

# ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

## в инфографике

МОСКВА  
ИЗДАТЕЛЬСТВО АСТ



[<< Купить книгу на сайте kniga.biz.ua >>](http://kniga.biz.ua)

УДК 54  
ББК 24.12  
Л39

Охраняется законом об авторском праве. Воспроизведение всей книги или любой ее части запрещается без письменного разрешения издателя. Любые попытки нарушения закона будут преследоваться в судебном порядке.

Л39 Химические элементы в инфографике/ И.А. Леенсон – Москва: Издательство АСТ, 2016. –

224 с.: ил. – (Все знания мира в инфографике).

ISBN 978-5-17-098404-6 (ООО «Издательство АСТ»)

Илья Абрамович Леенсон – кандидат химических наук, старший научный сотрудник химического факультета МГУ, доцент Высшего химического колледжа РАН, автор научных и научно-популярных статей, книг и учебных пособий. Его путеводитель по химическим элементам, ставший классическим, впервые визуализирован посредством инфографики – насыщенных фактами иллюстраций, созданных по мотивам основного текста и по ассоциации с ним.

Химия – это легко!

УДК 54  
ББК 24.12

**Илья Абрамович Леенсон**  
**ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ИНФОГРАФИКЕ**

Все знания мира в инфографике

Авторы инфографики:  
К.А. Воронин, М.О. Мосиенко

В оформлении использованы материалы агентства Shutterstock.

Зав. редакцией Ю.В. Данник  
Ответственный редактор О.Д. Лозуткина  
Оформление обложки А.М. Якунина  
Компьютерная верстка А.С. Грених  
Технический редактор Т.П. Тимошина  
Корректор Ю. Сырцова

Общероссийский классификатор продукции  
OK-005-93, том 2; 953000 – книги и брошюры

Подписано в печать 15.05.2016  
Формат 60x84/8. Усл. печ. л. 28. Бумага офсетная, печать офсетная.  
Тираж 3000 экз. Заказ

ООО «Издательство АСТ»  
129085, РФ, г. Москва, Звездный бульвар, дом 21, стр. 3, комната 5  
Адрес нашего сайта: [www.ast.ru](http://www.ast.ru); e-mail: [ogiz@ast.ru](mailto:ogiz@ast.ru)

“Баспа Аста” деген ООО  
129085 г. Мәскеу, жұлдызды гүлзар, д. 21, 3 құрылым, 5 бөлме  
Біздің электрондық мекенжайымыз: [www.ast.ru](http://www.ast.ru)  
E-mail: [ogiz@ast.ru](mailto:ogiz@ast.ru)

Казақстан Республикасында дистрибутор және ойнама аралықтарды қабылдаушының өкілі «РДЦ-Алматы»  
ЖШС, Алматы қ., Домбровский көш., 3<sup>к</sup>», литер Б, оғис 1.  
Тел.: 8(727) 2 51 59 89,90,91,92, факс: 8 (727) 251 58 12 вн. 107;  
E-mail: [RDC-Almaty@eksmo.kz](mailto:RDC-Almaty@eksmo.kz)  
Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.

ISBN 978-5-17-098404-6 (ООО «Издательство АСТ»)

© Леенсон И.А., 2016  
© ООО «Издательство АСТ», 2016

## ВВЕДЕНИЕ

### ЧТО ТАКОЕ ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ

На страницах этой книги вы узнаете обо всех открытых к настоящему времени химических элементах. Из этих элементов образовано все, что нас окружает. И, конечно, сам человек.

Другого ничего в природе нет  
ни здесь, ни там, в космических глубинах:  
все — от песчинок малых до планет —  
из элементов состоит единых...

Кипит железо, серебро, сурьма  
и темно-бурые растворы брома,  
и кажется вселенная сама  
одной лабораторией огромной...

Будь то вода, что поле оросила,  
будь то железо, медь или гранит —  
все страшную космическую силу,  
закованную в атомы, хранит.

Эти строчки из стихотворения Степана Щипачева «Читая Менделеева» как нельзя лучше подходят к этой книге в качестве эпиграфа. Они написаны в 1948 г., но поэт как будто предвидел, что наука подтвердит его догадку: химические элементы созданы в «огромной лаборатории вселенной» под действием «страшной космической силы». А что говорит на это счет современная наука? Как появились химические элементы и что это за «страшная сила», которая их создала?



**И КРИСТАЛЛЫ МЕДНОГО КУПОРОСА,  
И СОСНОВЫЙ ЛЕС — ВСЕ СОСТОИТ  
ИЗ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ.**



Туманность в созвездии Киля. Фотография космического телескопа «Хаббл».

Но сначала о том, что же такое химический элемент. Это понятие сформировалось в XVIII веке, когда химия делала свои первые шаги. Но почти за две с половиной тысячи лет до этого пытливый ум древнегреческих философов уже сформулировал атомистическую гипотезу. Впервые понятие атома появилось у философа Левкиппа (ок. 500—440 до н.э.), а развил эту теорию его ученик Демокрит (ок. 460—371 до н.э.). Они считали, что в мире все состоит из неких мельчайших, невидимых глазом частиц, которые могут соединяться и разъединяться, порождая все видимые вещи.

Суть атомистической теории очень образно описал древнеримский поэт и философ Тит Лукреций Кар (ок. 99—55 до н. э.). Вот небольшие выдержки из его поэмы «О природе вещей». Следует учесть, что вместо «атомы» или «элементы» Лукреций использует понятия «начала», «первоначала», «семена» и т.п.

*...Существуют такие тела, что и плотны, и вечны:  
Это — вещей семена и начала в учении нашем,  
То, из чего получился весь мир, существующий ныне...  
Первоначалам должно быть присуще бессмертное тело,*

Чтобы все вещи могли при кончине на них разлагаться.  
И не иссяк бы запас вещества для вещей возрожденья.  
Первоначала вещей, таким образом, просты и плотны.  
Иначе ведь не могли бы они, сохраняясь веками,  
От бесконечных времен и досель восстанавливать вещи...

Лукреций пытается подтвердить атомистическую теорию житейским опытом:

*...Начала вещей недоступны для глаза...  
Существуют тела, которых мы видеть не можем,  
Запахи мы обоняем различного рода,  
Хоть и не видим совсем, как в ноздри они проникают.  
И, наконец, на морском берегу, разбивающем волны,  
Платье сырее всегда, а на солнце вися, оно сохнет;  
Видеть, однако, нельзя, как влага на нем оседает,  
Да и не видно того, как она исчезает от зноя.  
Значит, дробится вода на такие мельчайшие части,  
Что недоступны они совершенно для нашего глаза.*

Лукреций объясняет, почему из небольшого числа разных атомов может образоваться бесконечное разнообразие материальных тел:

*Часто имеет еще большое значение, с какими  
И в положены каком войдут в сочетание те же  
Первоначала и как они двигаться будут взаимно.  
Те же начала собой образуют ведь небо и землю,  
Солнце, потоки, моря, деревья, плоды и животных...  
Даже и в наших стихах постоянно, как можешь заметить,  
Множество слов состоит из множества букв однородных,  
Но и стихи, и слова, как ты непременно признаешь,  
Разнятся между собой и по смыслу, и также по звуку.  
Видишь, как буквы сильны лишь одним изменением порядка...*

Действительно, используя всего два-три десятка букв, можно создать всю мировую художественную и научную литературу; из 12 нот хроматической гаммы — бесконечное разнообразие музыкальных произведений; из трех основных цветов — миллионы цветовых оттенков. Точно так же из немногих первоначал-элементов создается весь окружающий нас мир.

