ПОПУЛЯРНЫЙ ИЛЛЮСТРИРОВАННЫЙ ГИД

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

ОГИЗ

Илья Леенсон

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

ОГИЗ

Издательство АСТ
Москва

УДК 54
ББК 24.12
Л39

Все права защищены. Никакая часть этой книги не может быть воспроизведена и не может распространяться ни в какой форме и никакими средствами ни в электронном виде, ни механически, в том числе виде фотокопий, аудиозаписей или на накопителях, без письменного разрешения издателя.

Леенсон, Илья Абрамович.

Л39 Химические элементы. Популярный иллюстрированный гид / И. А. Леенсон. — Москва : АСТ, 2021. — 192 с.: ил. — (Популярный иллюстрированный гид).

ISBN 978-5-17-136594-3

Атомы железа в крови человека синтезированы в недрах звезд, твердый водород — самое легкое твердое вещество, а в одной клетке образуется 3500 белков. За 4000 лет до н.э. в Древнем Китае применяли индиго и кермес, а в Египте — медь. В периодической таблице 7 периодов, 18 групп и 118 элементов, из которых, как известно, состоит все на свете.

Биографии и характеры химических элементов описал Илья Абрамович Леенсон (1945–2019) — кандидат химических наук, в прошлом старший научный сотрудник химического факультета МГУ, доцент Высшего химического колледжа РАН, автор научных и научно-популярных статей, книг и учебных пособий.

УДК 54
ББК 24.12

ISBN 978-5-17-136594-3

© Леенсон И. А., 2021
© Оформление. ООО «Издательство АСТ», 2021

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 Щипачёва «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 этот счет современная наука? Как появились химические элементы и что это за «страшная сила», которая их создала?

Но сначала о том, что же такое химический элемент. Это понятие сформировалось в XVIII в., 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 мель-

И кристаллы медного купороса, и сосновый лес — все состоит из химических элементов

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

Джон Дальтон — английский химик

Таблица химических элементов Дальтона

чайших, не видимых глазом частиц, которые могут соединяться и разъединяться, порождая все видимые вещи.

Суть атомистической теории 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 значенье, с какими
И в положеньи 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 измененьем 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. Уже на строгой научной основе ее возродил английский химик Джон Дальтон (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 элементов. 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 в., 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 зачастую 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).

Если вещество построено из атомов разных элементов, то такое вещество называется сложным. Когда-то вода считалась простым веществом. Лавуазье впер-

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

А. Вольта — итальянский физик

вые 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 Алессандро Вольта (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 провалились 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, т. е. часть его притягивалась бы магнитом, а другая часть имела бы желтый цвет и легко плавилась. Представить себе такое вещество затруднительно. На эту тему можно привести строки Евгения Винокурова:

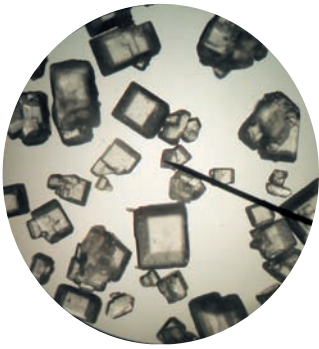
И в учебник по химии взор мой тупо вперен:
до сих пор я не понял задачу,
где смешаны сера с азотом.

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 «медная монета», «медь хорошо проводит 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. Утверждая, что «медь 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 встречают-

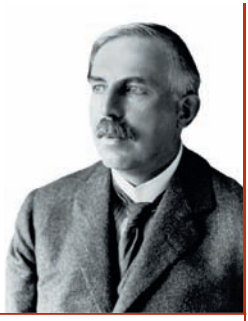
ся редко. Таким примером могут служить термины «углерод» и «графит». Интересно, что в современной украинской химической номенклатуре для элементов и простых веществ используют разные слова. Вот несколько примеров (приводятся символ элемента и украинские названия простого вещества и химического элемента): H — водень, Гідроґен; O — кисень, Оксиґен; Si — кремній, Силіцій; S — сірка, Сульфур; F — фтор, Флуор; Cu — мідь, Купрум; Ag — срібло, Арґентум; Au — золото, Аурум; 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 ґ (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 впаянные в стекло проволочки, поддерживающие вольфрамовую спираль), а колба лампы может быть наполнена аргоном, криптоном 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)...



Кристаллы сахара под микроскопом

Самородок меди



Э. Резерфорд — английский физик

Как устроены атомы и откуда они взялись

Атомы состоят из очень плотного и очень маленького ядра, вокруг 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 головки! 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 — квантовые. 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 1 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.

