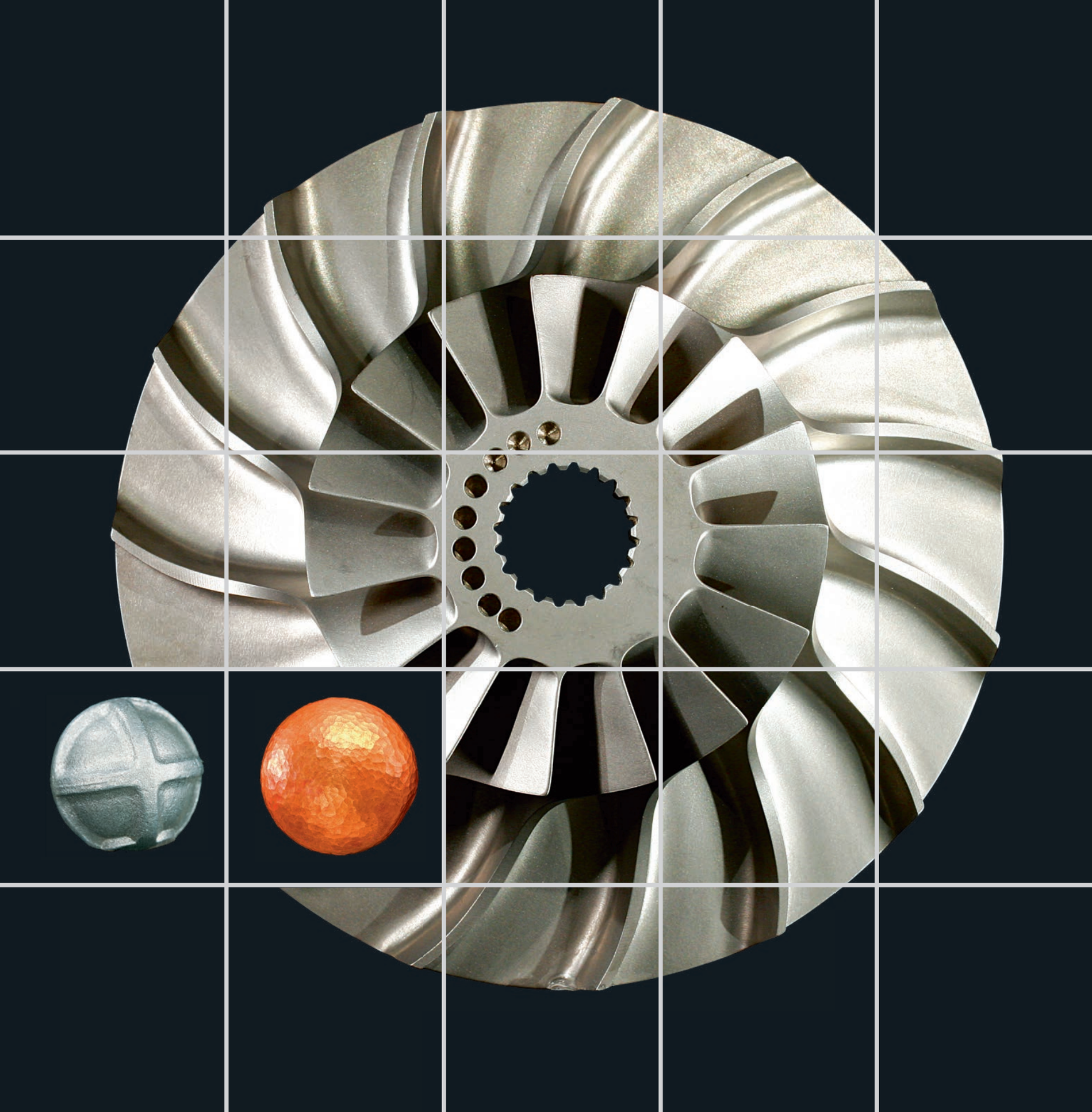
ТЕОДОР ГРЭЙ

Фотографии Теодора Грэя и Ника Манна

Элементы



Династия

ТЕОДОР ГРЭЙ

Элементы

Путеводитель по периодической таблице

Фотографии
Теодора Грэя
и Ника Манна

CORPVS

УДК 546
ББК 24.12г
Г 91

Династия

Фонд некоммерческих программ «Династия» был основан в 2002 году Дмитрием Борисовичем Зиминым, почетным президентом компании «Вымпелком». Приоритетные направления деятельности фонда — развитие фундаментальной науки и образования в России, популяризация науки и просвещение.
Подробную информацию о фонде вы найдете на сайте www.dynastyfdn.ru.

Грэй, Теодор
Г 91 Элементы: путеводитель по периодической таблице / Теодор Грэй; пер. с англ. Генриха Эрлиха. — Москва : Астрель : CORPUS, 2012. — 240, [4] с.

