из них — *красный оксид свинца*, чаще называемый *красным свинцом*. (Иногда его еще называют *сурик*.) Его молекула состоит из трех атомов свинца и четырех кислорода, и он отличается кирпично-красным цветом. Красный свинец применяют в качестве *грунтовки*, то есть первого, защитного, слоя краски, наносимого на металл. Вы, должно быть, обращали внимание на кирпично-красный цвет стальных строительных конструкций, покрытых такой грунтовкой. *Тетраэтилсвинец* — еще одно полезное соединение свинца. В нем атом свинца соединяется с четырьмя углеводородными группами. Тетраэтилсвинец добавляют в бензин, чтобы уменьшить детонацию (то есть преждевременный взрыв паров бензина в цилиндре) и для повышения мощности двигателя. Такой бензин называют *этилированным*.

Если бы в бензин добавляли только тетраэтилсвинец, то на стенках цилиндров и на клапанах оставалась бы свинцовая «зола», разрушающая двигатель. Чтобы избежать этого, в бензин также добав-

ляется органическое соединение, содержащее бром. При сгорании бензина свинец и бром соединяются, образуя *бромид свинца* (его молекула состоит из одного атома свинца и двух брома). Бромид свинца закипает при 900 °С, а такая температура достигается в двигателях. Бромид свинца испаряется и выводится из двигателя с выхлопными газами. Так избавляются от атомов свинца, сделавших свою работу.

В современных автомобилях свинцу нашлось еще одно применение.

Аккумуляторная батарея, дающая электричество для стартера, фонарей и радио, состоит из попеременно установленных пластин свинца и *диоксида свинца* (его молекула содержит один атом свинца и два кислорода). Эти пластины залиты сильной серной кислотой. Когда батарея отдает электричество, свинец и диоксид свинца соединяются с серной кислотой, образуя *сульфат свинца* (его молекула состоит из одного атома свинца, одного серы и четырех кислорода). Когда батарея подзаряжается, сульфат свинца превращается обратно в свинец и диоксид свинца. Свинец, применяемый в таких батареях, содержит до 9% сурьмы. На сегодняшний день эти пластины являются единственным примером совместного использования свинца и сурьмы.

Существуют разновидности стекла, почти полностью состоящие из *силиката свинца*. Такое *оптическое стекло* преломляет свет, и поэтому его можно огранить, сделав похожим на драгоценный камень. И его используют для изготовления имитаций драгоценных камней, называемых стразами. Также это стекло может быть очень чистым и прозрачным. Его широко применяют при изготовлении линз для оптических приборов, вроде микроскопа, а также для очков. Это стекло получается

при нагревании *монооксида свинца* (молекула содержит один атом свинца и один кислорода) с песком и карбонатом калия.

Большинство соединений свинца в воде не растворяются. Исключением является *ацетат свинца*, который обычно называют *свинцовым сахаром*. Название возникло оттого, что соединение имеет сладкий вкус, но пусть это вас не обманывает. Оно сладкое, но очень ядовитое.

Как металл свинец не впечатляет. Он довольно серый и не шлифуется. Он мягкий и непрочный. Люди считали его дешевым и бесполезным металлом. В «Венецианском купце» Шекспира героиня Порция предлагает своим поклонникам выбрать один из трех закрытых ларцов. За того, кто выберет ларец с ее портретом, она выйдет замуж. Один ларец был золотым, второй серебряным. Это были символы богатства. Третий ларец, в котором и находился ее портрет, был из свинца — символа бедности. (Герою надо было презреть внешний блеск ради внутреннего содержания.)

Единственное, что люди ценили в свинце, был его вес. Он более чем на 50% тяжелее железа и немного тяжелее серебра. (Он только вполовину так же тяжел, как золото или платина, но мало кто из людей, особенно в ранние времена, держал эти драгоценные металлы в руках.) Поскольку свинец был самым тяжелым из распространенных металлов, его использовали там, где нужен был вес. Из него, например, получались хорошая дробь и пули. Тяжелая пуля наносит больший ущерб, чем легкая того же размера. Добавление небольшого количества мышьяка делало свинец более твердым и еще более подходящим для такого применения.

Олово, несмотря на то что было достаточно дорогим, почему-то также считалось дешевым и не-

престижным. В первые годы автомобильной эры дешевые автомобили в шутку называли «консервными банками».

Полезным качеством свинца является то, что он плавится при 328°C , что для металла является очень низкой температурой. Олово плавится при еще более низкой температуре — 232°C . Сплав из двух металлов плавится при еще более низкой температуре и очень за это ценится.

Я уже рассказывал о легкоплавких сплавах и о гарте, или типографском сплаве. Они содержат сурьму или висмут, но также и свинец или олово, а иногда и оба вместе. Сплав Вуда, например, на 50% состоит из висмута, но также содержит 25% свинца и 12,5% олова. Гарт состоит из 5% сурьмы, 3% олова и 82% свинца.

Одно время сплав свинца и олова использовался для изготовления дешевой посуды (дорогая в те времена делалась из серебра) и состоял в основном из олова.

Из свинца и олова, смешанных в разных пропорциях, делается *припой*. Припой легкоплавкий и мягкий. Когда отрезок толстой проволоки, сделанной из припоя, прижимают к разогретому на огне или электричеством (*паяльником*) куску металла, он легко плавится. Жидким припоем заливается пространство между двумя кусками металла. Когда припой застывает, он прочно прикрепляется к обоим кускам металла. В результате два куска становятся одним, то есть припой работает как металлический клей. Это очень важно при монтаже электрического оборудования, когда необходимо быстро и надежно соединить провода.

В периодической таблице между кремнием и оловом находится *германий*, элемент номер 32. Он был

открыт в 1886 году немецким химиком К.А. Винклером и назван им в честь Германии.

Самое интересное в истории с германием — это как он был открыт. В 1869 году русский химик Д.И. Менделеев разработал периодическую таблицу и показал, что элементы из одной колонки обладают сходными свойствами. Конечно, на тот момент не все элементы были известны, поэтому в периодической таблице имелись «дыры».

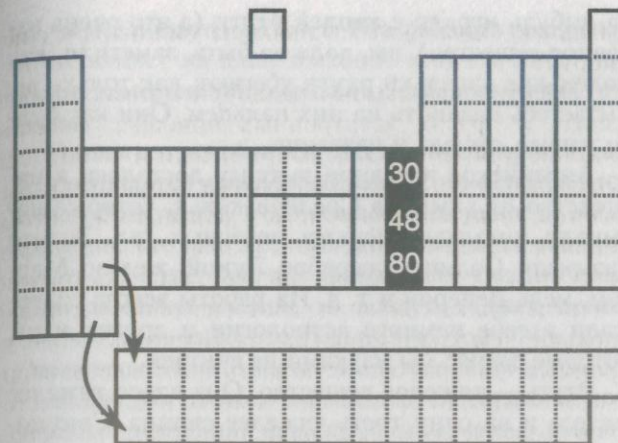
В 1871 году Менделеев заявил, что новые элементы непременно будут открыты и пробелы будут заполнены. Для примера он взял три конкретных элемента, которые закроют три конкретных дыры. По его словам, один из элементов должен находиться над оловом и под кремнием. Он назвал его *экакремнием* и предсказал, какими свойствами он будет обладать, когда его откроют. «Эка» — санскритское слово «один», то есть экакремний значит элемент в «клеточке номер один» под кремнием. За основу для своего предсказания Менделеев взял уже известные свойства кремния и олова.

Вскоре все три элемента Менделеева были открыты, и во всех трех случаях его предсказания попали в точку. Последним был открыт германий, и на этом дискуссия была закрыта. Больше никто не подвергал сомнению значение периодической таблицы.

Во второй половине XX века германию было найдено совершенно неожиданное применение. Кусок металлического германия, содержащий некоторые примеси, при определенных условиях проводит электричество только в одном направлении. Другими словами, он действует как *выпрямитель*. Также он действует как *усилитель*, превращая слабые токи в сильные. Для этого в германии не должны содержаться определенные металлы, например такие, как

мышьяк. Одна часть мышьяка на миллиард все испортит.

Электронные лампы в радиоприемниках, телевизорах и других электронных приборах созданы именно для этого. Они выпрямители и усилители. Это значит, что маленький кусочек германия (называется *транзистором*) может делать то же, что и большая электронная лампа-транзистор, потребляя при этом гораздо меньше энергии, выделяя гораздо меньше тепла и сохраняя работоспособность гораздо дольше, чем электронная лампа. Поскольку в электронных приборах большую часть пространства занимают лампы, использование вместо них транзисторов позволяет создавать радиоприемники размером с наручные часы (и другие чудеса). В качестве транзисторов применяют и кусочки кремния. Германий и кремний известны как *полупроводники*, потому что они проводят электричество хуже большинства металлов, но лучше большинства неметаллов.



Глава 18

РТУТЬ: ЖИДКИЙ ЭЛЕМЕНТ

В предыдущей главе я говорил, что олово и свинец плавятся при очень низких температурах в 200 или 300 °С. Щелочные металлы, как мы видели, становятся жидкими при еще более низких температурах, а цезий вообще может расплавиться на солнце.

Но есть один металл, который остается жидким даже в холодную погоду. Это *ртуть*, элемент номер 80. Ртуть не твердеет, пока не будет достигнута температура в 39 °С ниже нуля.

До 1759 года никто не пытался заморозить ртуть в лаборатории, ибо в ту пору химики не догадывались, что ртуть — металл.

Греки и римляне называли ртуть *гидраргиум*, что означало «жидкое серебро». Мы часто называем ее *quicksilver* или «живое серебро». Если вы ког-

да-нибудь играли с каплей ртути (а это очень забавное вещество), вы, должно быть, заметили, как маленькие капельки ртути убегают, как только вы попытаетесь надавить на них пальцем. Они как будто живые, отсюда и название.

Английское название *меркури* досталось в наследство от химиков Средневековья, которые называли металлы именами небесных тел. Золото называли Солнцем, серебро Луной, железо Марсом, медь Венерой и т. д. Их работы всегда содержали в себе немного астрологии и других наук, которые сейчас мы науками не считаем.

Ртуть — тяжелое вещество. Она вдвое тяжелее железа и на одну треть тяжелее свинца. Свинцовый шарик будет плавать в ртути. 500 мл ртути весят почти 7 кг. Если в химической лаборатории вам попадется бутылка ртути, попробуйте ее поднять. Сперва вы примените столько силы, сколько требуется для бутылки с водой или спиртом, однако сразу почувствуете, что бутылка как будто прибиита к столу гвоздями и нужно гораздо большее усилие, чтобы поднять ее.

Как самая тяжелая жидкость при комнатной температуре, ртуть играет важную роль в составлении прогнозов погоды.

Частью информации, необходимой для прогноза погоды, является вес воздуха над нами. Под влиянием солнечного тепла вместе с воздействием океана и гор в одних местах атмосфера сгущается, образуя области *высокого давления*, и разжижается в других, образуя области *низкого давления*. Эти области перемещаются над поверхностью Земли. Ясная погода — результат высокого давления, а ненастная — низкого.

Разница давлений не особенно большая. В области высокого давления оно может быть на 10% боль-

ше, чем в области низкого. Эта разница совершенно не влияет на наше дыхание или что-либо еще. Чтобы измерить такую разницу, нам нужны инструменты.

Одним из способов измерения атмосферного давления является уравнивание с ним столба жидкости. Воздух над 1 см² земной поверхности весит примерно столько же, сколько столб воды высотой около 15 м над тем же квадратным сантиметром. Если давление низкое, то воздух должен весить столько же, сколько столб воды высотой в 14 м. Если уравновесить столб воды с воздухом (а это достаточно легко), мы сможем наблюдать изменения атмосферного давления, фиксируя изменения высоты водяного столба.