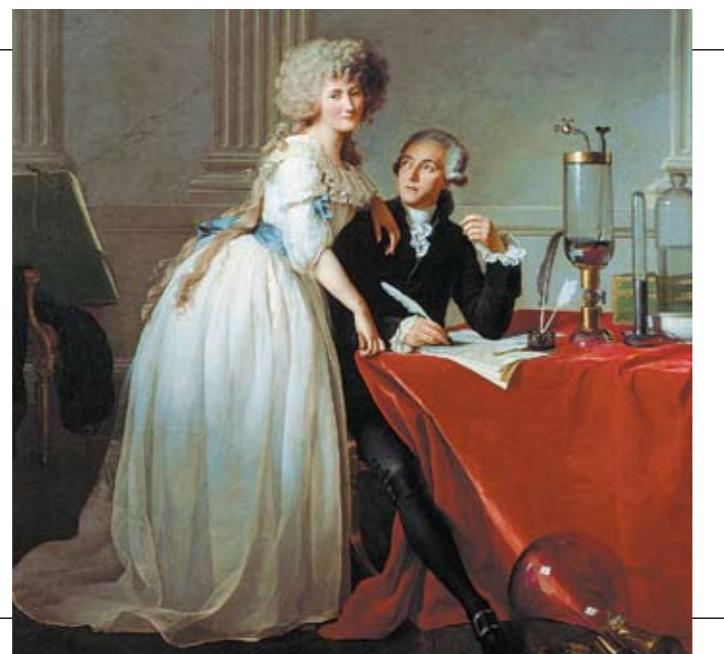
Атомистическая теория античных философов была забыта почти на два тысячелетия. Ее возродил, уже на строгой научной основе, английский химик Джон Dalton (1766—1844). Каждому известному элементу у Дальтона соответствовал свой сорт атомов — со своей массой и своими свойствами. Эксперименты Дальтона впервые позволили, пусть и неточно, определить относительные атомные массы ряда химических эле-



Тит Лукреций Кар —  
римский поэт  
и философ-материалист,  
I в. до н.э.

ментов. То есть во сколько раз, например, масса атома кислорода больше массы атома водорода. Различные элементы в своих статьях Дальтон изображал как старинными алхимическими символами, так и изобретенными им значками. Дальтон известен также тем, что описал дефект зрения, которым страдал, — цветовую слепоту, которая названа дальтонизмом.

Окончательно понятие химического элемента сформировалось во второй половине XVIII века, в частности, в работах великого французского химика Антуана Лорана Лавуазье (1743—1794). Он писал: «Все вещества, которые мы еще не смогли никаким способом разложить, являются для нас элементами». В настоящее время химическим элементом называется совокупность атомов одного сорта. Химический элемент нельзя увидеть, это некая абстракция. Зато увидеть, а часто и потрогать, можно простое вещество. Например, из множества атомов химического элемента углерода можно получить кристалл алмаза. А можно — кристалл похожего на алмаз и даже более твердого лонсдейлита. Можно из атомов углерода получать и другие простые вещества: графит, множество разных фуллеренов, нанотрубки и т. д. Углерод — не исключение, а правило: из атомов почти всех химических элементов можно получить разные простые вещества. Они отличаются либо числом атомов в молекуле (это более редкий случай; примером могут служить кислород и озон), либо расположением атомов относительно друг друга в кристалле (как в графите и алмазе).



Ж.-Л. Давид. Антуан Лавуазье с женой. 1788 г.

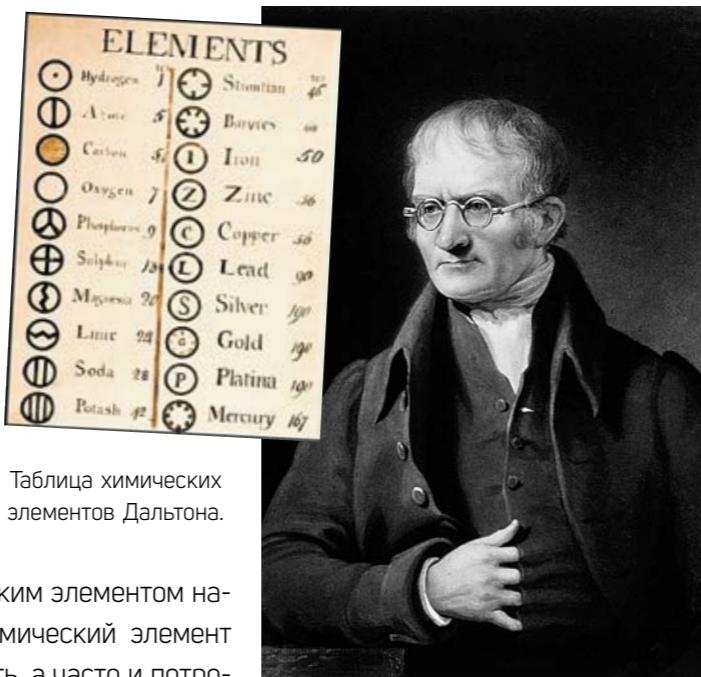


Таблица химических элементов Дальтона.

Джон Дальтон — английский химик.

Если вещество построено из атомов разных элементов, то такое вещество называется сложным. Когда-то вода считалась простым веществом. Лавуазье впервые сумел разложить воду: он пропустил ее пары через раскаленный ружейный ствол, и атомы железа оторвали атомы кислорода от молекул воды, превратившись в окалину. Остался газообразный водород, который Лавуазье смог собрать. При соединении водорода с кислородом снова получалась вода. Когда итальянский физик Alessandro Volta (1745—1827) изобрел удобный источник электрического тока, с его помощью удалось разложить воду и получить сразу и водород, и кислород.

Так было доказано, что вода — сложное вещество. А вот газ хлор когда-то химики считали сложным веществом. Однако не удалось все попытки разложить этот газ. Пришлось признать, что хлор — простое вещество.

Вот еще один наглядный пример. Когда реагируют железо и сера, два простых вещества, образуется сложное вещество — сульфид железа, который по физическим и химическим свойствам совершенно не похож ни на железо, ни на серу (так же, как вода не похожа на водород и кислород). Мы можем сказать, что сульфид железа состоит из элемента железа и элемента серы. Но никогда химик не скажет, что сульфид железа содержит простые вещества — железо и серу. Иначе получилось бы, что это вещество представляет собой смесь, то есть часть его притягивалась бы магнитом, а другая часть имела желтый цвет и легко плавилась. Представить себе такое вещество затруднительно. На эту тему можно привести строки Евгения Винокурова:

*И в учебник по химии взор мой тупо вперен:  
до сих пор я не понял задачу, где смешаны сера с азотом.*

Действительно, трудно понять, как можно смешать эти два вещества. В русском языке (как, впрочем, в большинстве иностранных) для обозначения как элементов, так и простых веществ используются одни и те же термины. Например, если говорят «médная монета», «меди хорошо проводят электрический ток», очевидно, что речь идет о простом веществе, металле. Если же сказать, что медь распространена в природе меньше, чем алюминий, то здесь имеют в виду химические элементы медь и алюминий. Утверждая, что «меди занимает в таблице Менделеева место между никелем и цинком», химик также имеет в виду вовсе не кусочки металлов в клетках таблицы, а элементы медь, никель и цинк как совокупность их атомов.

Разные термины для элемента и соответствующего простого вещества в русском языке встречаются редко. Таким примером могут служить термины «углерод» и «графит». Интересно, что в современной украинской химической номенклатуре для элементов и простых веществ используют разные слова. Вот несколько примеров (приводятся символ элемента и украинские названия простого вещества и химического элемента): Н — водень, Гідроген; О — кисень, Оксиген; Si — кремній, Силіцій; S — сірка, Сульфур; F — фтор, Флуор; Cu — мідь, Купрум; Ag — срібло, Аргентум; Au — золото, Аурум;



А. Вольта — итальянский физик.