Планеты в Солнечной системе двигаются по круговым орбитам вокруг Солнца, чего нельзя сказать о движении электронов вокруг ядра

Каждый химический элемент имеет определенное число протонов в ядре от одного для самого легкого до 118 для самого тяжелого из известных к середине 2013 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 нейтронов 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: $_{3}Li$. 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}Li означает, что в ядре этого изотопа лития помимо трех обязательных протонов содержится также

Вода — соединение водорода с кислородом — уникальное вещество, оно присутствует на Земле в трех агрегатных состояниях

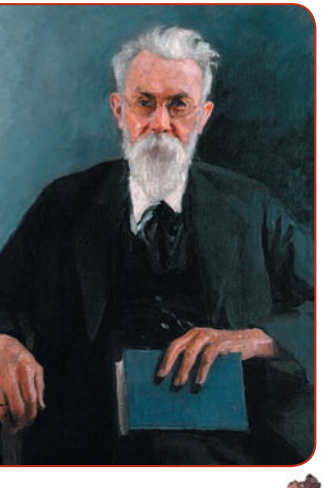
четыре нейтрона. Иногда массовое число указывают после названия элемента, отделяя его дефисом: литий-7, уран-238. Химические свойства разных изотопов данного элемента могут быть почти одинаковыми (например ^{63}Cu и ^{65}Cu), но физические свойства иногда отличаются очень сильно. Например, нуклиды ^{63}Cu и ^{65}Cu стабильны, тогда как нуклид ^{64}Cu радиоактивен и очень быстро распадается, поэтому этот нуклид в природе не встречается.

Во внешней оболочке Земли (земной коре) встречаются 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 в. 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 микрокос-

В. И. Вернадский — русский геохимик

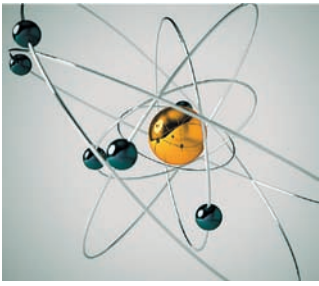


мосе, отражается общий состав космоса. В ней могут быть найдены все те же элементы, какие наблюдаются на земном шаре, в небесных пространствах. Вопрос связан лишь с улучшением и уточнением методов исследования».

Значит, 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, 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 млрд 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 иное, 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 в.



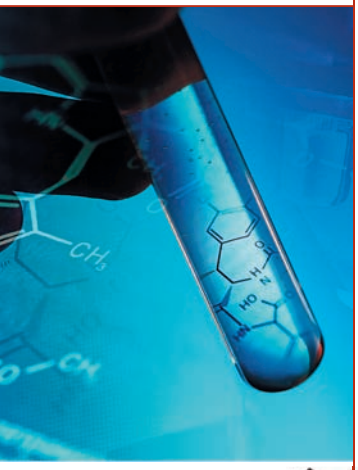
Все химические элементы образовались в звездах

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

Туманность Улитка в созвездии Водолея — конечная стадия эволюции звезды, похожей на наше Солнце. Снимок получен телескопом имени Хаббла

Органические вещества — соединения углерода с другими элементами — самый обширный класс химических соединений

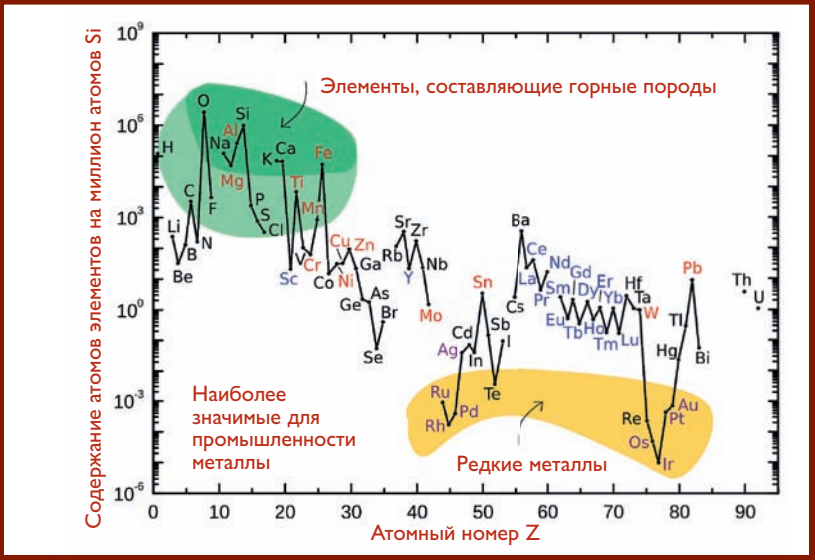


Распространенность элемента зависит прежде всего от четности числа нейтронов в его ядре. Стабильных нечетно-нечетных ядер известно только четыре — это ядра дейтерия (1 протон, 1 нейтрон; природный водород содержит 0,02% дейтерия), лития-6 (3 протона, 3 нейтрона; содержание в природном литии 7,4%), азота-14 (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}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}He, ^{16}O, ^{40}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 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 нейтрон), гелия-3 и лития-7. Вселенная продолжала расширяться, остывать и становилась все более разреженной. Когда температура стала ниже 10 тысяч



На рисунке показано, сколько атомов разных элементов приходится в земной коре на миллион атомов кремния. В левой верхней части находятся элементы, составляющие основу горных пород, в правой нижней части расположены самые редкие металлы. Красным цветом выделены символы наиболее важных для промышленности металлов, фиолетовым — драгоценные металлы, синим — редкоземельные элементы.

Состав внутренних слоев Земли неизвестен. Тем не менее делались попытки оценить кларки всего земного шара в целом. И тогда на первое место выходит железо! Потому что его много в ядре Земли.