Но столб воды высотой с четырехэтажный дом не особенно удобен в обращении. Поэтому вместо него используется столб ртути. Поскольку ртуть тяжелее воды в четырнадцать с половиной раз, столб ртути высотой в 76 см будет весить столько же, сколько и водяной столб (при одинаковой толщине) высотой в 15 м.

Стеклянная трубка, содержащая 76 см ртути и уравновешенная с атмосферным давлением, называется *барометром*. Высота столба ртути тщательно замеряется, и в каждом прогнозе погоды вы можете услышать значение атмосферного давления, измеренное до миллиметра.

Также метеорологи могут сказать, остается ли давление без изменений, поднимается или опускается. Если оно поднимается, ожидается приход ясной погоды. Если опускается, идет ненастье. Если стоит на месте, погода не изменится.

Также ртуть широко применяется для измерения температуры. Ртуть, как и все вещества, расширяется при повышении температуры и сжимается при

снижении. Ртуть делает это очень равномерно по мере изменения температуры.

Теперь представьте себе, что у вас есть сосуд, полный ртути, с тонкой трубкой, выходящей из него. Если температура повышается, ртуть немного расширяется, но сделать это она может, только проникнув в трубку. Если температура опустится, ртуть сожмется и уйдет из трубки.

Сосуд с ртутью, соединенный с тонкой трубкой, называется *термометром*. Если поместить термометр в тающий лед, высота, на которую поднимется ртуть, можно обозначить как ноль градусов Цельсия (или 32° Фаренгейта). Если поместить его в кипящую воду, высоту столбика ртути можно обозначить как 100°C (или 212°F). Отрезок между метками можно равномерно разделить на отдельные градусы.

Ртуть не единственная жидкость, которую можно использовать в термометрах. Обычные бытовые термометры, которые вывешивают за окно, чтобы узнать температуру на улице, обычно содержат вместо ртути подкрашенную жидкость, которую легче разглядеть.

Ртуть не смачивает стекло. Это значит, что тонкий слой ртути не прилипает к стеклу во время движения вверх и вниз. (Тонкий слой воды прилипает.) Поэтому ртуть свободно движется внутри трубки. Это важно и для барометра, и для термометра.

В термометре ртуть запаяна в трубке, из которой откачан воздух. В барометре ртуть соприкасается с воздухом. Здесь обнаруживается еще одно достоинство ртути — воздух, при обычных условиях, не воздеиствует на ртуть.

Поскольку ртуть — металл, она проводит электрический ток. Немного ртути помещают в горизон-

тальный цилиндр с электрическими контактами на одном конце. Если цилиндр наклонить в одну сторону, ртуть касается контактов и замыкает цепь. Если наклонить его в другую сторону, ртуть откатывается от контактов и цепь размыкается. Такие *ртутные выключатели* используются и в промышленности, и дома. (В отличие от старых выключателей они бесшумны.) И это наиболее важные области применения ртути в наши дни.

Как и соединения свинца, соединения ртути ядовиты. Ртуть даже опаснее свинца. Она кипит при 357°C , и это самая низкая точка кипения среди металлов. Но и при более низкой температуре какое-то количество ртути испаряется. Эти испарения ядовиты и обладают кумулятивным эффектом. Поэтому химики никогда не нагревают ртуть вне вытяжного шкафа, удаляющего все испарения.

Ртуть смешивается со многими металлами, образуя сплавы, которые называются *амальгами*. Так получается сплав с серебром, который называется *серебряной амальгамой*. Сразу после образования серебряная амальгама несколько минут остается мягкой и из нее можно лепить, как из глины. Потом она твердеет. Еще мы помним, как дантисты, высверлив пораженную часть зуба, берут кусочек серебряной амальгамы (которая содержит помимо серебра небольшое количество олова, меди и цинка) и заталкивают его в полость, как «серебряную начинку». Такая начинка не разрушается под действием воздуха, слюны или пищи. А поскольку атомы ртути прочно удерживаются атомами серебра, она не испаряется и не растворяется и не причиняет нам никакого вреда.

Золотая амальгама также используется для зубных пломб. Ртуть смешивается с золотом легко

и быстро, и вам нужно помнить об этом, если вы захотите поиграть с шариком ртути. Снимите все кольца! Однажды моя жена, перекатывая шарик ртути из ладони в ладонь, погубила свое обручальное кольцо. Желтый цвет пропал. Кольцо стало серым и некрасивым. Как вы понимаете, она была очень расстроена.

Химики тоже широко пользуются амальгамами. Например, металлический натрий используется для разных надобностей, но он настолько активен, что возникает проблема безопасности. В смеси с ртутью он образует *натриевую амальгаму*. С ней уже можно делать все, что требуется от натрия, но гораздо безопаснее.

Еще ртуть широко используют в специальных лампах. Капелька ртути, нагретая электрическим током, превращается в пар, который испускает свет и сильное ультрафиолетовое излучение. Ртуть используется в особых лампах, которые обеспечивают вам загар в зимнее время (или ожоги, если вы не будете аккуратны). Также она используется в флуоресцентных лампах, в которых ультрафиолетовые лучи заставляют порошковое напыление внутри лампы сиять ярким белым светом.

Хлорид ртути (с молекулой, состоящей из двух атомов ртути и двух хлора), более известный как *каломель*, раньше использовался как слабительное средство. Он очень опасен и при неосторожном обращении может вызвать отравление. Его близкий родственник *дихлорид ртути*, или *сулема* (его молекула содержит только один атом ртути и два хлора), еще опаснее. Его еще называют *сублематом*, даже небольшое количество сублемата убьет вас, как бы аккуратны вы ни были.

Оксид ртути представляет собой кирпично-красное вещество, содержащее один атом ртути и один

кислорода. Оно интересно с исторической точки зрения. Именно его нагревал Пристли, когда обнаружил кислород. Другое красное соединение ртути — *сульфид ртути* (его молекула состоит из одного атома ртути и одного серы). Оно встречается в природе и известно как *киноварь*. Это самая богатая ртутная руда. В чистом виде соединение используется для получения ярко-красного пигмента *вермилiona*.

Фульминат ртути, или *гремучая ртуть* (его молекула содержит по одному атому ртути, кислорода, азота и углерода), очень опасное взрывчатое вещество. Небольшое его количество взрывается от малейшего прикосновения. (Другие взрывчатые вещества, к счастью, требуют для подрыва более сложной процедуры. В противном случае люди, которым приходится изготавливать или применять взрывчатые вещества, постоянно калечились бы или погибали.) Крошечные количества фульмината ртути применяют как *детонатор* для подрыва больших объемов менее чувствительных взрывчаток, например динамита. Фульминат можно подорвать на расстоянии с помощью электричества, а он, в свою очередь, вызовет взрыв динамита.

И наконец, *ртутирохром*, который наверняка вам знаком как мягкий антисептик для обработки небольших ран и царапин, имеет сложную молекулу, содержащую атом ртути. Два очень похожих друг на друга металла находятся над ртутью в периодической таблице. Один из них, *цинк*, элемент номер 30, известен людям с древности, поскольку сплавы, его содержащие, были найдены среди предметов, относящихся к 1500 г. до н. э. В чистом виде металл не был выделен до 1746 года, пока немецкий химик Андреас Сигизмунд Маргграф не сделал это. Название элемента пришло из немецкого языка, и, что оно значит, точно не известно.

Впервые цинк стали применять для получения латуни в сплаве с медью. Цинк, добавленный к меди, делает ее плотнее, тверже и прочнее. Сейчас мы можем сделать ее еще тверже, добавив в сплав никель (12%). Получившийся сплав называется *никелевая латунь*.

Обычно латунь используется для изготовления пуговиц и прочих аксессуаров для военной формы и модной одежды. (Смесь из 80% меди и 20% цинка иногда называют *голландским золотом*, потому что в этом сплаве медь теряет свой красноватый оттенок и становится похожа на золото.) Чем выше ранг офицера в армии, тем больше на его форме латунных украшений. Так родилось жаргонное выражение, обозначающее военную верхушку, что-то вроде «золотопогонники».

Добавление никеля настолько маскирует цвет меди, что достаточно совсем небольшого его количества, чтобы сплав получился белым (так же как американские монеты в пять центов, хотя они и состоят на три четверти из меди, но выглядят белыми).

Поэтому никелевую латунь иногда называют *нейзильбером* (никелевое серебро) или *германским серебром*, но эти названия только вводят в заблуждение — в сплаве серебра нет совсем.

Латунь, содержащая 40% цинка (*мунц-металл*), не поддается коррозии. Ее используют для создания защитного покрытия на днищах кораблей с большим успехом, чем медь.

Одним из важных применений цинка являются *сухие батареи*, которые мы используем в фонариках. Такая батарея состоит из наружного цинкового цилиндра (в картонной обертке) и угольного стержня в середине. Между ними находятся различные химикаты.

Цинк, уголь и находящиеся между ними химикаты вступают друг с другом в реакцию с выделением электричества. Если такую батарею оставить как есть, электричество будет сохраняться внутри ее. Если же к *контактам* батареи (один соединен с цинковым цилиндром, другой с угольным стержнем) подсоединить провода, электричество потечет по этим проводам. Если на пути электрического тока поместить лампочку, она загорится. Электричество может течь по проводам при условии, что они не порваны, то есть цепь замкнута. Фонарик не зажжется, пока мы не нажмем на выключатель, который закрывает разрыв в проводе и замыкает цепь.

Цинк — один из металлов, которые используются для нанесения защитных покрытий на железо или сталь. Это можно сделать, опустив чистый лист железа в расплавленный цинк или методом электролиза. Поэтому железо, покрытое цинком, часто называют *оцинкованным железом*. Из такого железа часто делают ведра, и, пока они новые, на их поверхности видны кристаллические узоры из цинка.

Соединения цинка вытеснили ядовитые соединения бериллия, о которых я говорил выше, из флуоресцентных ламп.

Цинк — достаточно активный металл. В школьных химических опытах цинк часто помещают в кислоту, чтобы получить водород. (Атомы цинка замещают атомы водорода в кислоте.) Затем полученный водород можно спокойно изучать. Однако важно использовать для этой цели цинк высокого качества. Низкосортный цинк содержит небольшое количество мышьяка. Под воздействием кислоты из него в опасных количествах выделяется ядовитый арсин, о котором я говорил в главе 9. Поэтому лучше приложить немного труда заранее, чем страдать потом.

Другой металл, который также используют для покрытия железа или стали, стоит в периодической таблице прямо под цинком. Этот металл настолько похож на цинк, что его обнаруживают в той же руде. Он был открыт в цинковой руде в 1817 году Фридрихом Штроемeyerом.

Самым важным видом цинковой руды является *цинковая обманка*, которая в основном состоит из *сульфида цинка* (с молекулой из одного атома цинка и одного атома серы). Греки называли такую руду «кадмея», поэтому Штроемeyer назвал новый элемент *кадмием*. Это элемент номер 48.

Кадмиевое покрытие лучше цинкового, но дороже. Кадмий лучше полируется и лучше защищает от ржавчины. Другие защитные свойства кадмия проявятся, если добавить его небольшое количество к серебру. Серебро перестает тускнеть и реагировать на соединения серы. Кадмий также присутствует в сплаве Вуда (легкоплавкий сплав) и в некоторых видах припоя. Кадмий так же легко плавится, как свинец. Немного кадмия (1%), добавленного в медь, делает ее достаточно прочной, чтобы делать из нее троллейбусные провода, не опасаясь снижения электропроводимости.