ISBN 978-5-271-45005-1 (ООО «Издательство Астрель»)

Знаете ли вы, что бананы радиоактивны, а наши непрозрачные тела на три пятых состоят из кислорода — бесцветного газа? Как «поет» сурьма и что такое «молибденовая корова»? Сколько весит эталон килограмма и каково это — купаться в ртути? Об этом и многом другом рассказывает американский популяризатор науки, коллекционер образцов химических элементов и автор знаменитого «периодического стола» Теодор Грэй. Он раскладывает по полочкам элементы, эти кирпичики мироздания, попутно рассуждая об их истории и характере.
Книга будет полезной и школьникам, и взрослым, желающим знать, из чего сложена Вселенная, да и мы сами.

УДК 546
ББК 24.12г

ISBN 978-5-271-45005-1 (ООО «Издательство Астрель»)

© Theodore W. Gray, 2009
Originally Published in English by Black Dog & Leventhal Publishers, Inc.
© Г. Эрлих, перевод на русский язык, 2012
© ООО «Издательство Астрель», 2012
Издательство CORPUS

Рисунки эмиссионных спектров выполнены Нино Кутичем на основе данных Национального института стандартов и технологий (США).
Остальные данные визуализированы с помощью системы *Wolfram Mathematica* ®.

Фотографии Теодора Грэя и Ника Манна
Berkeley Seal © and ™ 2001 U. C. Regents (стр. 222); Getty Images (стр. 15); courtesy of Hahn-Meitner Institute (стр. 230, внизу справа); istockphoto (стр. 14); courtesy of Lawrence Berkeley National Laboratory (стр. 230, вверху справа и в середине справа); courtesy of NASA (стр. 14); courtesy of NPL © Crown Copyright 2005; courtesy of Niels Bohr Archive (стр. 230, внизу слева); copyright © The Nobel Foundation (стр. 220, 226, 230, в середине вверху); Simon Fraser/Photo Researchers, Inc. (стр. 149); courtesy of the University of Manchester (стр. 230, посередине слева); courtesy U. S. Department of Energy (стр. 228); гербы соответствующих городов и регионов: стр. 224, 230 (в середине), стр.230 (в середине внизу), стр. 232 (вверху слева); courtesy Nicolaus Copernicus Museum, Frombork, Poland (стр. 232, вверху справа).

...Отнюдь не в ничто превращаются вещи, Но разлагаются все на тела основные обратно.

Лукреций, «О природе вещей» (50 г. до н. э.)

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА — универсальный каталог всего, что можно пощупать. Есть некоторые вещи, такие как свет, любовь, логика, время, которых нет в периодической таблице. Но вы и не можете пощупать их.

Земля, эта книга, ваши руки, вообще вся материя сложена из химических элементов. Ваши руки в значительной мере состоят из кислорода, скрепленного некоторым количеством углерода, из того, что называется органическими молекулами и что позволяет отнести вас к представителям углеродной жизни. (Если в вашем организме углерода нет, добро пожаловать на нашу планету. И, если у вас есть руки, мы будем рады, если вы пролистаете эту книгу.)

Кислород — прозрачный бесцветный газ, и все же он составляет три пятых части веса нашего тела. Как это может быть?

У элементов два лица: они предстают перед нами в чистом, индивидуальном состоянии — или в виде химических соединений, которые они образуют с другими элементами. Чистый кислород — это газ, однако, соединяясь с кремнием, он порождает твердые силикатные минералы, из которых по большей части сложена земная кора. Соединяясь с водородом, кислород дает воду, с углеродом — углекислый газ, а одновременно с водородом и углеродом — сахар и бесчисленное множество других соединений. И какими бы непохожими на чистый кислород ни были эти соединения, в них присутствуют все те же атомы кислорода. И мы можем извлечь эти атомы из вещества и превратить их в чистый газ. Но ни один из атомов кислорода не может быть разделен на более простые части (за исключением особых случаев разрушения ядра). Собственно, это и делает элемент элементом.

В этой книге я постарался показать оба лица каждого элемента. Вы увидите большую фотографию чистого элемента (когда это физически возможно), а также примеры того, в каком виде элемент присутствует в окружающем нас мире, наиболее характерные для него соединения и способы его применения.

Но прежде посмотрим, как устроена периодическая таблица.