Распределение химических элементов в организме человека (в процентах по массе) иное (даны приблизительные числа, так как все люди разные; особенно это касается более редких элементов).

Совершенно другая картина получается для распространенности элементов в космосе, точнее, в нашей Галактике (также в процентах по массе).

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 млн лет. Если при гравитационном сжатии температура достигала 10 млн 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 количества энергии — в виде излучения звезды. 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 млн 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 ходе этих процессов 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 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.

Рисунок Леонардо да Винчи «Витрувианский человек» (XV в.) показывает, что пропорции человеческого тела тоже математически определены

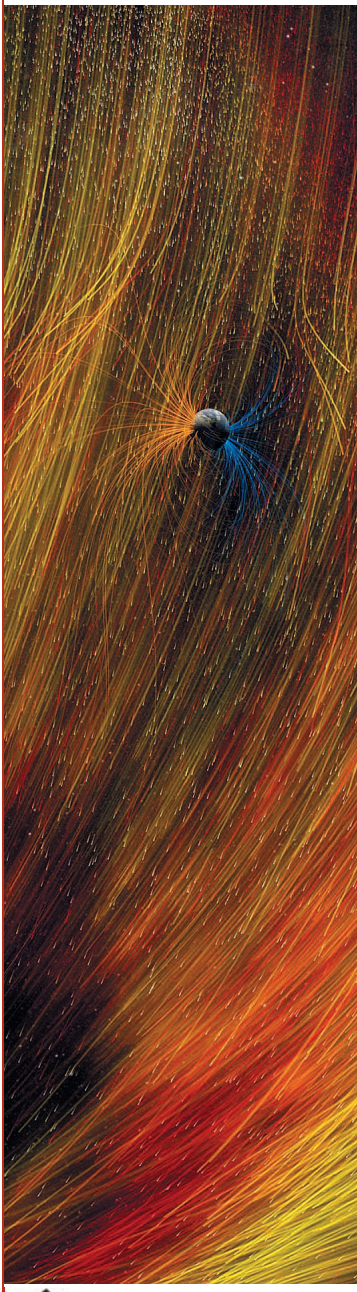
Синтез ядер в звездах может дать только элементы с атомными номерами не более Z = 26, 27, 28 (железо, кобальт, никель). Так что атомы железа в нашей крови когда-то были синтезированы в звездах! Как же появились в природе все остальные химические элементы? И как они попали из звезд на Землю, в том числе 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, наоборот, требует ее затрат. 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 нейтрон 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. 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 (одна из них Солнце) с самого начала уже содержат в своем составе примесь тяжелых элементов. Эти же элементы содержатся

Магнитное поле Земли защищает планету от губительного для живых организмов солнечного ветра



и в окружающем эти звезды газопылевых облаках, из которых образуются планеты. И если с момента Большого взрыва прошло около 14 млрд лет, то возраст Солнечной системы значительно меньше — около 5 млрд лет.

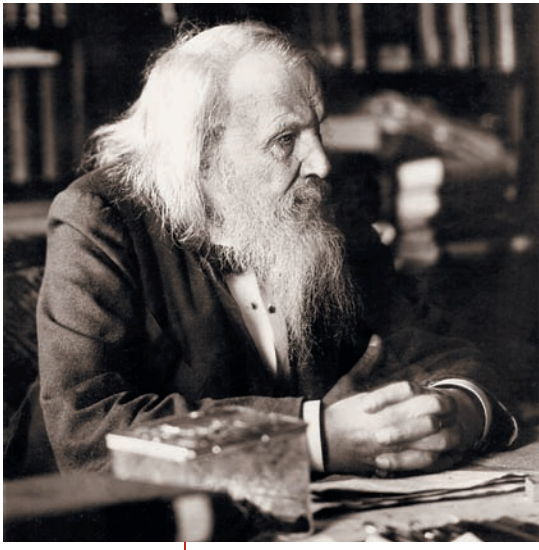
Существует общее правило — чем больше заряд ядра Z, т. е. чем оно тяжелее, тем меньше таких нуклидов во Вселенной. Однако это правило работает не всегда. Например, в земной коре мало легких нуклидов ^{6}Li, ^{9}Be, ^{10}B, ^{11}B. Предполагают, что эти нуклиды по ряду причин не могут образоваться в недрах 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 прочитаете 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 в., 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 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).