Hg — ртуть, Меркурій; Fe — залізо, Ферум; Bi — вісмут, Бісмут. То есть в основе названия химического элемента — соответствующее латинское название, которое пишется с прописной буквы. Остается только пояснить, что удвоенные согласные в украинском языке очень редки, а буква r (с «хвостиком») используется для написания иностранных слов и показывает, что этот звук твердый.

В заключение отметим, что, хотя мы говорим «железный гвоздь», гвозди на самом деле делают из низкоуглеродистой стали, содержащей небольшое количество углерода. Золотые «царские» десятки содержат только 90% чистого золота, а в золотом кольце его часто всего 58,5% (проба 585), остальное — серебро и медь (чистое золото слишком мягкое). И только коллекционные золотые монеты чеканят из почти чистого (99,9%) золота. Число окружающих нас в быту сравнительно чистых простых веществ невелико. Это алюминий и медь в электрических проводах; металлы вольфрам и молибден в лампах накаливания (из молибдена сделаны вплавленные в стекло проволочки, поддерживающие вольфрамовую спираль), а колба лампы может быть наполнена аргоном, криptonом или ксеноном; гелий в воздушных шариках; серебро, золото, платина, палладий в высокопробных ювелирных изделиях и памятных монетах; ртуть в термометре (маленькие капельки ртути содержатся также в энергосберегающих лампах и лампах дневного света, а в горящих лампах ртуть находится в виде паров); олово на консервной банке и олово для пайки (чаще паяют третником — сплавом олова и свинца); хром и никель на хромированных и никелированных металлических изделиях; цинк в электрических батарейках и на поверхности оцинкованного ведра (на новом ведре видны красивые цинковые кристаллы); порошок серы для борьбы с вредителями растений. К этому можно с некоторой натяжкой добавить иод (все же мы видим его не в чистом виде, а в растворе), кремний и германий в полупроводниковых приборах (а их мы вообще не видим)...

## КАК УСТРОЕНЫ АТОМЫ И ОТКУДА ОНИ ВЗЯЛИСЬ

Атомы состоят из очень плотного и очень маленького ядра, около которого движутся электроны: от одного в атоме водорода до 116 электронов в атоме ливермория, последнего элемента, имеющего название. Атом напоминает Солнечную систему: планеты в ней движутся вокруг центрального массивного тела — Солнца, а электроны в атоме — вокруг ядра. Причем в обоих случаях вещество занимает ничтожную часть пространства. Так, в Солнечной системе почти вся масса (99,87%) сосредоточена в самом Солнце. И в атомах почти вся масса сосредоточена в ядре (в атоме водорода — 99,95%). Но атом намного более «пустой», чем Солнечная система! Расстояние от Солнца до самой далекой планеты примерно в 6500 раз больше радиуса самого Солнца. Размеры же атомов примерно в 100 тысяч раз превышают размеры ядра! Если «увеличить» ядро атома до размера булавочной головки, то сам атом увеличится до размера футбольного поля! Это означает, что атомы «внутри» почти пустые. Если представить себе огромный свинцовый куб с ребром размером 100 м, то фактически вся его масса (11 млн тонн) будет сосредоточена в ядрах свинца, суммарный объем которых меньше спичечной го-

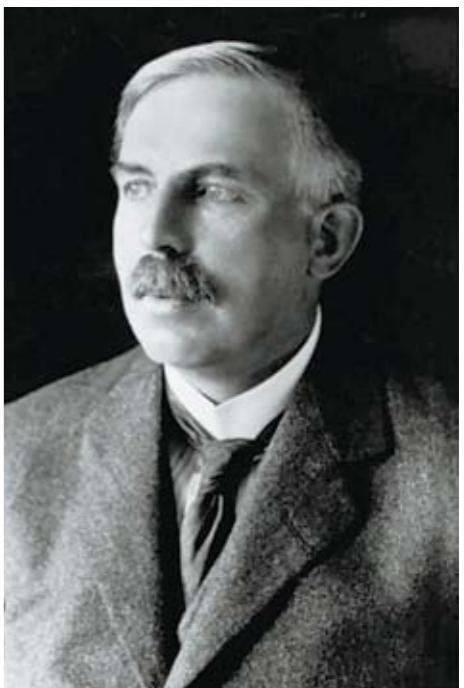


Планеты в Солнечной системе движутся по круговым орбитам вокруг Солнца. Электроны же «размазаны» в пространстве вокруг ядра.

ловки! Трудно даже представить себе невероятно высокую плотность ядерного вещества в любых атомах. Масса электрона в 1836 раз меньше массы ядра атома водорода. Ядра атомов заряжены положительно, а электроны отрицательно, и между ними действуют огромные силы притяжения.

Сравнение атома с Солнечной системой очень приблизительное. Электроны не вращаются, подобно планетам, вокруг центрального ядра по круговым или эллиптическим орбитам, а также не вращаются вокруг своей оси. Их движение описывается законами квантовой механики, для которых в повседневной жизни невозможно найти аналогию. Например, электрон может поглотить квант света — фотон и при этом мгновенно исчезнуть в одной области пространства и появиться в другой области, более далекой от ядра. После этого электрон может также мгновенно, минуя все промежуточные области пространства, опять оказаться ближе к ядру и при этом испустить другой квант света. Эти переходы так и называются — квантовыми. Именно квантовая механика объясняет строение атомов разных элементов и их расположение в Периодической системе Д. И. Менделеева.

Ядро атома водорода представляет собой положительно заряженную элементарную частицу — протон; это слово придумал английский физик Эрнест Резерфорд (1871—1937), образовав его от греч. *protos* — первый. В ядрах всех остальных атомов содержатся не имеющие заряда элементарные частицы — нейтроны — от одно-



Э. Резерфорд — английский физик.



го до 176 для известных ядер. Слово «нейтрон» также придумал Резерфорд, образовав его от лат. *neuter* — ни тот, ни другой. Нейтроны помогают положительно заряженным протонам удерживаться в ядре, несмотря на огромные силы отталкивания между очень близко расположенными зарядами.

## КАЖДЫЙ ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ ИМЕЕТ ОПРЕДЕЛЕННОЕ ЧИСЛО ПРОТОНОВ В ЯДРЕ: ОТ ОДНОГО ДЛЯ САМОГО ЛЕГКОГО ДО 118 ДЛЯ САМОГО ТЯЖЕЛОГО ИЗ ИЗВЕСТНЫХ НА СЕРЕДИНУ 2016 Г.

В электрически нейтральном атоме число электронов равно числу протонов; именно электроны определяют основные химические свойства элемента. Число протонов в ядре элемента определяет заряд ядра  $Z$  и порядковый номер элемента в Периодической таблице. Этот фундаментальный закон открыл в 1913 г. талантливый английский физик Генри Мозли (1887—1915), погибший в возрасте 27 лет в ходе бездарной операции английских войск в Галлиполи.

Число нейтронов в ядре данного элемента может быть разным. Протоны и нейтроны имеют общее название — нуклоны, а тип атомов с данным числом протонов и нейtronов в ядре называется нуклидом (от лат. *nucleus* — ядро и греч. *eidos* — вид, сорт). Нуклиды данного элемента с разным числом нейтронов в ядре называются изотопами, от греч. *isos* — равный, одинаковый, подобный и *topos* — место. Суммарное число протонов и нейтронов в ядре данного нуклида называется массовым числом; очевидно, что оно может быть только целым. Число протонов иногда указывают внизу перед символом элемента. Например,  ${}^3\text{Li}$ , но это делают редко, потому что сам символ лития подразумевает, что в ядре его атома три протона ( $Z = 3$ , и в таблице Менделеева литий находится под третьим номером). А вот массовое число очень важно для характеристики разных изотопов данного элемента. Его указывают вверху перед символом элемента; например,  ${}^7\text{Li}$  означает, что в ядре этого изотопа лития помимо трех обязательных протонов содержится также четыре нейтрана. Иногда массовое число указывают после названия элемента, отделяя его дефисом: литий-7, уран-238. Химические свойства разных изотопов данного элемента могут быть почти одинаковыми (например,  ${}^{63}\text{Cu}$  и  ${}^{65}\text{Cu}$ ), но физические свойства иногда отличаются очень сильно. Например, нуклиды  ${}^{63}\text{Cu}$  и  ${}^{65}\text{Cu}$  стабильны, тогда как нуклид  ${}^{64}\text{Cu}$  радиоактивен и очень быстро распадается, поэтому этот нуклид в природе не встречается.