1																	2
3	4											5	6	7	8	9	10
11	12											13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
55	56		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
87	88		104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103

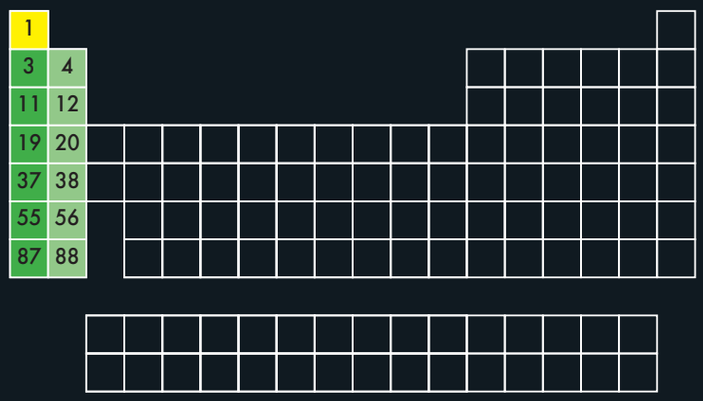
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА известна всем. Она столь же узнаваема, как логотип «Найки», Тадж-Махал или шевелюра Эйнштейна, и по праву считается одним из символов нашей цивилизации.

Основная ее структура порождена не эстетическими соображениями, не чьей-либо прихотью или случайностью, а вытекает из фундаментальных и универсальных законов квантовой механики. Какая-либо другая цивилизация дышащих метаном стручкообразных существ может явить какие угодно технические достижения, но их периодическая таблица будет иметь ту же, привычную для нас форму.

Положение каждого элемента в таблице определяется его атомным номером от 1 до 118 (столько элементов известно сейчас, но в будущем, несомненно, откроют и другие). Атомный номер элемента соответствует числу протонов в ядре каждого его атома, а оно равно количеству электронов, располагающихся на электронных орбитах вокруг ядра. Именно электроны, особенно находящиеся на внешних «оболочках» атома, определяют химические свойства элемента. (Строение электронных оболочек более подробно описано на стр. 12.)

Элементы располагаются в периодической таблице в порядке увеличения их атомных номеров. Может показаться, что разрывы в верхней части таблицы произвольны, но это не так: в каждом вертикальном столбце находятся элементы, содержащие одно и то же количество электронов на внешней оболочке. Это однозначно задает ее форму. А еще это определяет самое важное свойство периодической таблицы: элементы, располагающиеся в одном столбце, обладают сходными химическими свойствами.

Давайте рассмотрим основные группы элементов, которые собраны в различных столбцах периодической таблицы.

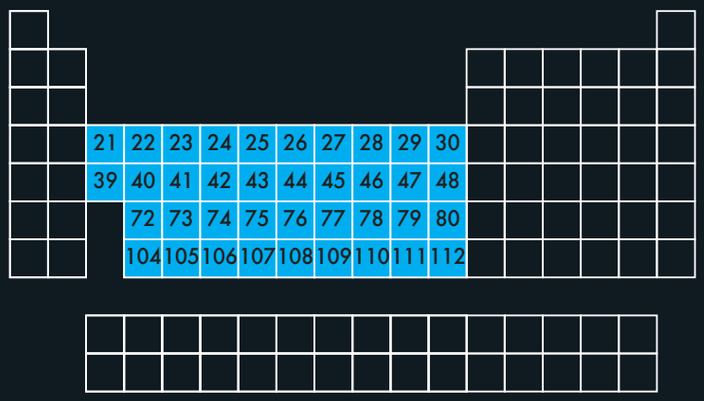


ПЕРВЫЙ ЭЛЕМЕНТ, ВОДОРОД, — в определенной степени исключение из правил. Его традиционно помещают в крайний левый столбец, поскольку некоторые его химические свойства совпадают со свойствами других элементов из этого столбца. Атом водорода в соединениях обычно теряет электрон, превращаясь в ион H^+, подобно тому, как атом натрия (элемент 11) теряет электрон, превращаясь в Na^+. Однако водород — это газ, а другие элементы из первого столбца представляют собой мягкие металлы. Поэтому в некоторых вариантах периодической таблицы водород изображается отдельно.

Элементы в первом столбце, кроме водорода, называют *щелочными металлами*. Они идеально подходят для развлечений на озере. Щелочные металлы, вступая в реакцию с водой, выделяют газообразный, чрезвычайно горючий водород. Если бросить достаточно большой кусок натрия в воду, несколько секунд спустя раздастся грандиозный взрыв. Если примете разумные меры предосторожности, то получите захватывающий опыт. Но если не поостережетесь, можете лишиться зрения.

Вся химия такова: она достаточно могущественна, чтобы сделать множество нужных и прекрасных вещей. И в то же время она довольно опасна и может причинить ужасный вред. Если вы не будете осторожны, химия вас накажет.