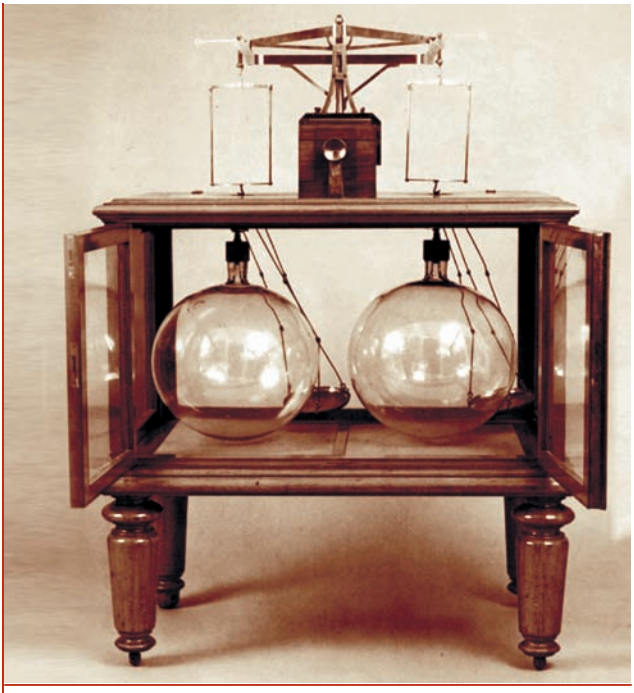
Д. И. Менделеев — великий русский химик

Периодическая таблица Д. И. Менделеева содержит очень много информации. Нужно только уметь ее увидеть. В каждой клетке таблицы помещены символ элемента, его название, порядковый номер Z и относительная атомная масса A. 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.

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

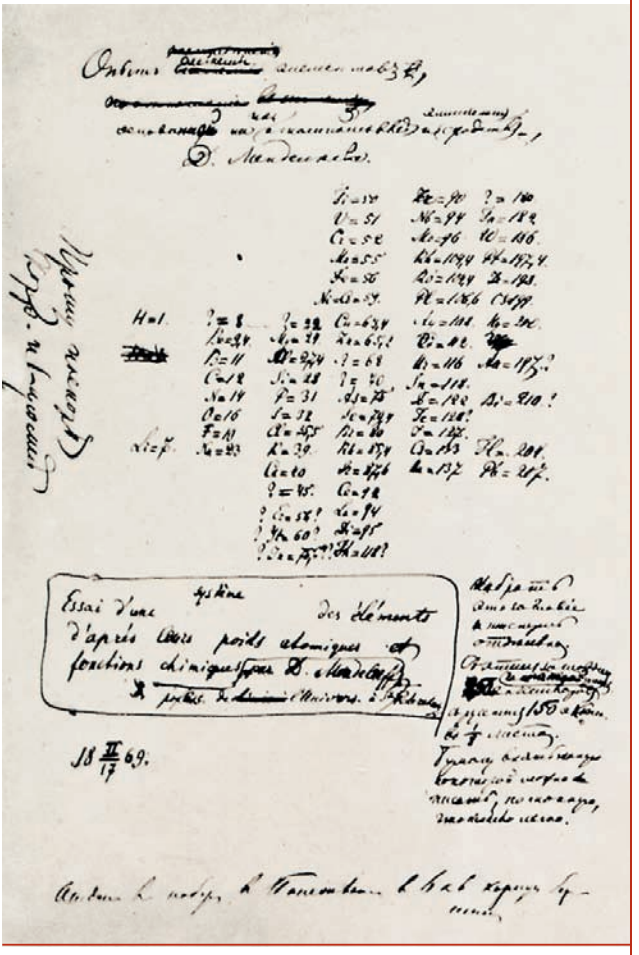


Другой пример. Природный хлор состоит из двух изотопов: ^{35}Cl (75%) и ^{37}Cl (25%). Усредненная атомная масса хлора A_r = 35,45. Измерять ее точнее нет смысла: в морской воде и в каменной соли соотношение изотопов хлора будет немного разным. Другое дело элементы-одиночки, представленные в природе всего одним нуклидом (^{19}F, ^{23}Na, ^{27}Al, ^{31}P и др.). Для таких элементов значение A_r можно определить с высокой точностью, например, для натрия A_r = 22,98976928(2) (цифра в скобках указывает на погрешность измерения в последнем знаке).

Для элементов с Z > 83, т. е. 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 впоследствии часто синтезируются изотопы с бóльшим 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).

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.

Периодическая таблица

Порядковый номер
Символ элемента
Название элемента
Относительная атомная масса
Радиоактивность

94 **Pu** Плутоний [244]

I	II	III						
1 **H** Водород 1,008								
3 **Li** Литий 6,94	4 **Be** Бериллий 9,012182(3)							
11 **Na** Натрий 22,98976928(2)	12 **Mg** Магний 24,3050(6)							
19 **K** Калий 39,0983(1)	20 **Ca** Кальций 40,078(4)	21 **Sc** Скандий 44,955912(6)	22 **Ti** Титан 47,867(1)	23 **V** Ванадий 50,9415(1)	24 **Cr** Хром 51,9961(6)	25 **Mn** Марганец 54,938045(5)	26 **Fe** Железо 55,845(2)	27 **Co** Кобальт 58,933195(5)
37 **Rb** Рубидий 85,4678(3)	38 **Sr** Стронций 87,62(1)	39 **Y** Иттрий 88,90585(2)	40 **Zr** Цирконий 91,224(2)	41 **Nb** Ниобий 92,90638(2)	42 **Mo** Молибден 95,96(2)	43 **Tc** Технеций [98]	44 **Ru** Рутений 101,07(2)	45 **Rh** Родий 102,90550(2)
55 **Cs** Цезий 132,9054519(2)	56 **Ba** Барий 137,327(7)		72 **Hf** Гафний 178,49(2)	73 **Ta** Тантал 180,94788(2)	74 **W** Вольфрам 183,84(1)	75 **Re** Рений 186,207(1)	76 **Os** Осмий 190,23(3)	77 **Ir** Иридий 192,217(3)
87 **Fr** Франций [223]	88 **Ra** Радий [226]		104 **Rf** Резерфордий [265]	105 **Db** Дубний [268]	106 **Sg** Сиборгий [272]	107 **Bh** Борий [274]	108 **Hs** Хассий [276]	109 **Mt** Мейтнерий [278]