Одно из современных применений кадмия связано с ядерными реакторами на атомных электростанциях. Кадмиевые стержни, вставленные в специальные отверстия в реакторе, замедляют реакцию в случае надобности. Эти стержни могут предотвратить разрушительный взрыв. Они автоматически опускаются в реактор при первых признаках повышения температуры выше заданных параметров.

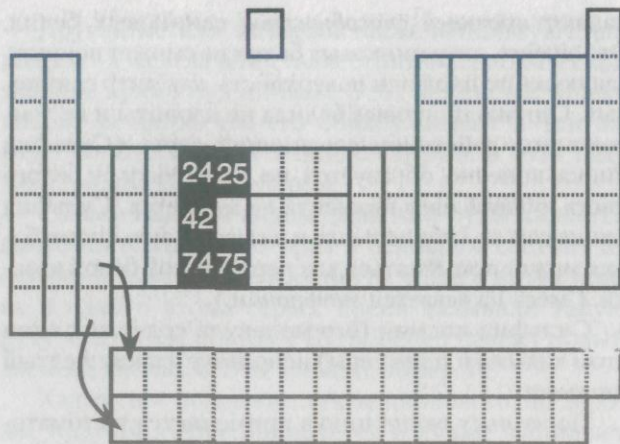
Оксид цинка с молекулой, содержащей один атом цинка и один атом кислорода, является белым пигментом, используемым при изготовлении красок. Его часто называют *цинковыми белилами*. Они не об-

ладают *кроющей способностью* свинцовых белил. Это значит, литр цинковых белил не сможет покрыть такую же по площади поверхность, как литр свинцовых. Однако цинковые белила не ядовиты и не темнеют под действием соединений серы. (Сульфид цинка, конечно, образуется, но, поскольку он белого цвета, общий цвет пигмента не меняется. Сульфид цинка сам по себе дешевле и в смеси с сульфатом бария может применяться как первый слой белой краски. Смесь называется *литопон*.)

Сульфид кадмия (его молекула содержит один атом кадмия и один серы) используется как желтый пигмент.

Поскольку оксид цинка применяется в стоматологических смесях, он может оказаться в ваших зубах. Также он является компонентом пудры, и, если вы девушка, он может оказаться у вас на лице. Порошок оксида цинка можно встретить и в *каламиновом лосьоне*. (Порошок имеет розовый цвет оттого, что содержит около 0,5% оксида железа.)

И наконец, цинк является необходимым микроэлементом живых тканей.



Глава 19

ХРОМ: ЭЛЕМЕНТ ЦВЕТА

Я уже упоминал несколько металлов — никель, олово, кадмий и цинк, которые можно использовать в качестве покрытия для предохранения железа от ржавчины. Но самое красивое покрытие получается из металла, который называется *хромом*, элемент номер 24.

Хром в 1797 году открыл французский химик Луи Никола Воклен и назвал его греческим словом, означающим «цвет», потому что все его соединения окрашены. (Причем во все возможные цвета.) Сам по себе металл является одним из самых твердых элементов. Он тверже железа, меди или никеля. Будучи покрытым, как алюминий, тонкой пленкой оксида, он не тускнеет на воздухе и поддается полировке.

Декоративные элементы автомобилей делаются из стали, покрытой сначала никелем, а затем тон-

ким слоем хрома. Люди называют эти детали просто «хром».

Хром используется не только как покрытие для стали. Он также добавляется в сталь для получения необходимых сплавов. *Хромовая сталь* получается настолько твердой, что ее используют при изготовлении шариков для подшипников. *Нержавеющая сталь* содержит 18% хрома и 8% никеля. Она совершенно не ржавеет и широко используется в производстве кухонной утвари. Нержавеющая сталь не обладает магнитными свойствами. Если у вас есть магнит и нож из нержавеющей стали, можете убедиться сами.

Другой интересный хромовый сплав, который можно увидеть дома, — *нихром*. Этот сплав содержит четыре части никеля и одну часть хрома. Иногда в нем присутствует немного железа. Как металл, нихром очень плохой проводник электричества. Его проводимость составляет 1,5% от проводимости серебра. При пропускании электрического тока нихромовый провод быстро нагревается докрасна, даже если он довольно толстый. Светящиеся спирали, которые вы видите, включая тостер, часто делаются из нихрома.

Оксид хрома (его молекула содержит два атома хрома и три кислорода) имеет зеленый цвет. Его получают из руды, которая называется *хромитом*, и ее молекула состоит из оксида хрома и оксида железа. Хромит, самая распространенная хромовая руда, имеет очень высокую температуру плавления. Ее формуют в кирпичи и используют для футеровки высокотемпературных печей.

Оксид хрома может быть добавлен в стекло для придания ему зеленого цвета. Изумруды и рубины обязаны своими цветами небольшим количествам оксида хрома. Другие цвета (изумруды зеленые, ру-

бины красные) зависят от размера частиц оксида хрома. В синих сапфирах также встречается оксид хрома. Соединения алюминия и бериллия, составляющие основу этих драгоценных камней, как правило, бесцветны.

Оксид хрома, применяемый в красках, называется *зеленым кроном*. *Хромат свинца* называется *желтым кроном* (его молекула содержит один атом свинца, один хрома и пять кислорода) и также используется для приготовления красок. Смесь этих двух оксидов дает оранжевый цвет и называется *оранжевым кроном*.

Несколько элементов, находящихся по соседству с хромом в периодической таблице, обладают такой же твердостью. Они очень высоко ценятся, потому что при добавлении к стали они делают ее более вязкой и твердой.

Это металлы *марганец*, элемент номер 25, *молибден*, номер 42 и *вольфрам*, номер 74.

Важнейшей рудой марганца является *пиролюзит*, состоящий из *диоксида марганца* (одного атома марганца и двух кислорода). Такой руды в мире достаточно много. Марганец является следующим по распространенности в группе более тяжелых металлов. Он напоминает железо (в периодической таблице он стоит слева от железа) по внешнему виду, но он тверже и, в отличие от железа, достаточно хрупкий. Древние римляне путали пиролюзит с магнетитом, магнитным оксидом железа, который тоже черный, и называли его «магнитным железняком» (*magnes*). В Средние века алхимики как-то умудрились неправильно прочесть и написать это название, и в результате получилось «марганец».

В 1774 году Иоганн Готлиб Ганн впервые выделил марганец в металлическом виде.

Как и соединения хрома, соединения марганца обычно окрашены. Существуют природные соединения марганца разных цветов (белые, коричневые, зеленые, фиолетовые), которые художники веками использовали для приготовления красок. Наиболее распространенным является каштановый пигмент, который получали путем перемешивания порошка *оксида марганца* (молекула содержит два атома марганца и три кислорода) с порошками оксидов алюминия и железа. Такой пигмент называется *марганцевым коричневым* или *умброй*. *Карбонат марганца* (также называемый *марганцевым белым*) используется для получения белого пигмента.

Важнейшей рудой молибдена является *молибденит*, который состоит из сульфида молибдена (его молекула состоит из одного атома молибдена и двух серы). Руда была похожа на свинцовую и поначалу называлась греческим словом «свинец». Свое нынешнее название молибден получил в 1782 году, когда шведский химик П. Гьельм выделил его как металл.

Вольфрам открывали дважды. В 1781 году шведский химик Карл Вильгельм Шееле открыл минерал, который он назвал *тунгстеном*, что по-шведски означает «тяжелый камень». Этот минерал, как и бариты, вдвое тяжелее гранита. В честь открывателя его называли шеелит. В 1783 году независимо от Шееле испанские химики братья д'Элуяр выделили элемент из минерала *вольфрамита*. Поэтому у элемента оказалось два названия. Вольфрам — его официальное название. В Америке и в Великобритании его продолжают называть тунгстеном. Первым, кто показал, что металлы, полученные из шеелита и вольфрамита, идентичны, был Рудольф Эрих Распе, более известный как автор историй про барона Мюнхгаузена.

Все эти три металла могут быть добавлены в сталь. *Марганцевая сталь*, содержащая 13% марганца, очень твердая и вязкая. Из нее, например, делают зубья для камнедробилок. *Молибденовая сталь*, содержащая 2% молибдена, не размягчается при высоких температурах и используется для изготовления высокоскоростных режущих инструментов. Так же используется и *вольфрамовая сталь*, содержащая хром и от 8 до 20% вольфрама, которая не теряет твердости, даже будучи раскаленной докрасна. Из вольфрамовой стали делают броневые листы и снаряды, способные эти листы пробить. Вольфрам и хром также добавляют в кобальт, чтобы получить очень твердые стеллитовые сплавы. Молибденовая сталь очень прочна, поэтому из нее изготавливают оружейные стволы, броневые листы, банковские сейфы и т. п.

Марганец можно также добавить к меди для получения *марганцовистой бронзы*. Другой подобный сплав, содержащий еще и никель, называется *манганин*. Этот сплав плохо проводит электричество и применяется так же, как и нихром.

Диоксид марганца черного цвета, иногда он добавляется в стекло, чтобы нейтрализовать зеленый цвет, который дают соединения железа. Со временем диоксид марганца в таком стекле превращается в *перманганат натрия* (его молекула содержит один атом натрия, один марганца и четыре кислорода), атом натрия и дополнительные атомы кислорода переходят из силиката натрия, содержащегося в стекле. Перманганат натрия имеет темно-пурпурный цвет, поэтому стекло приобретает нежный фиолетовый оттенок. В некоторых домах Бостона сохранились старые оконные стекла такого оттенка, которые ценятся домовладельцами как предметы антиквариата.

Определенные марганцевые сплавы, содержащие алюминий, олово, сурьму и медь, обладают сильными магнитными свойствами, несмотря на то что в них нет железа. Из сплава марганца и висмута можно сделать магнит, который сложнее размагнитить, чем любой стальной магнит. Из некоторых сплавов хрома также получаются сильные магниты. Магнитные сплавы, в которых отсутствует железо, называются *сплавами Гейслера* в честь ученого, впервые обнаружившего их в 1898 году.

Марганец и молибден являются необходимыми микроэлементами для живых тканей. Потребность человеческого организма в небольших количествах молибдена была открыта только в 50-х годах XX века.

Провода или нити в электролампочках должны обладать двумя качествами: проводить электричество настолько плохо, чтобы раскаляться добела при пропускании тока, и иметь достаточно высокую точку плавления, чтобы не расплавиться. (Горение этих нитей не должно вас беспокоить, поскольку все лампочки наполнены аргоном.)

Когда Томас Эдисон изобрел электрическое освещение в 1879 году, нити делались из углерода. На то время из всех известных веществ он имел самую высокую точку плавления, около 3500 °С, и был плохим проводником. Но поскольку углерод неметалл, из него невозможно сделать провод. Приходилось покрывать углем хлопковые нити или волокна бамбука. Несмотря на то что Эдисон откачивал из колбы лампочки воздух, хлопок и бамбук довольно быстро распадались под действием тепла, и лампочка перегорала.

Затем, как я уже рассказывал, пробовали использовать осмий. В конце концов остановились на вольфраме. Вольфрам проводит электричество почти

вдвое лучше, чем металлы платиновой группы, но у него гораздо более высокая точка плавления, чем у осмия.

Осмий плавится при $2700\text{ }^{\circ}\text{C}$, а вольфрам при $3370\text{ }^{\circ}\text{C}$. Среди металлов у вольфрама самая высокая точка плавления. Только углерод плавится при еще более высокой температуре.