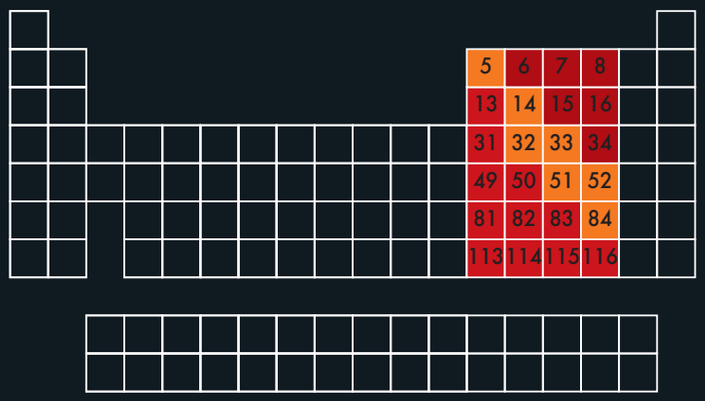
Элементы из второго столбца называются *щелочноземельными металлами*. Подобно щелочным металлам, это довольно мягкие металлы, которые, взаимодействуя с водой, выделяют газообразный водород. Но если щелочные металлы вызывают взрыв, то щелочноземельные металлы намного их спокойнее, так что водород не возгорается самопроизвольно. Это позволяет, например, использовать кальций (20) в портативных генераторах водорода.



ЭЛЕМЕНТЫ ШИРОКОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО блока называют *переходными металлами*. Это рабочие лошадки современной промышленности, а элементы верхнего ряда и вовсе возглавляют список самых используемых металлов. Переходные металлы кроме ртути (80) — довольно твердые вещества с устойчивой структурой. (Ртуть, впрочем, также, если ее сильно охладить. Замороженная ртуть удивительно похожа на олово, элемент 50.) Даже технеций (43), единственный радиоактивный элемент в этом блоке, не менее стоек, чем соседи. Но вряд ли вы захотите иметь столовые приборы из технеция: мало того, что они влетят в копеечку, — они будут медленно убивать вас радиоактивным излучением.

Переходные металлы в целом довольно устойчивы к воздействию воздуха. Некоторые, однако, все же медленно окисляются. Самый известный пример — это, конечно, железо (26). Образование ржавчины на изделиях из железа является одной из самых нежелательных химических реакций. Другие металлы, в частости золото (79) и платина (78), наоборот, демонстрируют феноменальную устойчивость к коррозии.

Два пустых ряда под этим блоком зарезервированы для двух групп элементов, называемых *лантанидами* и *актинидами* (см. стр. 11). Если строго следовать логике построения периодической таблицы, то между вторым и третьим столбцами таблицы необходимо было сделать еще один разрыв длиной в 14 клеток и поместить туда лантаниды и актиниды. Но тогда таблица стала бы слишком длинной и неудобной для работы, поэтому по общему согласию разрыв делать не стали, а так называемые редкоземельные элементы расположили двумя отдельными рядами внизу.

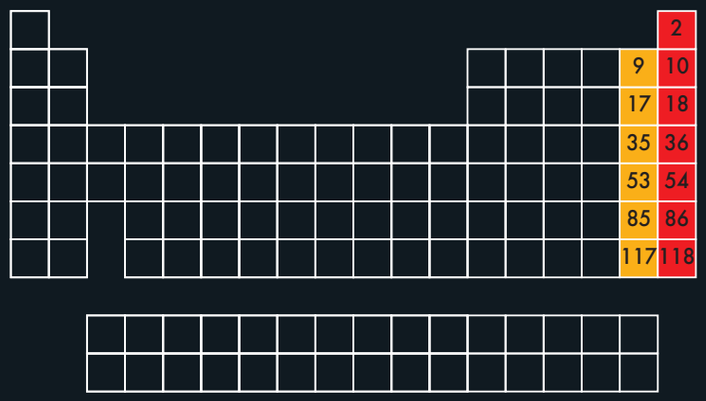


В ЛЕВОМ НИЖНЕМ УГЛУ блока располагаются *обычные металлы*. Тут возникает небольшая путаница, потому что многие металлы, которые люди считают обычными, на самом деле являются *переходными*. (Кстати, нетрудно заметить, что большинство химических элементов — это именно металлы.)

Элементы в правом верхнем углу называют *неметаллами*. (Следующие две группы, галогены и благородные газы, также не являются металлами.) Неметаллы проявляют свойства изоляторов, тогда как все металлы в той или иной мере проводят электрический ток.

По диагонали между металлами и неметаллами располагаются металлоиды: эти элементы-перевертыши иногда ведут себя как металлы, иногда — как неметаллы. В частности, они могут проводить электрический ток, но не очень хорошо. Так что они проявляют свойства полупроводников, которые играют столь заметную роль в современной жизни.

То, что металлоиды располагаются на диагональной линии, находится в противоречии с общим правилом, отводящим элементам с одинаковыми свойствами место в одном столбце периодической таблицы. Что ж, это всего лишь общее правило, а химия слишком сложна, чтобы любое правило было абсолютным. При определении границы между металлами и неметаллами в борьбу вступают несколько сил. Баланс между ними смещается вправо по мере движения вниз по таблице.