57 **La** Лантан 138,90547(7)	58 **Ce** Церий 140,116(1)	59 **Pr** Празеодим 140,90765(2)	60 **Nd** Неодим 144,242(3)	61 **Pm** Прометий [145]	62 **Sm** Самарий 150,36(2)
89 **Ac** Актиний [227]	90 **Th** Торий 232,03806(2)	91 **Pa** Протактиний 231,03588(2)	92 **U** Уран 238,02891(3)	93 **Np** Нептуний [237]	94 **Pu** Плутоний [244]

— s-элементы
— p-элементы
— d-элементы
— f-элементы

химических элементов
Д. И. Менделеева

			III	IV	V	VI	VII	VIII
								2 He Гелий 4,002602(2)
			5 B Бор 10,81	6 C Углерод 12,011	7 N Азот 14,007	8 O Кислород 15,999	9 F Фтор 18,9984032(5)	10 Ne Неон 20,1797(6)
			13 Al Алюминий 26,9815386(8)	14 Si Кремний 28,085	15 P Фосфор 30,973762(2)	16 S Сера 32,06	17 Cl Хлор 35,45	18 Ar Аргон 39,948(1)
III								
28 Ni Никель 58,6934(4)	29 Cu Медь 63,546(3)	30 Zn Цинк 65,38(2)	31 Ga Галлий 69,723(1)	32 Ge Германий 72,63(1)	33 As Мышьяк 74,92160(2)	34 Se Селен 78,96(3)	35 Br Бром 79,904(1)	36 Kr Криптон 83,798(2)
46 Pd Палладий 106,42(1)	47 Ag Серебро 107,8682(2)	48 Cd Кадмий 112,411(8)	49 In Индий 114,818(3)	50 Sn Олово 118,710(7)	51 Sb Сурьма 121,760(1)	52 Te Теллур 127,60(3)	53 I Иод 126,90447(3)	54 Xe Ксенон 131,293(6)
78 Pt Платина 195,084(9)	79 Au Золото 196,966569(4)	80 Hg Ртуть 200,59(2)	81 Tl Таллий 204,38	82 Pb Свинец 207,2(1)	83 Bi Висмут 208,98040(1)	84 Po Полоний [209]	85 At Астат [210]	86 Rn Радон [222]
110 Ds Дармштадтий [280]	111 Rg Рентгений [281]	112 Cn Коперниций [285]	113 Nh Нихоний [286]	114 Fl Флеровий [289]	115 Mc Московий [289]	116 Lv Ливерморий [293]	117 Ts Теннессин [294]	118 Og Оганесон [294]

63 Eu Европий 151,964(1)	64 Gd Гадолиний 157,25(3)	65 Tb Тербий 158,92535(2)	66 Dy Диспрозий 162,500(1)	67 Ho Гольмий 164,93032(2)	68 Er Эрбий 167,259(3)	69 Tm Тулий 168,93421(2)	70 Yb Иттербий 173,054(5)	71 Lu Лютеций 174,9668(1)
95 Am Америций [243]	96 Cm Кюрий [247]	97 Bk Берклий [247]	98 Cf Калифорний [251]	99 Es Эйнштейний [252]	100 Fm Фермий [257]	101 Md Менделевий [258]	102 No Нобелий [261]	103 Lr Лоуренсий [264]

1

H

Водород

1,008

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

«Водород представляет пример газа, на первый взгляд не отличающегося от воздуха. Оттого немудрено, что Парацельс, обнаруживший, 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

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

Водород

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

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

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

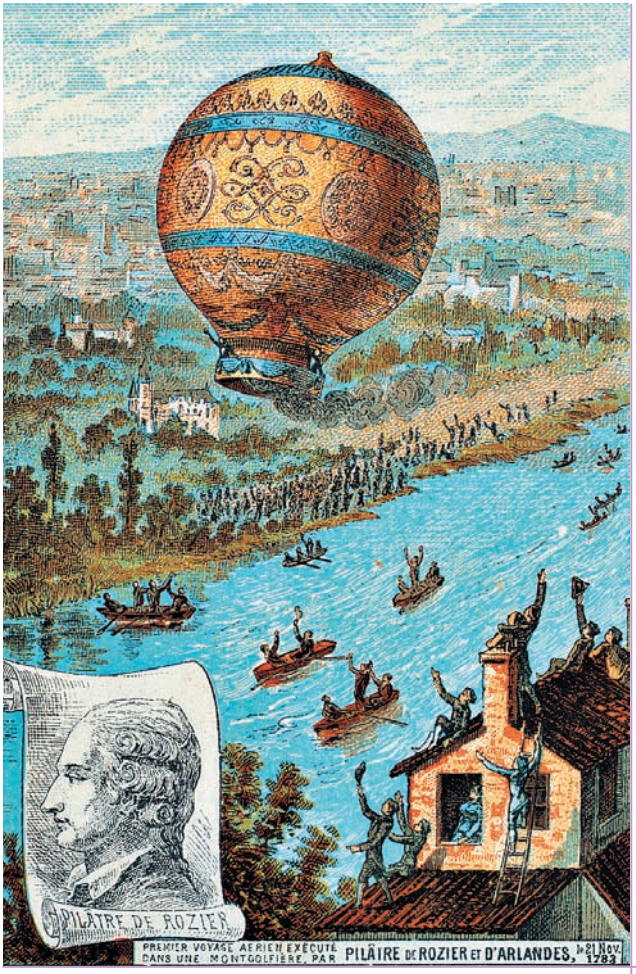
Водород очень близок к идеальному газу: при нормальных условиях 1 моль водорода занимает объем 22,42 л, что практически не отличается от теоретического объема для идеального газа (22,4138 л).