Во внешней оболочке Земли (земной коре) встречается примерно 90 химических элементов. Но распределены они крайне неравномерно. Еще в 1914 г. итальянский химик Джузеппе Оддо (1865—1954), а в 1917 г. американский химик Уильям Харкинс (1873—

1951) на основе многих анализов показали, что элементы с четными порядковыми номерами значительно более распространены в природе — их почти 90%. Четные номера имеют самые распространенные в земной коре элементы — кислород ( $Z = 8$ ) и кремний ( $Z = 14$ ). Они дают почти 75% от массы земной коры. Других элементов мало (ванадий, медь), очень мало (рений, висмут) или даже практически нет (актиний, америций).

В 1889 г. американский геохимик Франк Уиглсуорт Кларк (1847—1931) впервые попытался оценить содержание известных тогда химических элементов в земной коре. С этой целью он собрал все имеющиеся тогда сведения по составу горных пород и вывел их средний состав. Впоследствии числа, выражающие среднее содержание того или иного элемента в земной коре, по предложению геохимика и минералога академика Александра Евгеньевича Ферсмана (1883—1945) стали называть кларками. Эти числа рассчитывают по результатам многочисленных анализов различных минералов и горных пород. Поэтому неудивительно, что кларки в разных справочниках могут различаться: они много раз уточнялись, и работа эта до сих пор не закончена. Так, в начале XX века кларк германия оценивался как  $10^{-10}$  %, но впоследствии было показано, что этого элемента в действительности в миллион раз больше! С серой же было наоборот: к началу 1930-х гг. считали, что ее 0,1%, а современное значение почти вдвое меньше.

Один из создателей геохимии Владимир Иванович Вернадский (1863—1945), выступая в 1909 г. на XII съезде русских естествоиспытателей и врачей, сказал: «В каждой капле и пылинке вещества на земной поверхности по мере увеличения тонкости наших исследований мы открываем все новые и новые элементы...

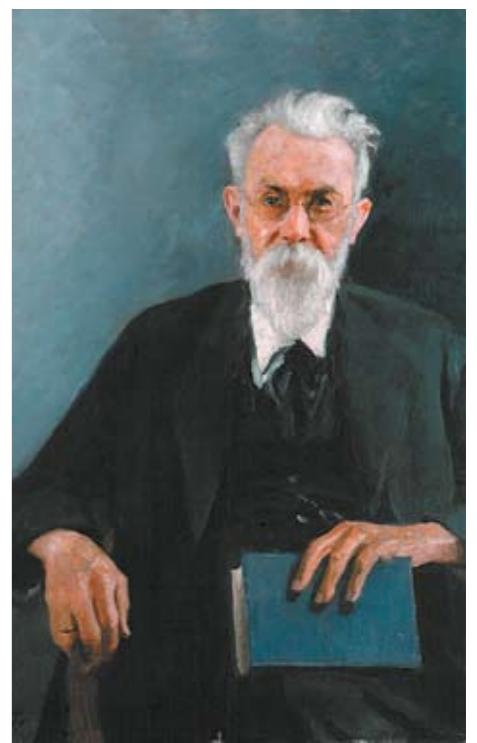
В песчинке или капле, как в микрокосмосе, отражается общий состав космоса. В ней могут быть найдены все те же элементы, какие наблюдаются на земном шаре, в небесных пространствах. Вопрос связан лишь с улучшением и уточнением методов исследования».

Значит, все элементы есть везде. И только недостаточная чувствительность современных методов анализа не позволяет определить их содержание. Кларк кислорода самый высокий — 46,1; кремния — 28,2, водорода — 0,14. А кларк редчайшего элемента рения составляет миллиардные доли процента. То есть в 1 г вещества в среднем содержится примерно  $10^{-9}$  г (1 нанограмм) рения. Но даже в этом ничтожном количестве содержатся триллионы атомов рения!

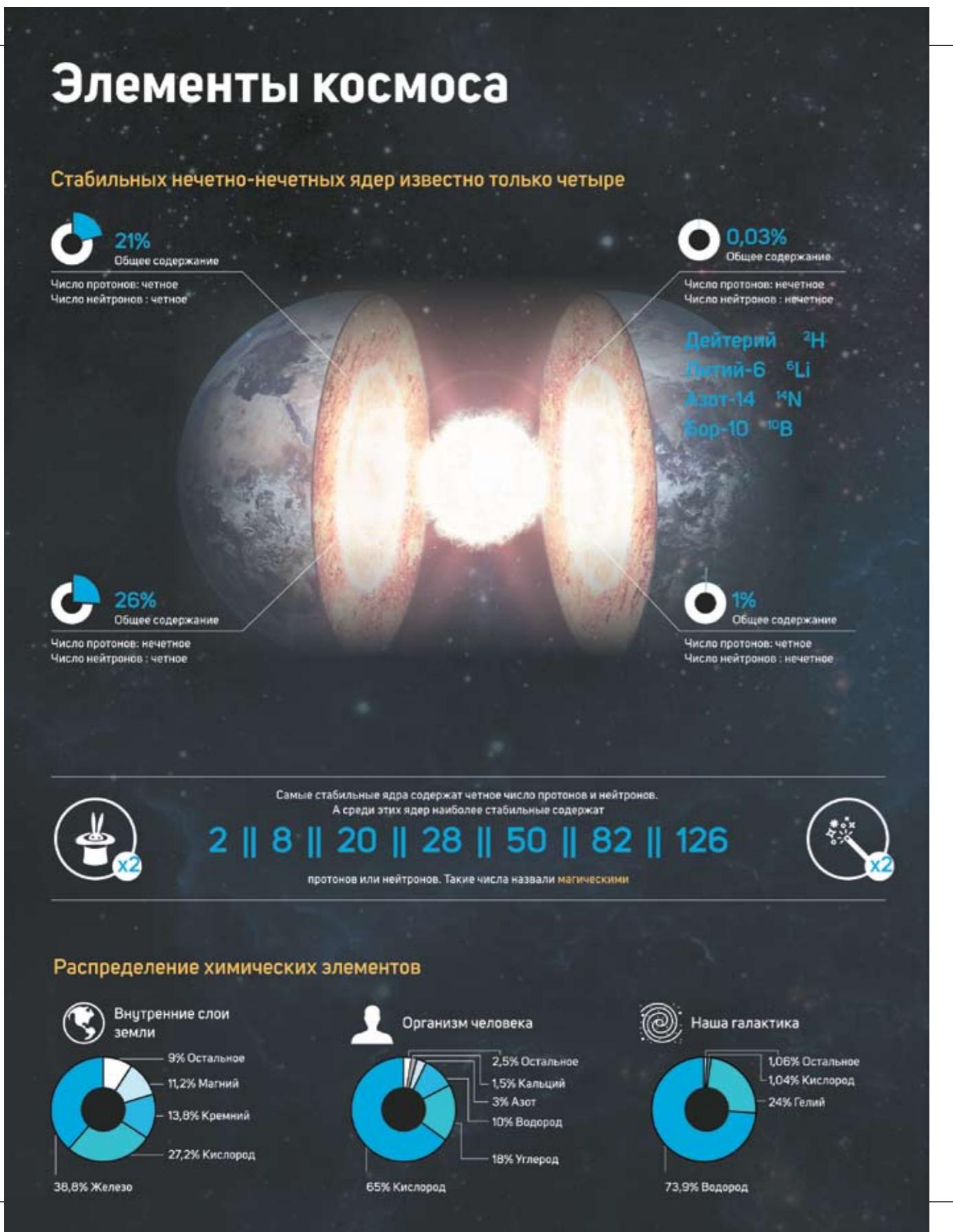
Кларк радия почти в тысячу раз меньше, чем рения, но все равно в 1 г какого-либо образца земной коры в среднем содержатся миллиарды атомов этого редчайшего элемента. А в теле человека? Известно, например, что поступление радия в организм человека с воздухом составляет примерно 1 фг (фемтограмм,



Ф.У. Кларк — американский геохимик.