Справа от вольфрама в периодической таблице находится *рений*, элемент номер 75. Он похож своими свойствами на вольфрам, но встречается гораздо реже. Существуют руды, в которых содержится одна миллионная часть рения, и эти руды считаются достаточно богатыми, потому что в других рудах рения еще меньше. Рений был открыт в 1925 году, причем открыт методом спектрографии (как рубидий и цезий) группой немецких ученых. Это были Вальтер Ноддак, Ида Такке и Отто Берг. Они знали, что ищут. К тому времени периодическая таблица была признана всеми и химики знали, что в ней находятся «дыры» для еще не открытых элементов. До того как рений был открыт, его называли «двигмарганец». «Дви» на санскрите означает «два», то есть искомый элемент должен занять «вторую клетку под марганцем». Был еще и «экамарганец» в «первой клетке», но об этом позже.

Ноддак с товарищами назвали новый элемент в честь реки Рейн в Германии.

Рений имеет точку плавления около $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$, вторую среди металлов. Поскольку он проводит электричество в четыре раза хуже вольфрама, он мог бы стать отличным материалом для нитей накаливания в лампочках, если бы не был таким редким. Тем не менее из него иногда делают кончики перьев авторучек. Для этого нужно совсем немного металла.

Глава 20

ТИТАН: ЭЛЕМЕНТ С БУДУЩИМ

Во всей периодической таблице нет элемента, которым бы так несправедливо пренебрегали, как *титаном*, элементом номер 22. До середины XX века вряд ли кто, кроме профессиональных химиков, знал что-нибудь о нем, хотя это один из распространенных элементов. Одна двухсотая часть земной коры состоит из титана. Может показаться, что это не так уж и много, тем не менее это значит, что на тонну приходится около пяти килограммов. В земной коре титана в три раза больше, чем хлора, и в шесть раз больше, чем фосфора.

Однако фосфор и хлор определенно считаются распространенными элементами. Титан встречается от шестидесяти до трехсот раз чаще, чем такие полезные металлы, как медь, свинец и цинк. И все же на титан долго не обращали внимания.

На это есть своя причина. Вот, скажем, свинец может почти не встречаться на большей части поверхности Земли, но в нескольких местах его целые кучи. И там его выгодно добывать. Титан же, наоборот, распределен очень равномерно. Он везде, но нигде его нет достаточно много.

В 1791 году английский священник и химик Уильям Грегор обнаружил присутствие нового металла в *ильмените* (руде, содержащей и железо, и титан), а М.Х. Клапорт в 1794 году дал ему название. Он назвал элемент титаном в честь мифических титанов, гигантов, обладавших огромной силой, но отметил в своих записях, что никакой серьезной причины для этого не было.

Важнейшей титановой рудой является *рутил*, который состоит из диоксида титана (его молекула содержит один атом титана и два кислорода). Диоксид титана может обнаруживаться в виде прозрачных кристаллов, которые в 1949 году научились получать искусственно. Кристаллы рутила преломляют свет даже сильнее, чем алмазы. Если рутил правильно огранить, он будет сверкать ярче и разнообразнее, чем бриллиант. Проблема с рутилом состоит в том, что он недостаточно твердый и легко царапается.

Порошок диоксида титана, называемый *титановым белым пигментом*, является самым белым из известных веществ. Это значит, что 50 г диоксида титана, смешанного в нужной пропорции с краской, могут закрасить большую поверхность, нежели любые другие белые пигменты. Более того, диоксид титана не ядовит и не теряет цвет под действием соединений серы.

И следовательно, может заменить свинцовые белила.

Тетрахлорид титана (его молекула состоит из одного атома титана и четырех хлора) является

жидкостью, которая при контакте с воздухом бурно испаряется. Поэтому ее используют для прочерчивания самолетами в небе различных знаков и для постановки дымовых завес.

Но настоящей Золушкой все же остается металлический титан. Его всегда считали хрупким и бесполезным металлом, почти ни на что не годным. Проблема, однако, была в том, что никто не мог получить по-настоящему чистый титан. Берцелиус первым получил его в 1825 году в виде черного порошка, полного примесей. Муассан (он первым выделил фтор) в 1895 году добился больших успехов, но все же его образцы содержали 2% углерода. Дело в том, что титан быстро соединяется с кислородом, азотом, углеродом и кремнием. Титан может гореть даже в азоте, поэтому для его сварки необходимо присутствие гелия.

Обычно титан производится в виде сплава с железом, *ферротитана*, и в таком виде его активность приносит наибольшую пользу. Его можно добавлять в расплавленную сталь в качестве «очистителя». Титан соединяется с небольшими количествами кислорода и азота, запертыми в расплавленной стали. В результате после охлаждения в стали не остается мелких газовых пузырьков, которые ослабляют ее.

Когда наконец был получен чистый металлический титан, его свойства оказались просто удивительными. Он вовсе не хрупкий, а, наоборот, ковкий и вязкий. Он не подвержен коррозии, особенно если в него добавить немного палладия. Правильно сплавленный, он является самым прочным металлом. (То есть если из килограмма титана вытянуть прут длиной в один метр, то он выдержит больший вес, чем такой же прут из стали. Но поскольку титан легче стали, титановый прут получится толще, чем стальной.)

В короткое время титан стал привлекательным. Промышленность изо всех сил ищет более совершенные способы получения чистого титана. И есть веские основания полагать, что придет день, когда этот пренебрегаемый и «бесполезный» металл будет уступать в важности только железу и алюминию. Ведь он сочетает в себе очень ценные качества — легкость и прочность.

Элементы, находящиеся в периодической таблице ниже титана и в колонке справа от него, во многом похожи, но распространены гораздо меньше.

Это минерал *циркон*, который иногда встречается в виде прозрачных кристаллов и ценится как драгоценный камень. Цирконы можно недорого купить, а выглядеть они будут как настоящие бриллианты. Циркон получил свое название от французского слова, которое пришло из португальского языка, куда пришло из персидского через арабский и означает «золотистый», потому что некоторые цирконы имеют желтоватый оттенок.

В 1824 году Берцелиус выделил из циркона металл, который назвал *цирконием*, впрочем, Клапорт еще в 1789 году предполагал, что этот минерал содержит металл. (Циркон — это силикат циркония.) Цирконий, элемент номер 40, встречается в шестьдесят раз реже титана, но всего лишь в десять раз реже свинца. Как и титан, в неочищенном виде он твердый и хрупкий, но ковкий в очищенном. *Ферроцирконий*, железный сплав, содержащий 20% циркония, используется в качестве очистителя.

И цирконий, и титан применяются в хирургии при соединении костей. *Оксид циркония* (молекула содержит один атом циркония и два кислорода), иногда называемый *циркониевым ангидридом*, весьма огнестоек и применяется для футеровки печей. Его также можно использовать вместо более доро-

гого диоксида олова в качестве глушителя при изготовлении эмалей. Еще оксид циркония хорошо поглощает рентгеновские лучи и совершенно неядовит, поэтому его можно использовать вместо сульфата бария при исследовании кишечного тракта. Но и это еще не все. При нагревании оксид циркония испускает яркий белый свет, поэтому его можно использовать для освещения и для проецирования кинофильмов. Также он, как и кварц, не реагирует на изменения температуры, и из него можно делать лабораторные тигли. В общем, оксид циркония — вещество на все случаи жизни.

Почти всегда рядом с цирконием находится около 1% элемента, стоящего прямо под ним в периодической таблице. (Чистый цирконий, без примеси этого элемента, был получен только в XX веке.) Благодаря периодической таблице химии давно подозревали о существовании этого элемента. В 1911 году один французский химик объявил о том, что он нашел элемент, закрывающий «дыру» под цирконием, и назвал его *кельтий* в честь кельтского племени (галлов), жившего на территории нынешней Франции во времена Древнего Рима. Но тревога была ложной.

В 1922 году венгерский химик Георг де Хевеши и голландский физик Дирк Костер, исследовавшие в Копенгагене циркон, полученный из Норвегии, наконец открыли этот элемент. Они назвали его гафнием от латинского названия Копенгагена (Гафния).

Гафний всегда считался редким металлом, однако на самом деле он встречается на 50% чаще свинца. Его атомный номер 72.

Такая задержка с его открытием (почти столетие после циркония) не удивляет. Вряд ли найдутся еще два так похожих друг на друга элемента, как

цирконий и гафний. Обнаружить небольшое количество одного в большом объеме другого было совсем непросто. Это также означает, что соединения гафния могут применяться в тех же областях, что и соединения циркония. Правда, гафний, будучи более редким, стоит дороже циркония.

Элемент, стоящий в периодической таблице справа от титана, был открыт шведским химиком Н.Г. Сефстрёмом в 1830 году. Он назвал новый элемент (номер 23) *ванадием* в честь скандинавской богини Ванадис. Ванадий так же распространен, как цирконий.

Титан, цирконий и ванадий применяются в качестве добавок при выплавке стали. Циркониевая сталь получается прочной и пуленепробиваемой. Ванадиевая сталь (также содержащая хром) получается очень упругой. Она воспринимает удары без деформации. Поэтому из ванадиевой стали делают пружины, оси, коленчатые и карданные валы. При добавлении титана сталь обретает прочность и износостойкость. Из такого сплава делают рельсы.

Два металла, находящиеся в периодической таблице ниже ванадия, были открыты примерно в то же время. Английский химик Чарльз Хатчет исследовал минерал, присланный из Коннектикута тамошним губернатором в XVII веке. В 1801 году он пришел к выводу, что минерал содержит новый металл, который он назвал *колумбием* от Колумбии — поэтического названия Соединенных Штатов, в свою очередь произошедшего от Христофора Колумба.

С точки зрения происхождения минерала название было правильным, но почему-то не прижилось.

Шведский химик Андерс Экеберг открыл элемент номер 73 и назвал его *танталом* в честь греческого мифологического героя Тантала, который,

возгордившись, оскорбил богов и за это был низвергнут в Аид. В подземном царстве Тантал стоял по горло в воде и терзался жаждой: вода отступала, когда он собирался сделать глоток (отсюда выражение «танталовы муки»). Смысл в том, что, даже будучи помещенным в кислоту, тантал с ней не соединяется.

Поначалу у ученых были сомнения, является ли колумбий другим металлом или просто формой тантала. В 1844 году Генрих Розе доказал, что колумбий является самостоятельным элементом, и назвал его *ниобием* в честь Ниобы, дочери Тантала. Хотя слово «ниобий» признано во всем мире как официальное название элемента номер 41, в США до сих пор его называют колумбием.

Оксиды ванадия, ниобия и тантала весьма тугоплавки и поэтому могут считаться «землями». В растворах эти оксиды образуют слабые кислоты и поэтому называются *кислотными оксидами*, а сами металлы — *переходными металлами*. (Вспомните, что кальций и похожие на него металлы называются «щелочными металлами».)

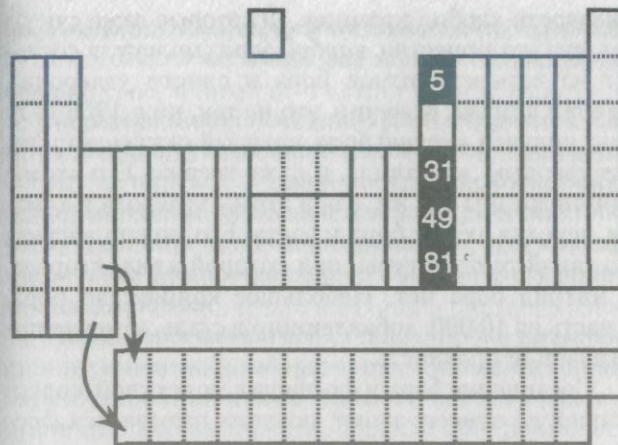
Ниобий и тантал — достаточно инертные металлы и могут применяться вместо платины для изготовления лабораторных тиглей и другого оборудования. Тантал даже в чем-то лучше платины. Он менее подвержен действию кислот и плавится при более высокой температуре — 2996 °C. Одно время из него делали нити для электроламп, но сейчас его заменил вольфрам. Ниобий, добавленный в нержавеющую сталь, повышает ее стойкость к коррозии. Карбид ниобия, карбид циркония, карбид вольфрама и карбид тантала благодаря своей высокой твердости используются как абразивы.