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 Бомбаст фон Гогенгейм, он же Парацельс (1493–1541).

Слово «водород» (рождающий воду) — калька с *франц.* 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.

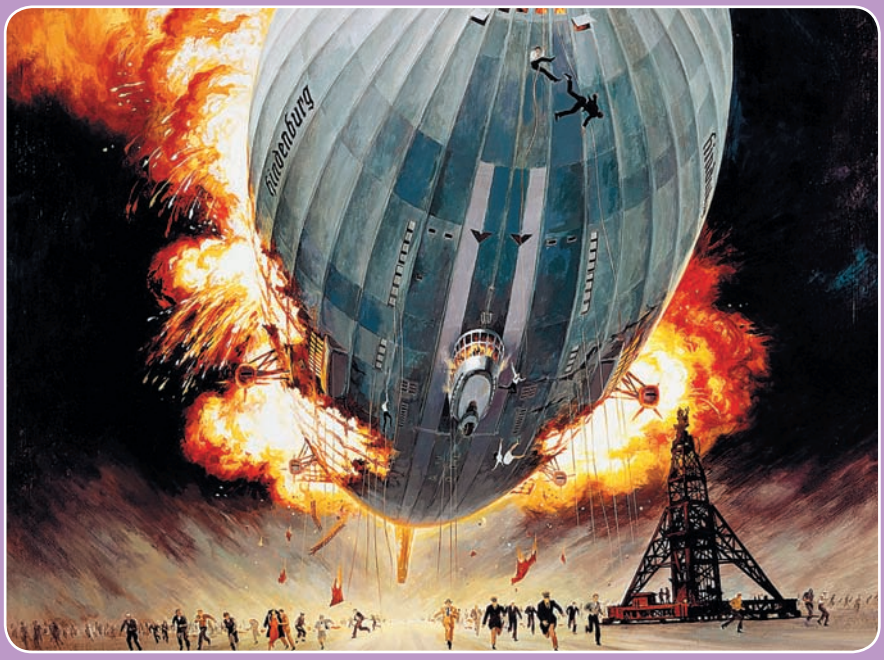
В природе водород практически всегда связан с другими элементами, чаще всего с кислородом



Первый свободный полет воздушного шара Розье (он на портрете) и Арланда 21 ноября 1783 г. *Старинная гравюра*

(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 («гремучий газ»). Взрыв может произойти даже от маленькой искры.



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.

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 вылетели 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 Ла-Манш, но шар загорелся, и ученый, не достигший и 30-летнего возраста, погиб вместе со своим спутником Пьером Роменом.

Область ионизированного водорода в галактике Треугольника

В промышленности водород получают в основном в реакции метана с водяным паром при высоких температурах. Мировое производство водорода составляет около 60 млн тонн. Основное его применение — синтез аммиака, который нужен для производства удобрений, взрывчатых и лекарственных средств и многих других веществ. Водородно-кислородное пламя дает температуру выше 2000 °С, что используют в производстве изделий из кварцевого стекла.

В лабораториях и в промышленности широко используется реакция гидрирования — присоединение водорода к различным соединениям. С помощью гидрирования из жидких растительных масел получают твердые жиры. Восстановление водородом используют для получения рения, вольфрама, молибдена и платиновых металлов из их соединений.

Большие надежды возлагаются на водородную энергетику. Так, в топливных элементах происходит «холодное» горение водорода, энергия которого непосредственно превращается в электрическую энергию. Такой процесс имеет высокий КПД, а его «выхлоп» — безвредный водяной пар. Однако широкому распространению водородной энергетики препятствует высокая стоимость производства водорода, трудность и опасность его хранения и транспортировки. Тем не менее уже созданы экспериментальные автомобили и автобусы, работающие на водородных топливных элементах.

Великий русский ученый М. В. Ломоносов

Металлы

Подавляющее большинство химических элементов — металлы. В древности было известно всего семь металлов. И каждый ассоциировался со «своей» планетой, которых тоже было известно семь: «Семь металлов создал свет по числу семи планет». Солнце олицетворяло золото, Луна — серебро, Марс — железо, Венера — медь, Юпитер — олово, Сатурн — свинец, Меркурий — ртуть. Им соответствовали также греческие и римские боги: Гелиос (Соль), Артемида (Диана), Арес (Марс), Афродита (Венера), Зевс (Юпитер), Кронос (Сатурн).