ЭЛЕМЕНТЫ СЕМНАДЦАТОГО (второго с конца) столбца называют *галогенами*. В чистом виде они представляют собой довольно противную группу веществ, чрезвычайно реакционноспособных и мерзко пахнущих. Чистый фтор (9) славен своей способностью атаковать все подряд. Хлор (17) во время Первой мировой войны использовали как отравляющий газ. Но в форме соединений, например в виде фторированной зубной пасты или поваренной соли (хлорид натрия), галогены вполне безопасны в использовании.

В последнем столбце располагаются *благородные газы*. Благородны они потому, что выше суеты: эти газы почти никогда не образуют соединения друг с другом или с другими элементами. Они настолько инертны, что в их среде любой элемент или химическое соединение может чувствовать себя в безопасности. Купив у поставщика химических реактивов натрий, вы получите его в контейнере, наполненном аргоном (18).

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103

ЭТИ ДВЕ ГРУППЫ носят общее название *редкоземельных элементов*, хотя некоторые из них вовсе не редкие. Элементы верхнего ряда, открывающегося лантаном (57), именуются *лантанидами*. Нижний ряд, начинающийся с актиния, составляют *актиниды*.

Лантаниды печально известны тем, что их химические свойства практически не различаются. В этом вы убедитесь, если доберетесь до лютеция (71). Некоторые из них настолько похожи, что ученые спорили годами, разные это элементы или один и тот же.

Все актиниды радиоактивны, и самые известные из них — уран (92) и плутоний (94). В отдельную группу актиниды выделил Гленн Сиборг (1912—1999), который открыл столько новых элементов из нее, что без специального ряда для их размещения было просто не обойтись.

Теперь, когда мы рассмотрели периодическую таблицу, самое время начать путешествие в дикий, прекрасный, изменчивый, забавный и ужасающий мир элементов.

Вот и все. Отсюда и до Тимбукту (и там тоже) все и везде состоит из одного или более химических элементов. Бесконечное разнообразие комбинаций и рекомбинаций, которое мы называем химией, ограничено этим коротким незабываемым перечнем строительных блоков, из которых составлен весь материальный мир.

Почти все предметы, которые вы увидите в этой книге (за исключением одной вещи, конфискованной ФБР, и нескольких исторических реликвий), находятся в моем офисе. Я получил немало удовольствия, собирая эти яркие свидетельства разнообразия элементов, и надеюсь, что вы получите удовольствие, читая о них.

Встретимся у водорода!

Почему таблица именно такая?

ДЕРЖИТЕСЬ КРЕПЧЕ: сейчас я попытаюсь на одной странице объяснить вам квантовую механику, а вы постараетесь все понять. (Если этот раздел покажется вам слишком сложным, пропустите его. Это же не контрольная!) Каждый элемент характеризуется *атомным номером*, который равен числу положительно заряженных протонов в ядре каждого атома элемента. Протоны уравновешены равным числом отрицательно заряженных электронов, находящихся на «орбитах» вокруг ядра. Слово «орбиты» я взял в кавычки, потому что электроны на самом деле не движутся по орбитам подобно планетам вокруг Солнца. Мы вообще не можем говорить о *движении* электронов в привычном смысле.

Каждый электрон существует в виде своеобразного облака — облака вероятностей. В любой момент времени электрон присутствует в какой-то точке облака с большей вероятностью, чем в другой, но никогда — в какой-либо одной точке. Внизу изображены трехмерные формы облаков вероятностей нахождения электрона вокруг ядра.

Первый тип, называемый *s*-орбиталью, полностью симметричен. Электрон с равной вероятностью находится в любой точке вокруг ядра. Второй тип, называемый *p*-орбиталью, состоит из двух лепестков. Электрон с наибольшей вероятностью находится с одной стороны ядра или с противоположной стороны и с существенно меньшей — в других направлениях.

Если *s*-орбиталь — единственная, то *p*-орбиталей — три, и их лепестки ориентированы в пространстве в трех ортогональных направлениях (x, y, z). Аналогично имеется пять различных типов *d*-орбиталей и семь *f*-орбиталей, с увеличивающимся числом лепестков. (Вы можете представить все эти орбитали как трехмерные стоячие волны в пространстве.)