В.И. Вернадский — русский геохимик.



квадриллионная часть грамма) в сутки. Нетрудно подсчитать, что каждую секунду в наши легкие попадает с воздухом около 30 атомов радия! Всего же в теле человека в среднем содержится 30 пг (пикограммов, триллионных долей грамма) радия, или 80 миллиардов атомов!

Почему же одних элементов в земной коре много, а других мало? И почему в нашей Галактике (которая вряд ли сильно отличается от соседних) распределение элементов совершенно другое, чем в земной коре? Может возникнуть и такой вопрос: как и когда появились все химические элементы? Ответы на эти вопросы наука смогла дать только во второй половине XX века.

Когда подсчитали распространенность в земной коре стабильных изотопов всех элементов (их известно около 300) в зависимости от состава их ядер, то получилась очень интересная картина. Эти данные приведены в таблице (из нее исключен кислород, на который приходится половина массы).

ЧИСЛО ПРОТОНОВ В ЯДРЕ	ЧЕТНОЕ	НЕЧЕТНОЕ	ЧЕТНОЕ	НЕЧЕТНОЕ
ЧИСЛО НЕЙТРОНОВ В ЯДРЕ	ЧЕТНОЕ	ЧЕТНОЕ	НЕЧЕТНОЕ	НЕЧЕТНОЕ
ОБЩЕЕ СОДЕРЖАНИЕ, %	21	26	1	0,03

Распространенность элемента зависит прежде всего от четности числа нейтронов в его ядре. Стабильных нечетно-нечетных ядер известно только четыре — это ядрадейтерия (1 протон, 1 нейtron; природный водород содержит 0,02%дейтерия), лития-6 (3 протона, 3 нейтрона; содержание в природном литии 7,4%), азота-14 (7 протонов, 7 нейтронов; азот-14 составляет 99,6% всего азота), бора-10 (5 протонов, 5 нейтронов; природный бор содержит 19,7% бора-10).

Есть и еще одно очень интересное проявление «четно-нечетного эффекта». Многие элементы с нечетным порядковым номером, т. е. с нечетным числом протонов в ядре, — это элементы-одиночки: они состоят из одного лишь стабильного нуклида (все остальные радиоактивны). Таких элементов 19, среди них фтор-19, натрий-23, алюминий-27, фосфор-31, марганец-55, кобальт-59, иод-127, цезий-133, золото-197 и др. В то же время существует всего-навсего один четный элемент-одиночка — это бериллий ( $Z = 4$ ) с единственным стабильным нуклидом  $^9\text{Be}$ . Обычно же у элементов с четным порядковым номером  $Z$  есть несколько стабильных изотопов; рекорд принадлежит олову ( $Z = 50$ ): у него десять стабильных и еще больше радиоактивных изотопов.

Итак, самые стабильные ядра содержат четное число протонов и нейтронов. А среди этих ядер наиболее стабильные содержат 2, 8, 20, 28, 50, 82 или 126 протонов или нейтронов; такие числа назвали магическими. Ядра  $^4\text{He}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{40}\text{Ca}$  и ряд других являются дважды магическими (магическое число и протонов, и нейтронов), поэтому их во Вселенной относительно много.

Почему же одних элементов много, а других мало? И всегда ли так было? По современным представлениям, Вселенная возникла в результате Большого взрыва. После взрыва сначала образовались протоны (ядра атомов водорода) и нейтроны. Спустя несколько минут после взрыва, когда температура снизилась до миллиарда градусов, начался процесс нуклеосинтеза — соединение протонов и нейтронов с образованием более



Две яркие звезды в туманности GL 490.

тяжелых ядер. На первом этапе образовались в основном ядра гелия-4. В результате первичная Вселенная состояла из ядер водорода (примерно 75%) и гелия-4 с очень малой примесью ядер тяжелого водорода — дейтерия (D, один протон и один нейtron), гелия-3 и лития-7. Вселенная продолжала расширяться, остыять и становилась все более разреженной. Когда температура стала ниже 10 000 градусов, электроны получили возможность соединяться с ядрами, образуя устойчивые атомы водорода и гелия.

Бесконечному расширению Вселенной противодействовали силы всемирного тяготения (гравитации). Гравитационное сжатие материи в разных частях разреженной Вселенной сопровождалось повторным сильным разогревом: энергия тяготения переходила в тепловую энергию. Наступила стадия массового образования первых звезд, которая продолжалась около 100 миллионов лет. Если при гравитационном сжатии температура достигала 10 миллионов градусов, начинался процесс термоядерного синтеза: ядра водорода ( $Z = 1$ )сливались и превращались в гелий ( $Z = 2$ ). «Горение» водорода с образованием гелия — основная реакция, дающая энергию нашему Солнцу. При более высоких температурах идут реакции образования ядер лития ( $Z = 3$ ) и некоторых более тяжелых элементов. Все эти реакции сопровождаются выделением огромного количе-

ства энергии — в виде излучения звезды. (Реакции слияния ядер идут и при взрыве водородной бомбы.) Пока в звезде идут реакции синтеза, излучение уравновешивает гравитационное сжатие звезды.

Когда заметная часть водорода в звезде «выгорает», синтез гелия замедляется, связанное с ним излучение уже не может уравновесить гравитацию огромной массы. Силы гравитации вновь сжимают и разогревают звезду, и при температуре 150 миллионов градусов в ее самой горячей центральной части происходит слияние ядер гелия с образованием ядер углерода ( $Z = 6$ ). А во внешних более холодных слоях звезды продолжается синтез гелия из водорода. После полного исчерпания запасов гелия наступает следующий этап сжатия звезды силами гравитации. И если масса звезды в несколько раз больше массы Солнца, она может разогреться до миллиарда градусов и выше. При таких температурах происходит синтез более тяжелых ядер. Выделяющаяся в этих процессах энергия в виде излучения сильно «раздувает» внешние слои старых звезд. Звездный ветер, «дующий» с их поверхности, выносит в космическое пространство синтезированные этими звездами химические элементы. По образному выражению, звезды — это ядерные костры, зола которых — химические элементы. Если же масса звезды не очень велика (как у нашего Солнца), температура на ней недостаточно высокая, чтобы углерод



и кислород вступили в дальнейшие реакции ядерного синтеза; такая звезда может стабильно излучать очень долго — миллиарды лет.

Синтез ядер в звездах может дать только элементы с атомными номерами не более  $Z = 26, 27, 28$  (железо, кобальт, никель). Так что атомы железа в нашей крови когда-то были синтезированы в звездах! Как же появились в природе все остальные химические элементы? И как они попали из звезд на Землю, в том числе в тело человека?