Тантал также применяется в хирургии в качестве черепных накладок, потому что он, как цирко-

ний и титан, не вступает в реакцию с жидкостями, содержащимися в организме.

При сжигании тантал и цирконий дают больше света, чем магний. Их можно использовать при фотосъемках. Конечно, они дороже магния, но это единственный их недостаток.

Из тантала и ниобия делаются тончайшие провода для криотрона (о котором я уже упоминал в 4-й главе). Некоторые сплавы с участием ниобия становятся сверхпроводниками при температурах значительно более высоких, чем все известные вещества. Они становятся сверхпроводниками (см. главу 4) при температуре 18° выше абсолютного нуля.



Глава 21

БОР: ПУСТЫННЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Кроме алюминия, все остальные элементы, стоящие с ним в одной колонке периодической таблицы, считаются редкими. И в этом отличаются от алюминия. Но некоторые из них отличны от алюминия и в других отношениях.

Например, над алюминием в периодической таблице находится элемент *бор* (номер 5), который даже не металл. Это один из трех неметаллов, о которых я обещал рассказать позже.

Из-за своего небольшого размера атом бора больше напоминает атомы углерода или кремния, чем атом алюминия.

Например, бор представляет собой черное, очень твердое вещество с точкой плавления в 2300 °С. Это очень похоже на углерод. Как и кремний, он образует с углеродом соединение, напоминающее по

твердости карбид кремния. Некоторые даже считали, что это вещество, *карбид бора* (молекула состоит из четырех атомов бора и одного углерода), тверже алмаза. Конечно, это не так, но в 1956 году был получен *нитрид бора*, который оказался таким же твердым, как алмаз, и даже тверже. Его атомы организованы так же, как и атомы углерода в алмазе, чередуя атомы бора и азота. Его можно нагреть до такой температуры, при которой алмаз сгорает, а нитрид бора нет. Небольшое количество бора, 1 часть на 10 000, добавленного в сталь, заметно повышает ее прочность.

Соединение бора и фосфора с молекулой, содержащей по одному атому каждого, называется *фосфидом бора*. Его можно использовать в качестве транзистора (см. главу 17) при температурах, которые разрушают обычные транзисторы из кремния или германия.

Бор также напоминает углерод способностью образовывать серии сложных соединений с водородом. Сейчас такие *гидриды бора* применяют для повышения октанового числа бензина. Кроме того, они являются компонентами топлива для больших ракет. Итак, бор еще один из первых элементов группы, напоминающий своими свойствами элементы смежных групп, а не своей.

Оксид бора (с молекулой, содержащей два атома бора и три кислорода) в чем-то напоминает диоксид кремния. Он может быть сплавлен с диоксидом кремния для получения *боросиликатного стекла*.

Боросиликатное стекло расширяется или сжимается под действием температуры гораздо меньше, чем обычное стекло, и не трескается при резком перепаде температур. В этом отношении оно с успехом заменяет кварц и к тому же гораздо легче об-

рабатывается. И естественно, изделия из боросиликатного стекла во много раз дешевле изделий из кварца.

На рынке такое стекло называется *пирексом*. Почти в каждой кухне в наши дни можно обнаружить посуду из пирекса. В такой посуде можно готовить непосредственно на газовой или электрической плите. Бутылочки с детским питанием из боросиликатного стекла можно помещать в подогреватель прямо из холодильника.

Также боросиликатное стекло широко применяется в химических лабораториях. Большинство лабораторных химических стаканов, колб, прочих сосудов сделано из пирекса. Зеркало 200-дюймового телескопа на горе Паломар сделано из разновидности пирекса. С тонкими прядями боросиликатного стекла («стекловата») можно обращаться как с волокнами хлопка. Из такого волокна, *фибергласа*, можно ткать огнеупорные ткани.

Самое известное соединение бора — *бура*. Его химическое название *тетраборнокислый натрий*, а молекула состоит из двух атомов натрия, четырех атомов бора и семи кислорода. Это вещество известно с давних времен. Название «бура» пришло из персидского языка. Когда французские ученые Жозеф-Луи Гей-Люссак и Луи Жак Тенар первыми выделили не совсем чистый бор в 1808 году, они дали ему название, произведенное от названия известного соединения.

Так, и бор, и цирконий имеют названия с персидскими корнями. Кристаллы чистого бора были получены только в 1910 году.

Бура применяется для смягчения воды. Так же как и карбонат натрия, она соединяется с соединениями кальция, магния или железа, которые могут быть растворены в воде, образуя нерастворимый

осадок, который легко удаляется. Кроме того, бура применяется для приготовления низкоплавких глазурей и эмалей и может использоваться в качестве флюса (см. главу 7) при пайке и сварке.

Лучшим источником буры являются некоторые высохшие озера на западе США. Несколько десятилетий назад самым богатым источником была Долина Смерти в Калифорнии. Оттуда тянулись вереницы знаменитых упряжек по 20 мулов (десять пар мулов, запряженных одна за другой). Сейчас в Калифорнии обнаружены и более богатые месторождения. Кстати, именно поэтому я назвал бор «пустынным элементом».

Другим известным соединением бора является *борная кислота*. Ее молекула содержит три атома водорода, один бора и три кислорода. Эта кислота настолько слабая, что ее можно и не считать кислотой. Она является слабым антисептиком и в виде водного раствора применяется для промывания глаз. Вы можете представить, насколько это слабая кислота, раз ее выдерживают нежные ткани глаза.

Бор является необходимым микроэлементом для растений. Животные, однако, похоже, в нем не нуждаются.

Прямо под алюминием в периодической таблице находится элемент, который является еще одним примером предвидения русского химика Менделеева. В 1871 году он указал на пустое место под алюминием и предсказал свойства элемента (он назвал его *экаалюминием*), который должен там находиться. Когда элемент номер 31 был открыт французским химиком Лекоком де Буабодраном в 1875 году, Менделеев опять оказался прав. Элемент назвали галлием в честь Галлии, римского наименования современной Франции. Однако «лекок» по-французски означает петух, а «галлос» на латыни то же

самое. Поэтому некоторые до сих пор считают, что Буабодран назвал элемент в свою честь.

У галлия необычно низкая точка плавления — 30°C (86°F). Он расплавится летним днем или у вас на ладони, поскольку температура человеческого тела составляет 37°C . Однако кипит он при 1600°C . Из-за такой способности галлий используют как жидкость для высокотемпературных термометров. Ртуть для этих целей не подходит, поскольку закипает уже при 350°C .

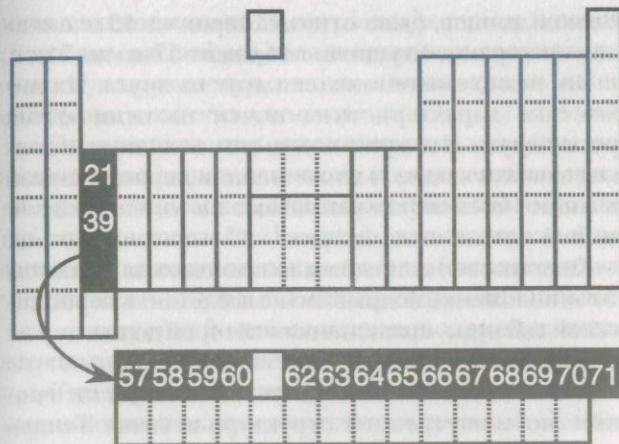
Ниже галлия в периодической таблице находятся *индий*, номер 49, и *таллий*, номер 81. Оба открыты методом спектроскопии. В 1863 году немецкие химики Фердинанд Рейх и Теодор Рихтер обнаружили в спектре линию, не принадлежащую ни одному из известных элементов. Поскольку линия была цвета индиго, они назвали новый элемент индием. Индий иногда применяется для нанесения защитного покрытия на серебро. Это один из самых мягких металлов — его можно резать ножом.

Несколько ранее, в 1861 году, английский химик Уильям Крукс так же отметил новую линию в спектре. Поскольку она была зеленой, он назвал элемент таллием от греческого слова «молодая зеленая веточка».

Таллий — странный элемент. Он настолько похож на многие другие элементы, что химики прозвали его утконосом периодической таблицы. (Утконос — это австралийское животное, которое имеет шерсть, как млекопитающее, но несет яйца, как птицы и рептилии. У него есть клюв и перепончатые лапы, как у утки, но на задних лапах есть шпоры, как у петуха. А эти шпоры, в свою очередь, ядовиты, как змеиные зубы.) У таллия, правда, не так все плохо, но достаточно, чтобы озадачить химиков. Этот металл мягкий и тяжелый, как свинец, и так же плавится при

низкой температуре. Его соединения так же ядовиты, как соединения свинца. (*Сульфат таллия*, состоящий из двух атомов таллия, одного серы и четырех кислорода, используется для уничтожения муравьев. Первым симптомом отравления таллием является выпадение волос.) Однако таллий образует оксид, который больше походит на оксиды марганца и алюминия, чем на оксид свинца. И в довершение он образует соединения, которые напоминают аналогичные соединения натрия и калия, элементов, находящихся на другом конце периодической таблицы.

Если одну часть таллия смешать с одиннадцатью частями ртути, то такая смесь не замерзнет и при -60°C . По-моему, это самая низкая точка замораживания, зафиксированная для металлов или сплавов.



Глава 22

ИТТРИЙ: СКАНДИНАВСКИЙ ЭЛЕМЕНТ

В 1794 году ученый по имени Юхан Гадолин, финн по национальности, обнаружил недалеко от шведского городка Иттербю новый минерал. Он назвал его *иттрия*. Выяснилось, что минерал содержит новый элемент, который, естественно, называли *иттрием*. Это был элемент номер 39.

Но история на этом не заканчивается. Ее развитие на некоторое время поставило химиков в тупик. В 1843 году Карл Мозандер расщепил минерал на три части с разными химическими свойствами. За одной из частей осталось название иттрия. Две другие он назвал *тербия* и *эрбия*, оба названия также произведены от городка Иттербю.

Затем химики один за другим стали открывать в этих и подобных им минералах новые элементы.

В конце концов, была открыта серия из 15 элементов с номерами, идущими подряд от 57-го до 71-го.

Все эти элементы похожи друг на друга. Их химические характеристики почти не отличаются друг от друга. Что хуже всего, они, похоже, все должны занимать одно и то же место в периодической таблице. Их свойства указывают на то, что им всем место в клетке ниже иттрия.

Конечно, это встревожило и озадачило химиков. Такое положение подрывало незыблемость периодической таблицы, правильность которой до сих пор не вызывала сомнений.

К счастью, в начале XX века стало достаточно известно о внутренней структуре атомов. Теперь мы знаем, почему эти элементы так похожи, и ответили им специальное место в периодической таблице.