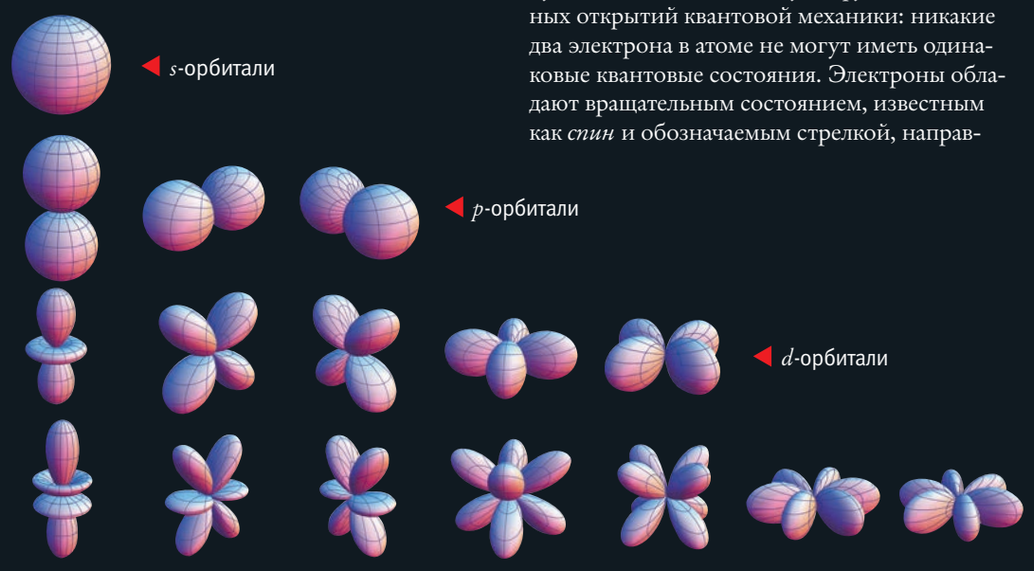
Каждый тип орбиталей может иметь несколько размеров. Так, 1*s*-орбиталь — это маленькая сфера, 2*s*-орбиталь — сфера крупнее, 3*s*-орбиталь — еще крупнее, и так далее. Энергия электрона, находящегося на данной орбите, увеличивается с ростом размера орбиты. При прочих равных условиях электрон всегда стремится обосноваться на самой маленькой орбите с минимальной энергией.

Так что же, все электроны в атоме располагаются вместе на низшей 1*s*-орбитали? Нет. Тут мы подошли к одному из фундаментальных открытий квантовой механики: никакие два электрона в атоме не могут иметь одинаковые квантовые состояния. Электроны обладают вращательным состоянием, известным как *спин* и обозначаемым стрелкой, направленной вверх или вниз. Отсюда следует, что на каждой орбитали могут находиться только два электрона: первый со спином вверх, второй — со спином вниз.

У водорода только один электрон, и он располагается на 1*s*-орбитали. У гелия два электрона, и оба могут находиться на 1*s*-орбитали, полностью заполняя ее. У лития три электрона, и так как на 1*s*- больше нет места, третий электрон вынужден занять 2*s*-орбиталь с большей энергией. И так далее — все орбитали заполняются по очереди в порядке увеличения энергии.

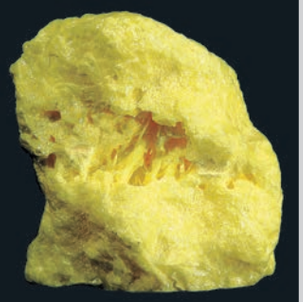
Пролистайте книгу: на диаграмме «Заполненные электронные орбитали» справа от описания каждого элемента вы увидите линейку всех возможных орбиталей от 1*s*- до 7*p*-. Красным отмечены орбитали, занятые электронами данного элемента. (7*p*- — это орбиталь с наибольшей энергией, которая встречается во всех известных элементах.) Порядок заполнения орбиталей в какой-то момент покажется вам сложным и непонятным, но по мере движения по книге вы, несомненно, уловите закономерность. И тут гадолиний (элемент 64) преподнесет сюрприз: присмотритесь к нему и его соседям!

Порядок заполнения орбиталей определяет вид периодической таблицы. Первые два столбца соответствуют заполнению электронами *s*-орбиталей. Следующие десять — заполнению пяти *d*-орбиталей. Последние шесть — заполнению трех *p*-орбиталей. И, наконец, ряд из четырнадцати редкоземельных элементов отражает заполнение семи *f*-орбиталей. Вы спрашиваете, почему гелий (2) находится не над бериллием (4)? Поздравляю: вы думаете как настоящий химик!



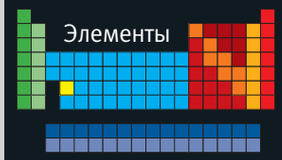
Элементарно!

Все, что вам нужно знать. Ничего ненужного.



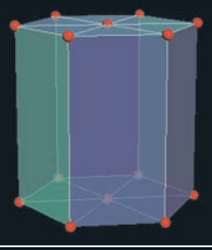
НАВИГАЦИЯ

Справа вверху на странице с описанием элемента желтым квадратиком отмечено положение элемента в периодической таблице. Другими цветами обозначены группы, описанные во вступлении к книге.



Атомная масса
178,49
Плотность
13,310
Атомный радиус
208 пм

Кристаллическая структура



АТОМНАЯ МАССА

Атомная масса элемента (не путать с атомным номером!) — средняя масса атома в типичном образце элемента, выраженная в атомных единицах массы (а. е. м.). Эта величина определяется как 1/12 массы атома ^{12}C. Грубо говоря, а. е. м. — это масса одного протона или одного нейтрона. Таким образом, атомная масса элемента приблизительно равна общему числу протонов и нейтронов в ядрах его атомов.