Если масса звезды в десять раз больше, чем у Солнца, температура в ее центральной части становится такой высокой, что там синтезируются ядра вплоть до железа ( $Z = 26$ ) и никеля ( $Z = 28$ ). Из всех химических элементов эти ядра самые стабильные. Это значит, что реакции слияния ядер и синтеза более легких, чем железо, элементов идут с выделением энергии, тогда как синтез более тяжелых элементов требует затрат энергии. Поэтому в звездах, достигших «железной» стадии развития, происходят драматические события: вместо выделения энергии идет ее поглощение, что сопровождается быстрым понижением температуры и светимости. А сама звезда сжимается до очень маленького объема; этот процесс называется гравитационным коллапсом (от лат. *collapses* — ослабевший, одряхлевший, разрушенный). В этом процессе образуется большое число нейтронов, которые благодаря отсутствию заряда легко проникают в ядра всех имеющихся элементов, в том числе железа и его соседей. В ядре избыточный нейtron превращается в протон (их массы близки). Но протон заряжен, поэтому в результате такого процесса из элемента с номером  $Z$  образуется элемент с номером  $Z + 1$ . Так появляются все более тяжелые химические элементы, следующие за железом.

## **КОЛЛАПС ЗВЕЗДЫ ЗАКАНЧИВАЕТСЯ ГРАНДИОЗНЫМ ВЗРЫВОМ, ПРИ КОТОРОМ В КОСМИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО ВЫБРАСЫВАЕТСЯ ДО 90% ЕЕ МАССЫ.**

Так появляется сверхновая звезда (обычно говорят просто: «сверхновая»), яркость которой может быть больше суммарной яркости миллиардов звезд. Невооруженным глазом за последние 2000 лет люди видели не менее десяти сверхновых. Одну из них описали китайские и арабские астрономы в 1054 г., эта сверхновая дала Крабовидную туманность. В результате горения и взрыва звезд множество химических элементов попадает в межзвездную среду. А дальше все повторяется сначала: остатки сверхновых конденсируются в плотные образования, из которых под действием гравитационных сил возникают звезды нового поколения. Эти звезды (к ним принадлежит и наше Солнце) с самого начала уже содержат в своем составе примесь тяжелых элементов. Эти же элементы содержатся и в окружающих эти звезды газопылевых облаках, из которых

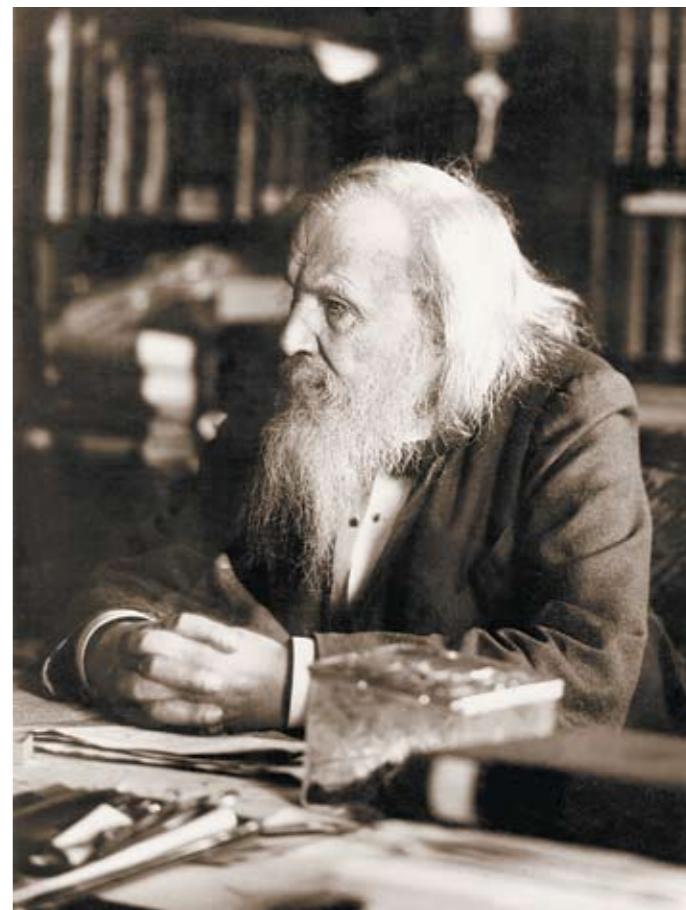
образуются планеты. И если с момента Большого взрыва прошло около 14 миллиардов лет, то возраст Солнечной системы значительно меньше — около 5 миллиардов лет.

Существует общее правило — чем больше заряд ядра  $Z$ , то есть чем оно тяжелее, тем меньше таких нуклидов во Вселенной. Однако это правило выполняется не всегда. Например, в земной коре мало легких нуклидов  $^6\text{Li}$ ,  $^9\text{Be}$ ,  $^{10}\text{B}$ ,  $^{11}\text{B}$ . Предполагают, что эти нуклиды по ряду причин не могут образоваться в недрах звезд, а «откалываются» от более тяжелых ядер в межзвездном пространстве под действием космических лучей. Таким образом, соотношение различных элементов на Земле — отголосок бурных процессов в космосе, которые происходили миллиарды лет назад, на более поздних этапах развития Вселенной.

Чтобы понять особенности распределения элементов в земной коре, нужно учесть, что когда-то наша планета была холодным газопылевым облаком. При этом все химические элементы в нем были распределены более или менее равномерно. Постепенно за счет гравитационных сил сжатия, энергии распада радионуклидов и непрерывной бомбардировки астероидами этот вращающийся шар разогрелся так, что содержащиеся в нем металлические железо и никель расплавились и начали концентрироваться в центральной части, образовав тяжелое ядро и вытеснив более легкие элементы во внешние слои. В результате почти 95% массы земной коры составляют легкие элементы — от водорода ( $Z = 1$ ) до кальция ( $Z = 20$ ), а ядро Земли состоит на 90% из железа и на 10% из никеля. Железоникелевое ядро и создает магнитное поле Земли, защищающее его от космических частиц высокой энергии. Этот «магнитный» защитный экран очень важен для жизни на Земле.

## **ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА**

Вы прочтете обо всех химических элементах — о происхождении их названий, истории открытия, свойствах и в каких отраслях промышленности или сельского хозяйства их применяют люди. Многие свойства элементов были изучены еще в XIX веке, о чем свидетельствуют цитаты из классического учебника Дмитрия Ивановича Менделеева (1834—1907) «Основы химии»; они приводятся по 8-му изданию 1906 г. В это последнее прижизненное издание гениальный русский химик Д. И. Менделеев поместил символы 71 элемента. Современная Периодическая таблица содержит 118 известных



Д.И. Менделеев — великий русский химик.

# ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

<b>I</b>								
1 <b>H</b> ВОДОРОД 1,008	II							
3 <b>Li</b> ЛИТИЙ 6,94	4 <b>Be</b> БЕРИЛЛИЙ 9,012182(3)							
II	12 <b>Mg</b> МАГНИЙ 24,3050(6)							
19 <b>K</b> КАЛИЙ 39,0983(1)	20 <b>Ca</b> КАЛЬЦИЙ 40,078(4)	21 <b>Sc</b> СКАНДИЙ 44,955912(6)	22 <b>Ti</b> ТИТАН 47,867(1)	23 <b>V</b> ВАНАДИЙ 50,9415(1)	24 <b>Cr</b> ХРОМ 51,9961(6)	25 <b>Mn</b> МАРГАНЕЦ 54,938045(5)	26 <b>Fe</b> ЖЕЛЕЗО 55,845(2)	27 <b>Co</b> КОБАЛЬТ 58,933195(5)
37 <b>Rb</b> РУБИДИЙ 85,4678(3)	38 <b>Sr</b> СТРОНЦИЙ 87,62(1)	39 <b>Y</b> ИТРИЙ 88,90585(2)	40 <b>Zr</b> ЦИРКОНИЙ 91,224(2)	41 <b>Nb</b> НИОБИЙ 92,90638(2)	42 <b>Mo</b> МОЛИБДЕН 95,96(2)	43 <b>Tc</b> ТЕХНЕЦИЙ [98]	44 <b>Ru</b> РУТЕНИЙ 101,07(2)	45 <b>Rh</b> РОДИЙ 102,90550(2)
55 <b>Cs</b> ЦЕЗИЙ 132,9054519(2)	56 <b>Ba</b> БАРИЙ 137,327(7)	72 <b>Hf</b> ГАФНИЙ 178,49(2)	73 <b>Ta</b> ТАНТАЛ 180,94788(2)	74 <b>W</b> ВОЛЬФРАМ 183,84(1)	75 <b>Re</b> РЕНИЙ 186,207(1)	76 <b>Os</b> ОСМИЙ 190,23(3)	77 <b>Ir</b> ИРИДИЙ 192,217(3)	
87 <b>Fr</b> ФРАНЦИЙ [223]	88 <b>Ra</b> РАДИЙ [226]	104 <b>Rf</b> Резерфордий [265]	105 <b>Db</b> ДУБНИЙ [268]	106 <b>Sg</b> СИБОРГИЙ [272]	107 <b>Bh</b> БОРИЙ [274]	108 <b>Hs</b> ХАССИЙ [276]	109 <b>Mt</b> МЕЙТЕРПЕЙ [278]	
		57 <b>La</b> ЛАНТАН 138,90547(7)	58 <b>Ce</b> ЦЕРИЙ 140,116(1)	59 <b>Pr</b> ПРАЗЕОДИМ 140,90765(2)	60 <b>Nd</b> НЕОДИМ 144,242(3)	61 <b>Pm</b> ПРОМЕТИЙ [145]	62 <b>Sm</b> САМАРИЙ 150,36(2)	
		89 <b>Ac</b> АКТИНИЙ [227]	90 <b>Th</b> ТОРИЙ 232,03806(2)	91 <b>Pa</b> ПРОТАКТИНИЙ 231,03588(2)	92 <b>U</b> УРАН 238,02891(3)	93 <b>Np</b> НЕПтуний [237]	94 <b>Pu</b> ПЛЮТОНИЙ [244]	

# ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА

химических элементов. Они разбиты на 7 периодов и 18 групп (в старых вариантах таблицы было 8 групп, часть которых была разбита на подгруппы А и В). Названия четырех элементов (с номерами 113, 115, 117 и 118), полученных в 2002—2010 гг. в России и США, официально пока не утверждены.

## ПЕРИОДИЧЕСКАЯ ТАБЛИЦА Д. И. МЕНДЕЛЕЕВА СОДЕРЖИТ ОЧЕНЬ МНОГО ИНФОРМАЦИИ. НУЖНО ТОЛЬКО ЕЕ УВИДЕТЬ.

В каждой клетке таблицы помещены символ элемента, его название, порядковый номер  $Z$  и относительная атомная масса  $A_r$ . Массы атомов известны с очень высокой точностью, но выражать их в граммах неудобно. Например, масса атома тяжелого элемента урана-238 составляет  $3,952 \cdot 10^{-22}$  г. Поэтому массу атомов выражают в относительных единицах и обозначают  $A_r$  (буква  $r$  — от лат. *relativus* — относительный); это безразмерная величина, показывающая, во сколько раз масса данного атома больше массы другого атома, принятого в качестве стандарта. За стандарт в настоящее время принята 1/12 часть массы самого распространенного в органическом мире нуклида — углерода-12.

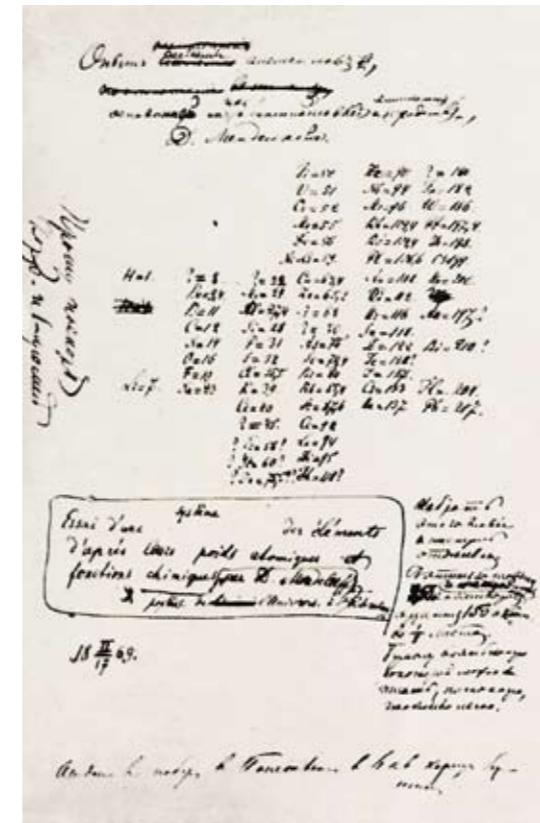
В таблице атомные массы элементов указаны с разной точностью. Происходит это потому, что большинство элементов в природе представлено несколькими стабильными изотопами, причем их соотношение в разных местах Земли не постоянно. Например, атомные массы водорода ( $H$ ) и тяжелого водорода —дейтерия ( $D$ ) известны с исключительно высокой точностью: 1,007825035 для  $H$  и 2,014101779 для  $D$ . Если бы соотношение  $H$  и  $D$  в природе везде и всегда было постоянным, атомную массу природного водорода тоже можно было бы рассчитать с очень высокой точностью. Но это не так: более легкие молекулы  $H_2O$  испаряются с поверхности морей и океанов немного легче, чем молекулы  $D_2O$  и  $HDO$ ; в подземных водах они чуть быстрее просачиваются через песок и другие породы. Поэтому если определять атомную массу природного водорода в разных местах Земли, то получатся немного разные значения.

Другой пример. Природный хлор состоит из двух изотопов:  $^{35}Cl$  (75%) и  $^{37}Cl$  (25%). Усредненная атомная масса хлора  $A_r = 35,45$ . Измерять ее точнее нет смысла: в морской воде и в каменной соли соотношение изотопов хлора будет немного разным. Другое дело элементы-одиночки, представленные в природе всего одним нуклидом ( $^{19}F$ ,  $^{23}Na$ ,  $^{27}Al$ ,  $^{31}P$  и др.). Для таких элементов значение  $A_r$  можно определить с высокой точ-

ностью, например для натрия  $A_r = 22,98976928(2)$  (цифра в скобках указывает на погрешность измерения в последнем знаке).

Для элементов с  $Z > 83$ , то есть после висмута, значения  $A_r$  обычно стоят в скобках; то же мы видим для технеция ( $Z = 43$ ) и прометия ( $Z = 61$ ). У этих элементов нет ни одного стабильного изотопа, в природе они практически не встречаются, и для них указывают не значение  $A_r$ , а массовое число самого долгоживущего из известных изотопов. Есть еще одна причина поместить эти числа в скобки. Когда открывают новый радиоактивный элемент, то получают вначале лишь один из его изотопов. Но вследствии часто синтезируются изотопы с большим временем жизни, и тогда число в скобках заменяют. Например, для дубния ( $Z = 105$ ) в таблице 1983 г. стояло [261] (период полураспада 1,8 с.), в таблице 2000 г. — [262] (период полураспада 35 с.), в таблице 2013 г. — [268] (период полураспада 32 ч.).