В общих чертах объяснить ситуацию можно так: число электронов в атоме каждого конкретного элемента совпадает с его номером. Например, иттрий, имеющий номер 39, содержит по 39 электронов в каждом атоме. Если мы просмотрим всю периодическую таблицу начиная с номера 1 (водород), мы увидим, что новые электроны добавляются во внешние слои атома. Химические свойства элементов зависят от расположения электронов.

После номера 57 по причинам слишком сложным, чтобы объяснять их здесь, новые электроны добавляются не во внешние, а во внутренние слои атома.

Расположение же электронов во внешнем слое остается одним и тем же для элементов от номера 57 до номера 71.

Расположение электронов внешнего слоя определяет место элемента в периодической таблице. Исходя из этого элементы с 57-го по 71-й должны занимать одно и то же место, поскольку организа-

ция внешнего слоя электронов у них одинакова. Конечно, расположение электронов во внутренних слоях различается, но это не сильно влияет на химические свойства элемента.

Представьте, что есть пятнадцать семей, живущих в пятнадцати одинаковых домах в пригороде. Все дома одинаковы, и газоны перед ними одинаково подстрижены. Все семьи имеют одинаковый достаток. Различия начинаются в меблировке домов, но вы этого не увидите, глядя снаружи. Мебель — это «внутренний слой электронов», а все, что видно снаружи, — «внешний слой».

Как я отмечал ранее, первые химики называли соединения кислорода с металлами «землями». Оксиды кальция и магния — «щелочные земли», тогда как оксиды ванадия и тантала — «кислотные». Оксиды новых элементов из иттрия также называли землями, но «редкими землями», потому что они встречаются значительно реже, чем оксиды кальция или магния. Сами элементы получили название *редкоземельных элементов*.

Однако, если собрать все редкоземельные элементы вместе, их окажется больше, чем меди или свинца.

Некоторые из них встречаются чаще, чем олово, но другие по-настоящему редки. Тем не менее даже редких больше, чем золота или платины.

Три из редкоземельных элементов названы в честь Иттербю. Это *тербий* (номер 65), *эрбий* (номер 68) и *иттербий* (номер 70). Тербий и эрбий были открыты Мозандером в 1843 году. Он выделил их из тех частей иттрия, которые он назвал тербиа и эрбиа.

Иттербий был открыт Ж. Мариньяком в 1878 году.

Интересно, что нет элементов, названных в честь великих городов мира. Нет элемента, названного в

честь Нью-Йорка, Лондона, Москвы, Токио, Шанхая, Берлина или Буэнос-Айреса. Есть один элемент, названный в честь Парижа, да и то его старинного названия. А здесь мы имеем не менее четырех элементов: иттрий, иттербий, тербий и эрбий, названных в честь неизвестного шведского городка, о котором вряд ли кто слышал за его пределами.

Два других элемента из редкоземельной группы также получили скандинавские названия. В 1879 году П.Т. Клеве открыл элементы под номерами 67 и 69. Номер 67 он назвал *гольмием* в честь Стокгольма, столицы Швеции. А номер 69 получил название *тулий* в честь Туле, древней загадочной северной страны, которая современными историками идентифицируется со Скандинавией.

В 1880 году Мариньяк открыл элемент номер 64, который он назвал *гадолинием* в честь Гадолина, финского химика, открывшего иттрий. Таким образом, почти половина редкоземельных элементов имеют названия, связанные со Скандинавией. Поэтому я и назвал иттрий скандинавским элементом в начале главы.

Гадолиний необычен в первую очередь тем, что он обладает слабыми магнитными свойствами. Это единственный элемент, кроме железа, никеля и кобальта, с такими свойствами. Ни один из остальных редкоземельных элементов магнитными свойствами не обладает.

Так как редкоземельные элементы очень похожи друг на друга, у химиков всегда возникали проблемы с отделением одного элемента от другого. (Вы знаете, как сложно бывает различить двойняшек-близнецов. А теперь представьте, что их пятнадцать.)

Химики тоже люди, и они порой выходили из себя. Элемент номер 57, открытый Мозандером в

1839 году, был назван *лантаном* от греческого слова «таиться». Лекок де Буабодран был еще резче: когда он открыл элемент номер 66 в 1886 году, он назвал его *диспрозием* от греческого слова «трудно-доступный».

Лантан — первый из редкоземельных элементов, с самым малым атомным номером. Поэтому иногда редкоземельные элементы называют *лантаноидами*. Лантан — самый распространенный редкоземельный элемент. По виду он напоминает железо.

Элементы номер 59 и 60 были открыты Ауэром фон Вельсбахом в 1885 году. Элемент номер 59 он назвал *празеодимом* от греческого «зеленый близнец», потому что тот образовывал зеленые соединения. Элемент номер 60 он назвал *неодимом* от греческого «новый близнец». Слово «близнец» указывает на схожесть обоих элементов и на проблемы, возникающие при их разделении. Неодим, как и лантан, является одним из самых распространенных редкоземельных элементов.

В 1879 году Лекок де Буабодран открыл элемент номер 62 в минерале самарските, полученном из России и названном в честь русского горного инженера Самарского. Буабодран назвал новый элемент *самарием* и тем увековечил русского инженера. Самарий — самый твердый из редкоземельных элементов. По твердости он не уступает некоторым сортам стали.

Некоторые из редкоземельных элементов не были открыты вплоть до начала XX века. В 1901 году Евгений Демарсэ открыл элемент номер 63, который назвал в честь Европы *европием*. В 1907 году Жорж Урбен открыл элемент номер 71, который он назвал *лютецием* в честь старинного латинского названия столицы Франции Парижа.

Самый распространенный редкоземельный элемент номер 58. Он и открыт был первым. Клапрот

в Германии и Берцелиус и Гиченгер в Швеции сделали это в 1803 году и назвали элемент *церием* в честь Цереры — самого большого из астероидов, открытого двумя годами ранее. Церий выделяется легче, чем прочие редкоземельные элементы, поскольку обладает некоторыми химическими свойствами, которых нет у других. Благодаря им его легко выделить из любой смеси.

Церий достаточно часто встречается и достаточно легко очищается для практических нужд. До появления электрического освещения использовался газ или керосин. Свет был желтым, тусклым и к тому же мерцающим. Чтобы улучшить освещение, вокруг пламени устанавливали перфорированный цилиндр, который назывался *газокалильная сетка*. Под действием тепла сетка начинала светиться более ярким, устойчивым и белым светом, чем само пламя. В состав материала, из которого изготавливалась сетка, входил *оксид церия*, с молекулой, состоящей из двух атомов церия и трех кислорода.

Церий горит ярким белым пламенем, почти таким же, как и магний. Это также полезное свойство. Церий может входить в состав сплава с железом (семь частей церия на три части железа), называемого *ферроцерий* или *mishmetal*. По-немецки это означает «смешанный металл», потому что он содержит, помимо церия, небольшие количества других редкоземельных элементов.

Этот сплав используют в зажигалках. Колесико из него дает более горячие искры, чем из железа или стали, и потому легче поджигает пары бензина. Редкоземельные металлы, добавленные в уголерод, делают дуговые лампы ярче.

Во время Второй мировой войны в процессе работы над атомной бомбой возникла необходимость быстрого выделения редкоземельных элементов.

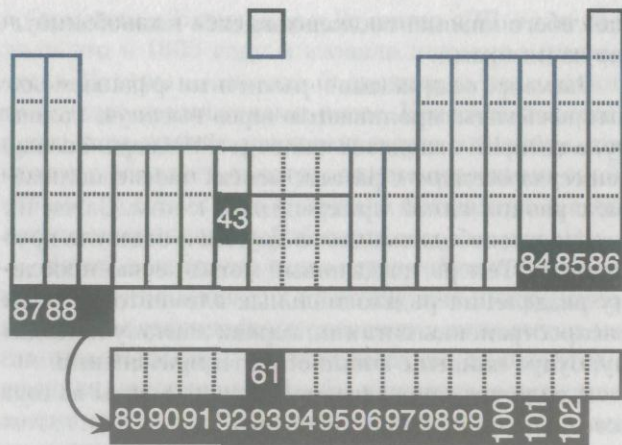
Для этого химики воспользовались ионообменными полимерами.

Раствор, содержащий различные редкоземельные элементы, проливается через высокую колонну, в которой находятся частицы полимера. Разные вещества оседают в разных местах частиц полимера, с разной силой прикрепляясь к ним. Затем их можно высвободить одно за другим и отделить друг от друга. Теперь, когда новый метод решил проблему разделения редкоземельных элементов, самым распространенным из них, церию, лантану и неодиму, будут найдены новые области применения.

А если так, то редкоземельные элементы начнут вагонами поступать в продажу.

Если вы просмотрите эту главу, вы заметите, что я не упомянул элемент номер 61. Это не случайность. Я объясню это в следующей главе.

В конце главы следует рассказать еще об одном элементе. Редкоземельные элементы в периодической таблице находятся ниже иттрия. Но есть один, находящийся выше. Это элемент номер 21, и это третий элемент, чьи свойства были предсказаны Менделеевым. Он был открыт Л.Ф. Нильсоном в 1897 году и назван *скандием* в честь Скандинавии. И на этой замечательной ноте я и закончу главу о «скандинавских элементах».



Глава 23

УРАН: НЕСТАБИЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

В этой книге я рассказал о восьмидесяти одном различном элементе. Начиная с номера 1 (водород) и кончая номером 83 (висмут). (Получается восемьдесят один элемент, потому что номер 43 и номер 61 были пропущены.)

Все эти элементы, о которых я рассказал, имеют кое-что общее. Все они *стабильны*, то есть единственный атом любого из этих элементов остается таковым навсегда.

Это все стабильные элементы, которые мы знаем, и, скорее всего, единственные из возможно существующих.

Но есть и другие элементы. В самом начале книги я говорил, что элементов 102. Значит, есть еще 21 элемент. Эти элементы нестабильны, то есть атом любого из этих элементов, оставленный сам

по себе, со временем превращается в какой-нибудь другой атом.

Самым распространенным из них, раньше всех открытым и самым главным является *уран*, элемент номер 92. Его открыл Клапорт в 1789 году, исследуя минерал *настуран*. Новый элемент он назвал в честь недавно открытой планеты Уран.

Настуран содержит *оксид урана*, молекула которого состоит из трех атомов урана и восьми кислорода. Уран очень плохо поддается очистке. Он так же активен, как титан и подобные ему металлы, и поэтому неохотно расстается с примесями. В чистом виде уран не удавалось получить до 1942 года, когда он отчаянно потребовался для создания атомной бомбы. Получившийся металл был серебристо-го цвета и такой же тяжелый, как золото.

В течение столетия после открытия для урана почти не находилось применения. Например, месторождение настурана в Чехословакии разрабатывалось с XVI века, но ради серебра. Когда к XIX веку серебро закончилось, там продолжали добывать свинец. Затем и он закончился. И потом до 40-х годов XX века никто не вспомнил о том, что там есть уран.

Некоторые соединения урана добавлялись в стекло для получения канареечно-желтого цвета. Другие соединения использовались для окраски керамики.

Вот, собственно, и все области применения урана. Даже химики проявляли интерес к элементу только потому, что некоторые его соединения флуоресцировали, то есть в ультрафиолетовых лучах ярко светились желтым.

В 1896 году французский физик Антуан Анри Беккерель совершенно случайно обнаружил, что атомы урана испускают несколько видов странно-

го излучения, никогда ранее не виданного. (Такое свойство позже назвали *радиоактивностью*.) Ураном сразу же заинтересовались. Многие химики и физики начали его изучать.