Действительно, золото блестит, как Солнце на небе, а серебро — как Луна; Марс имеет красноватый цвет, как железная окалина (поверхность Марса покрыта оксидом железа); Венера — одно из красивейших небесных тел (Афродита — богиня красоты), Юпитер — самая большая планета, а Зевс — повелитель богов; ртуть подвижна, как вестник богов Меркурий. Полагали, что каждый металл зарождается в недрах Земли под действием проникающих туда лучей «своего» небесного тела. Эта мистическая связь казалась настолько бесспорной, что многие алхимики отказывались признавать существование вновь открываемых металлов (цинка, висмута и др.), так как для них «не хватало» соответствующей планеты.

По определению Михаила Васильевича Ломоносова (1711–1765), металлы — светлые тела, которые ковать можно. Однако не все металлы ковкие. Современная наука добавляет такие свойства, как высокие тепло- и электропроводность, большая плотность, высокая температура плавления. Но и по этим свойствам разброс у разных металлов велик. Вот как располагаются металлы по температурам плавления, плотности и электропроводности в порядке убывания этих свойств.

Планета Венера олицетворяет медь. В. Бугро. Рождение Венеры. 1879 г.

Плотность металлов (г/см^3)

По плотности расположение металлов часто сильно отличается от их расположения по температуре плавления. Оказывается, между плотностью и температурой плавления металла нет прямой зависимости. Например, один из самых тяжелых металлов — золото — по температуре плавления занимает довольно скромное место, а тяжелый металл таллий — один из наиболее легкоплавких.

И наоборот: очень легкий титан относится к тугоплавким металлам. А исключительно тугоплавкий цирконий почти вдвое легче легкоплавкого свинца. Следует также отметить, что плотность металла, если измерять ее с высокой точностью, сильно зависит от его чистоты. Так, даже небольшие примеси платины, одного из самых тяжелых металлов, может изменить плотность более тяжелых иридия и осмия.

Ir	22,6	Rh	12,4	Cu	9,0	Cr	7,2	Ge	5,3	Rb	1,6
Os	22,6	Ru	12,4	Co	8,9	Zn	7,1	Ti	4,5	Na	1,0
Pt	21,5	Pd	12,0	Ni	8,9	Ce	6,8	Ba	3,6	K	0,9
Re	21,0	Tl	11,8	Cd	8,7	Sb	6,7	Al	2,7	Li	0,5
Au	19,3	Th	11,7	Nb	8,6	Zr	6,5	Sr	2,6		
W	19,3	Pb	11,3	Fe	7,9	La	6,1	Cs	1,9		
U	19,0	Ag	10,5	Mn	7,5	V	6,1	Be	1,8		
Ta	16,7	Mo	10,2	In	7,3	Ga	5,9	Mg	1,7		
Hg	13,6	Bi	9,7	Sn	7,3	As	5,8	Ca	1,6		

ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ*, °C

W	3422	Rh	1965	Fe	1538	Ag	962	Sb	631	Na	97,7
Re	3182	V	1910	Y	1526	Ge	938	Zn	419,6	K	63,4
Os	3045	Cr	1907	Co	1495	Ca	842	Pb	327,5	Rb	39,5
Ta	3020	Zr	1855	Ni	1455	La	921	Cd	321,1	Ga	29,8
Mo	2623	Pt	1769	Be	1287	As	817	Tl	303,8	Cs	28,4
Nb	2477	Th	1756	Mn	1246	Sr	769	Bi	271,4	Hg	–38,8
Ir	2466	Ti	1668	U	1135	Ba	727	Sn	231,9		
Ru	2335	Pd	1556	Cu	1085	Al	660	Li	180,5		
Hf	2233	Sc	1541	Au	1064	Mg	650	In	156,6		

* Для самых тугоплавких металлов точно измерить температуру плавления трудно, поэтому в разных справочниках данные могут различаться на десятки градусов.

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ МЕТАЛЛОВ (ОТНОСИТЕЛЬНО РТУТИ) ПРИ 0 °C

Ag	63,1	W	19,2	In	11,5	Th	7,2	Sr	4,1	La	1,6
Cu	60,7	Ir	19,1	Li	11,0	Cr	6,7	Ga	3,5	Ce	1,3
Au	45,6	Mo	18,7	Fe	10,9	Nb	5,8	Yb	3,1	Hg	1,0
Al	37,6	Co	16,9	Os	9,9	Tl	5,8	Hf	3,1	Bi	0,9
Be	29,4	Zn	16,5	Pd	9,6	V	5,2	Ba	2,6	Gd	0,7
Ca	23,1	K	15,4	Pt	9,6	Cs	5,2	Mn	2,4	Mn	0,5
Na	22,0	Ni	15,3	Sn	8,4	Re	5,0	Sb	2,4	Ge	0,0002
Mg	21,8	Cd	13,3	Rb	8,3	Pb	4,9	Zr	2,3		
Rh	21,6	Ru	13,2	Ta	7,6	U	4,5	Ti	2,2		