У нескольких радиоактивных элементов, например у тория ( $Z = 90$ ) и урана ( $Z = 92$ ), есть изотопы с очень большим временем жизни. Поэтому для них можно с достаточной точностью определить относительную атомную массу.



Автограф первой таблицы элементов  
Д. И. Менделеева, 17 февраля 1869 г.



Весы, сконструированные  
Д.И. Менделеевым  
для взвешивания газообразных  
и твердых веществ.



**Кларк, г/т** 1400  
**Плотность, г/л** 0,09  
**t кипения, °C** -252,9

## ВОДОРОД

Водород представляет пример газа, на первый взгляд не отличающегося от воздуха. Оттого немудрено, что Парацельс, открывший, что при действии некоторых металлов на серную кислоту получается воздухообразное вещество, хорошо не определил его отличия от воздуха. Действительно, водород бесцветен и не имеет запаха, так же как и воздух; но, при ближайшем знакомстве с его свойствами, этот газ оказывается совершенно отличным от воздуха.

Д. И. Менделеев.

Водород — единственный элемент, изотопы которого имеют свои названия:  $^1\text{H}$  — протий (от греч. protos — первый),  $^2\text{H}$  (D) — дейтерий (от греч. deuteros — второй),  $^3\text{H}$  (T) — тритий (от греч. tritos — третий). Содержание дейтерия в природном водороде не постоянно: от 0,0011 до 0,0016%.

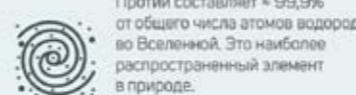
Область ионизированного водорода в галактике Треугольника.



## Водород H

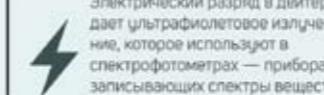
Кларк, г/т	1400
Плотность, г/л	0,09
t кипения, °C	-252,9

### Протий $^1\text{H}$



Протий составляет ~ 99,9% от общего числа атомов водорода во Вселенной. Это наиболее распространенный элемент в природе.

### Дейтерий $^2\text{H}$



Электрический разряд в дейтерии дает ультрафиолетовое излучение, которое используют в спектрофотометрах — приборах, записывающих спектры веществ.

### Тритий $^3\text{H}$



Тритий радиоактивен (период полураспада 12,3 года), он образуется в верхних слоях атмосферы под действием космического облучения.

1493—1541



Образование водорода наблюдал Парацельс.

1766



В чистом виде водород получил английский химик и физик Генри Кавендиш.

1783



Французский химик, директор Парижского музея науки Жан Франсуа Пилат де Розье (1754—1785) совершил первое в мире путешествие на воздушном шаре, частично наполненном водородом.



### Мировое производство водорода

**60**  
млн тонн



Синтез аммиака: для удобрений, взрывчатых и лекарственных средств.



Производство кварцевого стекла: водородно-кислородное пламя дает температуру > 2000 °C.



Электрическая энергия: из энергии «холодного» горения в топливных элементах.

Третий радиоактивен (период полураспада 12,3 года), он образуется в верхних слоях атмосферы под действием космического облучения. В дождевой воде на 1 атом  $^3\text{H}$  приходится примерно  $10^{18}$  (квинтилионов) атомов  $^1\text{H}$ .

Плотность водорода при нормальных условиях 0,090 г/л, это самый легкий газ, он в 14 раз легче воздуха.

При сильном охлаждении водород становится жидким, а затем твердым. Температура плавления водорода  $-259,1^\circ\text{C}$ , температура кипения  $-252,9^\circ\text{C}$ . Жидкий водород — самая легкая жидкость, 1 литр ее весит всего 67 г (при температуре  $-250^\circ\text{C}$ ), а твердый водород — самое легкое твердое вещество: его плотность  $0,076 \text{ г}/\text{см}^3$ . Растворимость водорода в воде при  $20^\circ\text{C}$   $18,2 \text{ мл}/\text{л}$ . Водород хорошо растворяется в никеле, платине и палладии. Проникают молекулы  $\text{H}_2$  через многие материалы. Поэтому резиновый шарик, надутый водородом, «худеет» намного быстрее шарика, надутого воздухом.

Водород очень близок к идеальному газу: при нормальных условиях 1 моль водорода занимает объем 22,42 л, что практически не отличается от теоретического объема для идеального газа (22,4138 л).

В чистом виде водород впервые получил в 1766 г. английский химик и физик Генри Кавендиш (1731—1810). Но задолго до этого образование водорода наблюдал Филипп Ауреол Теофраст фон Гогенгейм, он же Парацельс (1493—1541).

**СЛОВО «ВОДОРОД» (РОЖДАЮЩИЙ ВОДУ) —  
КАЛЬКА С ФРАНЦУЗСКОГО HYDROGÈNE.  
ЭТО СЛОВО ПРИДУМАЛ  
ЗНАМЕНИТЫЙ ФРАНЦУЗСКИЙ  
ХИМИК А. Л. ЛАВУАЗЬЕ, ПРОИЗВЕДЯ ЕГО  
ОТ ГРЕЧ. HYDOR — ВОДА И GENES — РОЖДЕННЫЙ.**

Лавуазье впервые доказал, что вода состоит из водорода и кислорода.

В природе водород практически всегда связан с другими элементами, чаще всего с кислородом (например, в воде) и углеродом (в органических соединениях). В виде соединений с углеродом водород входит в состав нефти, природных газов, всех живых организмов. Свободный водород встречается в небольших количествах в вулканических газах, но легкий газ быстро покидает атмосферу, уходя в космическое пространство. В организме среднего человека (70 кг) содержится около 7 кг водорода.

При комнатной температуре водород мало активен и реагирует только с фтором, а на свету — с хлором. В смесях с кислородом и с воздухом водород при содержании более 4,5% образует взрывчатые смеси («гримучий газ»). Взрыв может произойти даже от маленькой искры.

Скорость звука в водороде почти в четыре раза выше, чем в воздухе. Если вдохнуть водород и произнести несколько слов, то звук даже низкого мужского голоса будет неестественно высоким. Однако вдыхать водород небезопасно: в легких он смешается с остатками воздуха и образует взрывчатую смесь. И если при выдохе поблизости окажется огонь...

Именно так случилось с французским химиком, директором Парижского музея науки Жаном Франсуа Пилатром де Розье (1754—1785). Он решил проверить, что будет, если вдохнуть водород; до него никто такого эксперимента не проводил. Он вдохнул этот газ, а затем выдохнул его на огонь свечи, ожидая увидеть вспышку пламени. Однако водород в его легких был смешан с воздухом, и произошел сильный взрыв. «Я думал, что у меня выпадали все зубы вместе с корнями», — писал он впоследствии, очень довольный опытом, который чуть не стоил ему жизни.

И все же отчаянная смелость погубила ученого. В ноябре 1783 г. он первый в мире (в сопровождении армейского офицера маркиза д'Арланда) совершил путешествие на воздушном шаре; аэронавты провели в воздухе 25 минут, поднявшись на высоту 1 км и пролетев около 10 км. Розье изобрел шар с двумя оболочками: в одной был водород, в другой (нижней) — горячий воздух. Такая конструкция позволяла экономить дорогой водород. Первый полет прошел благополучно. Однако в июне 1785 г. Розье решил перелететь Ламанш, но шар загорелся, и ученый, не достигший и 30-летнего возраста, погиб вместе со своим спутником Пьером Роменом.

К большим жертвам привело воспламенение в мае 1937 г. гигантского немецкого дирижабля «Гинденбург» — в нем было 190 000 кубометров водорода. Тогда погибли 35 человек. После многих несчастных случаев водород в воздухоплавании больше не используют, его заменяют гелием или горячим воздухом.



[>>>](http://kniga.biz.ua)