Обнаружилось, что некоторые виды излучения урана состоят из частиц меньше атомов. Их назвали *субатомными частицами*. Другие виды излучения были похожи на рентгеновское, но гораздо сильнее. Несколько ученых умерли от воздействия излучения урана и похожих элементов, пока люди не осознали опасность радиоактивности.

В результате изучения природы этого излучения ученые много узнали о внутреннем строении атомов. Они обнаружили, что атомы состоят из субатомных частиц различных видов. Научились использовать эти частицы, чтобы превращать один атом в другой. (Такие изменения называются *ядерными реакциями*.) Поняли, как построить *ядерный реактор*, чтобы получать полезную энергию из ядерных реакций. И даже создали *атомную бомбу*. Теперь казавшийся бесполезным уран стал одним из самых ценных элементов и, конечно, самым пугающим.

Первое, что обнаружили ученые, — это то, что атомы урана постоянно разлагаются (или распадаются). Каждый атом урана рано или поздно выбрасывает с большой силой часть находящихся в нем субатомных частиц. Эти разлетающиеся частицы и составляют излучение, обнаруженное Беккерелем.

При этом атом урана перестает быть таковым и становится другим атомом.

Вы можете удивиться, почему уран до сих пор существует, если его атомы постоянно распадаются. Дело в том, что распад происходит очень медленно. Конечно, атом урана рано или поздно

распадется, но обычно поздно. Допустим, в 20 г урана содержится более миллиона атомов, которые каждую секунду распадаются. Но атомы такие маленькие и их так много, что потребуется около пяти миллиардов лет, чтобы распалась хотя бы половина этого количества. Ну а поскольку наша Земля существует менее четырех миллиардов лет, то весь уран по-прежнему с нами. Более того, он останется еще на многие, многие годы, если мы сами не используем его на нужды атомной энергетики.

Торий, элемент номер 90, по своим свойствам очень похож на уран. Он был открыт в 1828 году Берцелиусом в минерале *торите*, полученном из Норвегии. Минерал был назван в честь древнескандинавского божества Тора. Торит содержит *силикат тория* с молекулой, состоящей из одного атома тория, одного кремния и четырех кислорода. В США встречается минерал, который называется *моназит*. Он содержит торий в виде *диоксида тория* (обычно называется *окись тория*), молекула которого состоит из одного атома тория и двух кислорода.

Диоксид тория применялся в газонакалильных сетках, о которых я уже рассказывал. Газонакалильная сетка на 99% состоит из диоксида тория, но, поскольку чистый диоксид тория при нагревании дает очень слабый свет, к нему добавляли оксид церия (1%), чтобы увеличить яркость свечения. И хотя сейчас газонакалильные сетки уступили место электрическим лампам накаливания, их еще кое-где используют.

Соседняя с моей улица до сих пор освещается газовыми фонарями, и живущие на ней люди не хотят их менять. Они старомодны и, как все жители Новой Англии, любят старину.

Оксид тория — огнеупорное вещество, и добавление небольшого его количества к вольфраму продлевает жизнь нитей накаливания в электрических лампочках.

Торий так же радиоактивен, как уран, и испускает те же виды излучений. Торий распадается медленнее урана. С момента формирования Земли распалась только пятая часть всего тория.

Когда атомы урана или тория распадаются, они превращаются в другие атомы. Эти также радиоактивны и, в свою очередь, тоже распадаются, превращаясь в более простые атомы. В конце концов, после десятка превращений, образуется стабильный атом. И с чего бы ни начинался распад, последним (стабильным) будет атом свинца!

Среди атомов, которые формируются на пути от урана или тория (элементы номер 92 и 90) к свинцу (элемент номер 82), имеются все элементы от 84-го до 91-го. Это все радиоактивные элементы, и они нестабильны. Все они со временем распадаются, причем быстрее урана или тория. Если бы элементы с 84-го до 91-го существовали в больших количествах сами по себе, то за несколько миллионов лет от них не осталось бы и следа. Некоторые распались бы за несколько дней. Они существуют до сих пор исключительно за счет распада урана и тория, при котором постоянно образуются атомы этих элементов.

Все минералы, содержащие уран или торий, в небольших количествах содержат каждый из этих *дочерних элементов*. Поэтому настуран остается радиоактивным после извлечения из него всего урана.

Пьер и Мария Кюри, семейная команда ученых, работали с настураном после извлечения из него урана. Они пытались выделить оставшиеся радио-

активные элементы. Можете представить, какая это была тяжелая работа, если я вам скажу, что доля дочерних элементов в настуране составляла менее одной части на три миллиона. Тонна настурана содержит всего три тысячных грамма того, что они искали. К счастью, у них было достаточно руды для работы. Правительство Австро-Венгрии (куда входила и Чехословакия) предоставило им «бесполезный» материал практически даром. Им пришлось оплатить только перевозку, но и на это ушли почти все их деньги.

И они нашли то, что искали. В 1898 году они открыли *полоний*, элемент номер 84, который назвали в честь Польши — родины Марии Кюри. В том же году они открыли *радий*, элемент номер 88, правда в виде соединения. Металлический радий им удалось получить в 1910 году. Его название происходит от латинского слова «луч». Оба элемента гораздо более радиоактивны, чем уран или торий. Мощное излучение радия использовали для уничтожения раковых клеток в человеческом организме, но приходилось быть очень осторожным, поскольку радиоактивное излучение само по себе может вызывать рак. (Сейчас существуют более совершенные и безопасные методы применения радиоактивности в таких целях.)

Несмотря на свою нестабильность, такие элементы заняли свои места в периодической таблице наряду со стабильными элементами. Радий является щелочно-земельным элементом. Его место прямо под барием, и он очень напоминает барий по своим химическим свойствам.

Полоний располагается ниже теллура и также очень на него похож.

Когда атом радия распадается, из него формируется атом *радона*, элемент номер 86. Радон явля-

ется газом, радиоактивным газом! В периодической таблице он вписывается в колонку инертных газов, прямо под ксеноном, и обладает всеми химическими характеристиками других инертных газов.

Радон был открыт в 1900 году Фридрихом Эрнестом Дорном, который назвал его *эманацией радия* потому, что он эманировал (истекал) из радия. В 1908 году Уильям Рэмзи и Р. Уайтлоу-Грей собрали газ и назвали его *нитроном* от греческого слова «сияние». Тем не менее в 1923 году за газом закрепилось официальное название «радон», указывающее на то, что газ появляется из радия.

В 1899 году Дебьерн открыл элемент номер 89, который он назвал *актинием* от греческого слова «луч». Затем, в 1917 году, две пары химиков (Фредерик Содди и Джон Крэнстон в Англии и Отто Ган и Лиза Майтнер в Германии) независимо друг от друга объявили об открытии элемента номер 91. Поскольку элемент номер 91 при распаде превращается в актиний, его назвали *протактинием*. Приставка «прот» в названии элемента происходит от греческого слова «первый» «исходный», «начальный». То есть протактиний значит «предшествующий актинию».

Газы также образуются при распаде тория и актиния (к последнему я еще вернусь) и называются *торон* и *актинон* соответственно. Но они, как выяснилось, являются разновидностями радона. Было даже предложение назвать элемент *эманом* (от «эманации»), поскольку он образуется не в результате распада радия, как радон.

Еще у нас остались элементы номер 85 и 87, о которых тоже следует упомянуть.

Эти элементы настолько нестабильны и так быстро распадаются, что от них почти ничего не оста-

ется. Собственно, поэтому на протяжении многих лет они не были обнаружены.

После 1925 года, когда был открыт рений, в периодической таблице осталось только четыре «дыры». В них должны были поместиться элементы номер 43, 61, 85 и 87. Элементы номер 85 и 87 были явно радиоактивными, и ученые предполагали, что они нестабильны и что выделить их будет весьма сложно.

Другая ситуация сложилась с элементами номер 43 и 61. Они находились в окружении стабильных элементов, и предполагалось, что и они будут стабильными. Их и искали исходя из такой предпосылки.

Элемент номер 43 в периодической таблице занимает место над рением. В 1925 году те же немецкие химики, что открыли рений, объявили об открытии элемента номер 43. Это был «экамарганец», о котором я упоминал в связи с рением в конце главы 19. Они назвали его *мазурием* в честь Мазурии — области в Германии. Но мы знаем, что элемент номер 43 нестабилен. Более того, поскольку не формируется на основе какого-либо другого элемента, никаких его следов в природе найдено не было. Похоже, что химики, объявившие об открытии мазурия, ошибались.

То же приключилось и с элементом номер 61. Американские химики объявили о его открытии в 1926 году и назвали элемент *иллинием* в честь штата Иллинойс. Итальянские химики заявили, что открыли его раньше, и назвали *флоренцием* в честь итальянского города Флоренция. Вокруг этого было много споров, но обе группы химиков ошибались.

Элемент номер 61 еще более нестабилен, чем элемент номер 43, и оба они в природе не существуют.

Но как же мы узнали об этих элементах, если их нет в природе? В 1919 году английский ученый Эрнст Резерфорд первым понял, как превратить один атом (даже стабильный) в другой путем бомбардировки его субатомными частицами. Прошли годы экспериментов, и ученые научились целенаправленно получать атомы новых видов.

Так, в 1937 году два молодых химика Карло Перье и Эмилио Сегре изучали образец элемента номер 42 (молибдена), бомбардируя его субатомными частицами, и обнаружили в них сформировавшиеся атомы нового элемента, которого ранее не существовало на Земле. Это был сосед молибдена по периодической таблице элемент номер 43. Они называли его *технецием* от греческого слова «искусственный». Нового элемента получилось достаточно для его изучения. Сейчас технеций — это официальное название элемента номер 43, а мазурий канул в Лету. Технеций был первым *искусственным элементом*.

В 1948 году три химика Джейкоб Марински, Лоренс Гленденин и Чарльз Кориелл получили атомы элемента номер 61 и называли *прометием* в честь Прометея, греческого титана, который похитил с неба огонь и отдал его людям. (Очевидно, они думали об атомном огне при взрыве бомбы, который по своей природе очень близок к солнечному.) Прометий стало официальным названием элемента.

Что касается элементов номер 85 и 87, то один американский химик объявил в 1931 году об их выделении.

Элемент номер 85 он назвал *алабанином*, а элемент номер 87 *виргинием* в честь штатов Алабама и Виргиния. Остальные химики были в сомнении.

Из всех элементов технеций обретает сверхпроводимость при самой высокой температуре (11°

выше абсолютного нуля), впрочем, некоторые сплавы (но не чистые элементы) показывают и лучшие результаты. Определенные соединения технеция, называемые *пертехнатами*, весьма эффективны в защите железа и стали от коррозии. Для этого металл достаточно окунуть в раствор пертехната. Правда, технеций слишком дорог, чтобы его применение было коммерчески выгодно.

В 1939 году французский химик Маргарита Пере определенно выделила элемент номер 87 из продуктов распада урана. Сначала она назвала его *актинием К*, но потом переименовала во *франций* в честь Франции. Ее данные были приняты, и «франций» стало официальным названием. В следующем, 1940 году Д.П. Корсон, К.Р. Мак-Кензи и Э. Сегре получили элемент номер 85, который они называли *астатом* от греческого слова «нестабильный». И это стало официальным названием элемента.

Астат и франций принадлежат к известным группам элементов. Франций — щелочной металл и в периодической таблице находится прямо под цезием. Астат — галоген и в таблице находится сразу ниже йода.

Астат и радон — единственные из нестабильных элементов, которые являются неметаллами. Они замыкают список неметаллов, содержащий 22 элемента. Астат обнаружили в продуктах распада урана в 1943 году.