В то же время, как вы убедитесь, атомные массы многих элементов выражаются нецелыми числами. Это связано с тем, что типичные образцы этих элементов содержат два и более природных изотопов. (Подробнее понятие изотопа описано в разделе, посвященном протактинию, элементу 91. Суть в том, что все изотопы элемента имеют одно и то же количество протонов и соответственно одинаковые химические свойства, но разное количество нейтронов в ядре.)

ПЛОТНОСТЬ

Плотность элемента определяется как плотность гипотетического безупречного единичного кристалла абсолютно чистого элемента. На практике это недостижимо, так что плотность обычно рассчитывают, исходя из величины атомной массы и расстояний между атомами в кристалле, определенных рентгенографическим методом. Плотность указана в граммах на кубический сантиметр.

АТОМНЫЙ РАДИУС

Плотность вещества зависит от того, сколько весит каждый атом и какой объем он занимает. Представленное значение атомного радиуса элемента — это рассчитанное расстояние между внешними электронами и ядром атома в пикометрах (триллионной части метра). Диаграмма рядом схематична, на ней показаны все электроны на соответствующих электронных оболочках и отмечен размер атома. Не следует забывать, что точное положение электрона указать невозможно и что электроны не существуют в виде частиц, обращающихся вокруг ядра. Пунктирная синяя окружность показывает радиус самого большого атома — цезия (55).

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА

Диаграмма показывает положение атомов элемента в кристалле его самого распространенного простого вещества (элементарная ячейка, которая повторяется для образования кристалла). Для элементов, обычно существующих в виде газа (жидкости), приведена структура кристалла, образующегося при замораживании.

ЗАПОЛНЕННЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ОРБИТАЛИ

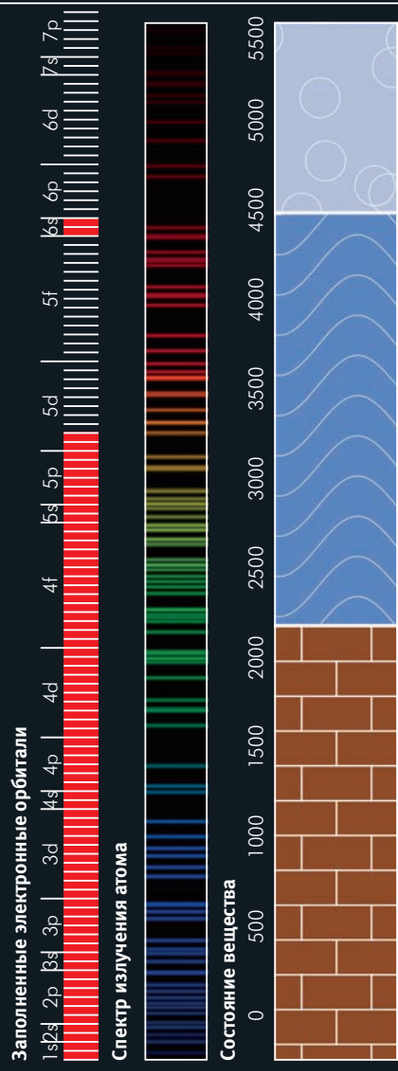
Эта диаграмма показывает порядок заполнения электронами орбиталей атома.

СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ АТОМА

Когда атомы данного элемента нагревают до очень высоких температур, они излучают свет с характерными длинами волн (то есть цветом), которые соответствуют разнице в уровнях энергии между их электронными орбиталями. Представленная диаграмма показывает цвет этих линий, которые группируются в спектр от едва видимого красного вверху до близкого к ультрафиолетовому внизу.

СОСТОЯНИЕ ВЕЩЕСТВА

Эта температурная шкала в градусах Цельсия (°C) показывает, при какой температуре элемент пребывает в твердом, жидком или газообразном состоянии. Границе между твердым веществом и жидкостью соответствует температура плавления, между жидкостью и газом — температура кипения. Сдвиньте листы книги, и сложится диаграмма, показывающая, как изменяются температуры плавления и кипения при движении по периодической таблице.



Водород H 1

Водород

Минерал сколецит $CaAl_2Si_3O_{10}\cdot 3H_2O$ из района Пуна-Джалгаон (Индия).

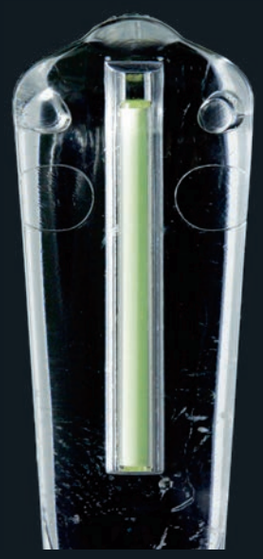
ПОЧЕМУ СВЕТЯТ ЗВЕЗДЫ? Потому, что в их недрах атомы водорода превращаются в атомы гелия. Одно только Солнце ежесекундно перерабатывает 600 миллионов тонн водорода, производя 596 миллионов тонн гелия. Подумайте только: 600 миллионов тонн в секунду. Даже ночью!