К 1948 году в периодической таблице была закрыта последняя пустая клетка, но открытия новых элементов не прекратились. На протяжении 150 лет уран (элемент номер 92) считался последним, но почему бы не существовать элементам с номером выше 92?

И оказалось, что никаких ограничений нет. Группа американских ученых, самый известный из

них Глен Сиборг, начала получать один за другим элементы с номерами выше 92. Они работали в Калифорнийском университете в Беркли, где среди элементов с номерами ниже 92 были получены технеций и аstat. Прометий был получен в Национальной лаборатории Оук-Ридж в штате Теннесси.

Элементы, стоящие в периодической таблице за ураном, называют *трансурановыми элементами*. Все трансурановые элементы нестабильны и (за одним исключением) в природе не встречаются.

В 1940 году были получены элементы номер 93 и 94. Поскольку элемент номер 92, уран, был назван в честь планеты Уран, элементы номер 93 и 94 были названы в честь планет, находящихся дальше Урана. Это Нептун и Плутон. Поэтому элемент номер 93 был назван *нептунием*, а элемент номер 94 — *плутонием*. Эрвин Макмиллан и Ф. Абельсон первыми обнаружили трансурановый элемент. В 1951 году Макмиллан и Сиборг были удостоены Нобелевской премии за свою работу по трансурановым элементам.

Иногда атомы урана распадаются так, что образуются атомы плутония. Очень малые количества плутония были зафиксированы в урановых рудах.

Плутоний — единственный трансурановый элемент, который существует в природе и является природным элементом с высшим атомным номером. Искусственный плутоний тем не менее производится в таких количествах, что килограммы и килограммы его могут использоваться на атомных электростанциях и в атомных бомбах.

Выяснилось, что плутоний встречается в урановых рудах. Урановые руды всегда содержат плутоний, но очень немного, всего одну стотриллионную часть от количества урана. Он образуется в результате радиоактивного распада урана. Нептуний по

идее тоже должен встречаться в рудах, но его количество еще меньше, чем плутония.

Ученые сразу заметили, что нептуний и плутоний имеют химические свойства, очень похожие на уран и торий. Они пришли к выводу, что снова имеют дело с ситуацией, аналогичной «редким землям», то есть серией очень похожих элементов.

Поскольку новая серия начинается с актиния, элементам дали общее название *актиноиды*, так же как и в случае с лантаноидами. В периодической таблице актиноиды расположены сразу под лантаноидами: актиний под лантаном, торий под церием, протактиний под празеодимом, уран под неодимом, нептуний под прометием и плутоний под самарием.

Ученые Калифорнийского университета продолжили работу по поиску новых элементов. В 1944 году был открыт элемент номер 95. Поскольку он находится под европием, его для равновесия решили назвать *америций*. В 1946 году был открыт элемент номер 96. Этот элемент находился под гандолинием, который был назван в честь химика, который много сделал для открытия редкоземельных элементов. Поэтому элемент номер 96 называли *кюрием* в честь супругов Кюри, которые внесли огромный вклад в изучение радиоактивности.

Актиноиды некоторыми свойствами похожи на лантаноиды. Например, торий обычно обнаруживается в рудах, содержащих лантаноиды. *Моназит*, основная руда тория, также содержит и лантаноиды. Химические процессы, способствующие концентрации конкретного элемента в конкретном месте на Земле, также способствуют концентрации элементов со сходными свойствами в одном месте. Вот почему все лантаноиды находятся вместе, почему гафний встречается в рудах циркония, почему

водо-
род

гелий

литий	берил- лий											бор	угле- род	азот	кисло- род	фтор	неон
натрий	маг- ний											алю- миний	крем- ний	фос- фор	сера	хлор	аргон
калий	каль- ций	скан- дий	титан	вана- дий	хром	мар- ганец	желе- зо	ко- бальт	медь	цинк	гал- лий	гер- маний	мышь- як	селен	бром	крип- тон	
руби- дий	строн- ций	иттрий	цирко- ний	ниобий	моли- бден	тех- неций	руте- ний	родий	сере- бро	кад- мий	индий	олово	сурь- ма	теллур	йод	ксенон	
цезий	барий	ланта- ноиды	гаф- ний	тантал	воль- фрам	рений	осмий	ири- дий	золото	ртуть	тал- лий	сви- нец	вис- мут	поло- ний	астат	радон	
фран- ций	радий	акти- ноиды															
			лантан	церий	празе- одим	нео- дим	проме- тий	самар- ий	гадо- линий	тербий	дис- прозий	голь- мий	эрбий	тулий	иттер- бий	люте- ций	
			акти- ний	торий	протак- тиний	уран	неп- туний	плуто- ний	кюрий	бер- клий	кали- фор- ний	эйнш- тейний	фер- мий	менде- левий	нобе- лий		

кадмий встречается в рудах цинка, почему платину находят в никелевых шахтах и т. д.

Элемент номер 97 был открыт в 1949 году, а элемент номер 98 в 1950. Они называются *берклий* и *калифорний* в честь города и штата, где это произошло.

В 1954 году открыли элементы номер 99 и 100. Официальные названия они получили в 1955 году. Элемент номер 99 получил название *эйнштейний* в честь немецкого ученого Альберта Эйнштейна, а элемент номер 100 получил название *фермий* в честь итальянского ученого Энрико Ферми. (Оба в конце жизни стали гражданами США.) И Эйнштейн, и Ферми сделали важные открытия, позволившие лучше понять природу атома.

В 1955 году был открыт элемент номер 101 и получил название *менделевий* в честь русского химика Менделеева, который разработал периодическую таблицу. И наконец, в 1957 году команда из американских, английских и шведских ученых, работающих в Нобелевском институте физики в Стокгольме, получила элемент номер 102. Они дали ему название *нобелий* в честь института, который, в свою очередь, носил имя Альфреда Нобеля, великого шведского эксперта по взрывчатым веществам, разработавшего динамит и который незадолго до смерти основал комитет по награждению знаменитыми Нобелевскими премиями.

Будут ли открыты новые элементы? Может быть! Но открыть что-то новое становится все сложнее и сложнее, потому что каждый следующий трансурановый элемент еще менее стабилен и работать с ним еще труднее. Химики, правда, не теряют надежды достичь элемента номер 104. Причина в том, что на элементе номер 103 заканчивается группа актиноидов. Следующий элемент должен занять

в периодической таблице клетку под гафнием и обладать новыми химическими свойствами. Это было бы еще одним подтверждением полезности периодической таблицы. Но пока не открыт элемент номер 103, химики не нуждаются в таком подтверждении.

Ну вот! Обзор закончен. Перед вами сто два разных элемента (восемьдесят один из них стабилен), из которых построено все во Вселенной, включая вас, меня и далекие звезды.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Введение. Сто два</i>	7
<i>Глава 1. Кислород: элемент воздуха</i>	13
<i>Глава 2. Водород: самый легкий элемент</i>	25
<i>Глава 3. Азот: «безжизненный» элемент</i>	37
<i>Глава 4. Гелий: самодостаточный элемент</i>	48
<i>Глава 5. Углерод: элемент жизни</i>	57
<i>Глава 6. Кремний: элемент суши</i>	74
<i>Глава 7. Хлор: зеленый элемент</i>	83
<i>Глава 8. Сера: желтый элемент</i>	98
<i>Глава 9. Фосфор: светящийся элемент</i>	107
<i>Глава 10. Алюминий: кухонный элемент</i>	116
<i>Глава 11. Железо: прочный элемент</i>	128
<i>Глава 12. Натрий и калий: активные элементы</i>	142
<i>Глава 13. Кальций: костяной элемент</i>	156
<i>Глава 14. Магний: зажигательный элемент</i>	168
<i>Глава 15. Медь, серебро и золото: денежные элементы</i>	180
<i>Глава 16. Платина: благородный элемент</i>	194
<i>Глава 17. Олово и свинец: элементы консервирования и искусства</i>	202
<i>Глава 18. Ртуть: жидкий элемент</i>	213

<i>Глава 19. Хром: элемент цвета</i>	224
<i>Глава 20. Титан: элемент с будущим</i>	231
<i>Глава 21. Бор: пустынный элемент</i>	239
<i>Глава 22. Иттрий: скандинавский элемент</i>	245
<i>Глава 23. Уран: нестабильный элемент</i>	252

Научно-популярное издание

Азимов Айзек

СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ВСЕЛЕННОЙ

Вся Галактика в таблице Менделеева

Ответственный редактор Ю.И. Шенгеля

Художественный редактор И.А. Озеров

Технический редактор Н.В. Травкина

Корректор А.В. Максименко

Подписано в печать 22.05.2007.
Формат 76×90^{1/32}. Бумага типографская. Гарнитура «Петербург».
Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,71. Уч.-изд. л. 10,77.
Тираж 6 000 экз. Заказ № 3526

ЗАО «Центрполиграф»
111024, Москва, 1-я ул. Энтузиастов, 15
E-MAIL: CNPOL@DOL.RU

WWW.CENTRPOLIGRAF.RU

Отпечатано в ОАО «ИПК «Ульяновский Дом печати»
432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14

ЦЕНТРПОЛИГРАФ

Книга-почтой





Если вы желаете приобрести книги издательства
«Центрполиграф» без торговой наценки, то можете
воспользоваться услугами отдела «Книга-почтой»

Все книги будут рассылаться наложенным платежом без предварительной оплаты. Заказы принимаются на отдельные книги, а также на целые серии, выпускаемые нашим издательством. В последнем случае вы будете регулярно получать по 2 новых книги выбранной серии в месяц.

Для этого вам нужно только заполнить почтовую карточку по образцу и отправить по адресу:

111024, Москва, а/я 18, «Центрполиграф»

Также вы можете заказать книги через сайт издательства
«Центрполиграф» — www.centrpoligraf.ru

КАРТОЧКА ПОЧТОВАЯ		
От кого	Ивановой Г.П.	
Откуда	г. Хабаровск, ул. Мира, д. 10, кв. 5	
		
Кому «Центрполиграф»		
Куда г. Москва, а/я 18		
		
Получатель наложенной		
111024		

Подготовка производственных копий картонных почтовых конвертов по заказу © «Центрполиграф» Москва Россия 12513, 3. 178345, 19047

На обратной стороне открытки необходимо указать, какую книгу вы хотели бы получить или на какую из серий хотели бы подписаться. Укажите также требуемое количество экземпляров каждого названия.

Стоимость пересылки почтового перевода наложенным платежом оплачивается отделению связи и составляет 10—20% от стоимости заказа.

Книги оплачиваются при получении на почте.

К сожалению, издательство не может долго удерживать объявленные цены по не зависящим от него причинам, в связи с общей ситуацией в стране. Надеемся на ваше понимание.

МЫ РАДЫ ВАШИМ ЗАКАЗАМ!

Айзек Азимов

СТРОИТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ ВСЕЛЕННОЙ

Знаменитый писатель-фантаст, ученый с мировым именем, великий популяризатор науки, автор около 500 научно-популярных, фантастических, детективных, исторических и юмористических изданий приглашает вас в удивительный мир таблицы Менделеева.

В книге просто и увлекательно рассказывается о системе классификации химических элементов. Азимов всесторонне характеризует их, разъясняет особенности применения в быту, промышленности и даже в искусстве. Автор рассматривает каждый элемент в отдельности, но группирует их в зависимости от важности влияния на человека и жизнедеятельность космоса. Азимов точно определил тенденции современного развития химического алфавита, которым написана великая книга нашей Галактики.

Книги А. Азимова — это оригинальное сочетание научной достоверности, яркой образности, мастерского изложения.

ISBN 978-5-9524-3063-1