А куда деваются еще 4 миллиона тонн? В соответствии со знаменитой формулой Эйнштейна $E = mc^2$ они превращаются в энергию. На Землю приходится ничтожная доля этой энергии, эквивалентная примерно 1,6 килограмма водорода в секунду. И все же благодаря этому на Земле есть жизн ь, и мы с вами можем любоваться восходами и закатами, нежиться на солнышке.

Нам необходим водород Солнца, однако и прямо здесь, на Земле, без него не обойтись. Соединяясь с кислородом (8), он образует воду — океаны, реки, озера и облака. А вместе с углеродом (6), азотом (7) и кислородом (8) водород образует плоть и кровь всего живого.

Водород — самый легкий газ. Он легче гелия и намного дешевле его, поэтому водородом наполняли первые дирижабли. Вы, конечно, слышали историю крушения «Гинденбурга». Так вот, люди тогда погибли не в пламени, а из-за травм, вызванных падением с высоты. Водород в некоторых отношениях безопаснее бензина, которым вы заправляете автомобиль.

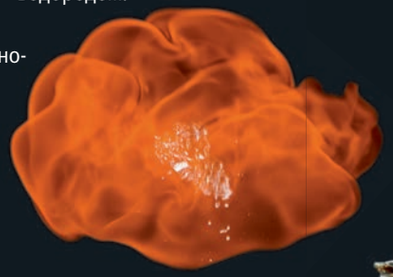
Водород — самый легкий и распространенный в природе элемент. Его атом состоит всего из одного протона и одного электрона, и за это водород очень любят физики: его поведение очень точно описывается их любимыми квантово-механическими формулами. Когда же дело доходит до гелия с его двумя протонами и двумя электронами, физики умывают руки, уступая место химикам.



Тритиевый (^3H) светящийся брелок. Продажа в США запрещена, чтобы не разбазаривать стратегический материал.

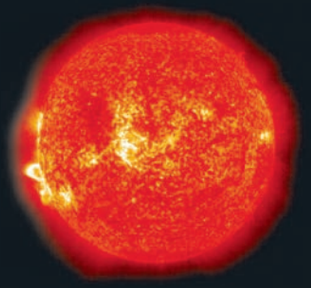
Торговля тритиевыми часами в США, тем не менее, разрешена.

Свечение кислородно-водородного пламени.

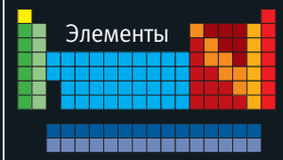


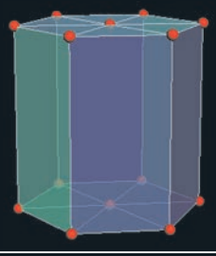
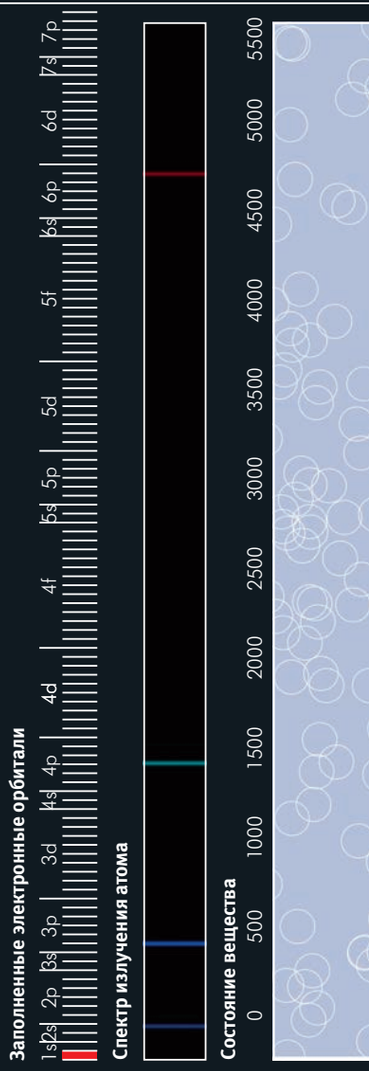
Начинка высокоскоростного тиратрона — электронного коммутатора, наполненного газообразным водородом.

Солнце светит из-за превращения водорода в гелий.



75 % массы видимой Вселенной составляет водород. В космосе огромные объемы бесцветного газа поглощают свет звезд. На снимке: туманность Орел, сфотографированная телескопом «Хаббл».



Атомная масса
1,00794
Плотность
0,0000899
Атомный радиус
53 пм

Кристаллическая структура