Щелочные металлы

3
Li
Литий
6,94

Кларк, г/т	20
Плотность, г/см³	0,53
t плавления, °C	180,5

«Литий есть самый легкий металл; он имеет удельный вес 0,59, вследствие чего плавает даже на нефти; плавится около 185°, но не улетучивается при краснокалильном жаре. Цветом он напоминает натрий и, подобно ему, имеет желтый оттенок».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Металл литий

Литий

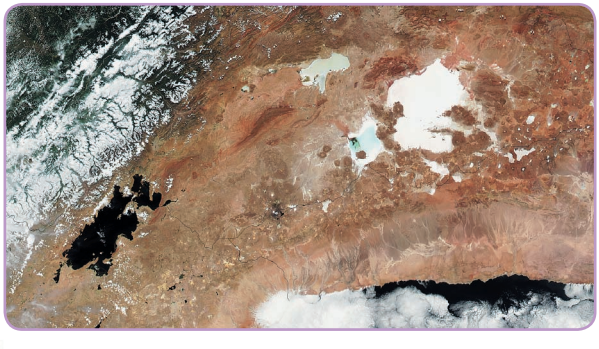
Когда в 1817 г. 25-летний шведский химик Юхан Август Арфведсон (1792–1841) выделил из минерала петалита новую «огнепостоянную щелочь до сих пор неизвестной природы» (это был гидроксид лития), его учитель, знаменитый шведский химик Йенс Якоб Берцелиус (1779–1848), предложил назвать ее литионом (от *греч.* lithos — камень).

Эта щелочь в отличие от уже известных натриевой и калиевой впервые была обнаружена в «царстве» камней. В 1818 г. английский химик Гемфри Дэви (1778–1829) получил из «литиона» новый металл, который назвал литием. Этот же греческий корень — в словах «литосфера», «литография» (оттиск с каменной формы) и др.

Литий — самый легкий из твердых веществ: его плотность всего 0,53 г/см³ (вдвое меньше, чем у воды). Получают литий электролизом расплава хлорида лития. Редкое свойство металлического лития — реакция с азотом при обычных условиях с образованием нитрида лития.

Литий все шире применяется в производстве литий-ионных аккумуляторов. В результате мировое производство лития в 2012 г. составило 37 тысяч тонн — в пять раз больше, чем в 2005 г.

Соединения лития находят применение в стекольной и керамической промышленности. Гидроксид лития — поглотитель избытка углекислого газа в кабинах космических кораблей и подводных лодок. Карбонат лития применяется в психиатрии для лечения некоторых расстройств. В среднем человеке содержится менее 1 мг лития.



Из хлорида лития, который добывают в солончаках Койпаса и Уюни в Боливии, получают литий для аккумуляторов

Натрий

Русское название «натрий» (оно есть также в шведском и немецком языках) происходит от слова «натрон»: так древние египтяне называли сухую соду, которую использовали в процессе мумификации.

В XVIII в. название «натрон» закрепилось за «минеральной щелочью» — едким натром. Сейчас натронной известью называют смесь едкого натра и оксида кальция (по-английски soda lime), а натрий по-английски (и во многих других языках) — sodium. Слово «сода» произошло от латинского названия растения солянка (sodanum). Это прибрежное морское растение, золу которого в древности использовали при изготовлении стекла. В этой золе содержится карбонат натрия, который назвали содой. И сейчас сода — важнейшая составная часть шихты для производства большинства стекол, в том числе оконных.

Первым из людей, кто увидел, как выглядит металлический натрий, был Г. Дэви, выделивший новый металл с помощью электролиза. Он же предложил название новому элементу — sodium.

Натрий — очень активный металл, он быстро окисляется на воздухе, покрываясь толстой коркой продуктов реакций с кислородом и водяными парами. Известен лекционный опыт: если маленький кусочек натрия бросить в воду, он начнет реагировать с ней, выделяя водород. В реакции выделяется много теплоты, которая расплавляет натрий, и его шарик бегает по поверхности. Вода охлаждает натрий и не дает водороду вспыхнуть, но если кусок натрия будет большим, возможно возгорание и даже взрыв.

Металлический натрий широко применяется для различных синтезов как восстановитель, а также как осушитель неводных жидкостей. Он присутствует в обладающих высокой емкостью натриево-серных аккумуляторах. Легкоплавкий сплав натрия с калием, жидкий при комнатной температуре, работает теплоносителем, отводящим избыточную тепловую энергию от ядерных реакторов. Всем известен желтый цвет пламени в присутствия натрия: именно так окрашивается пламя газовой конфорки, если в него попадет мельчайшая капля соленого супа. Пары́ натрия светятся желтым светом в экономичных газоразрядных лампах, освещающих улицы.

Многие столетия соль была единственным средством консервации пищевых продуктов. Без пова-

11
Na
Натрий
22,99

Кларк, г/т	23600
Плотность, г/см^3	0,97
t плавления, °C	97,7

«Получение металлического натрия относится к важнейшим открытиям в химии не потому одному, что чрез то расширилось и стало более правильным понятие о простых телах, но потому особенно, что в натрии видны химические свойства, лишь слабо выраженные в других общеизвестных металлах».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Галит — основной минерал натрия

Добыча соли
в Марлборо
в Новой Зеландии

ренной соли были бы невозможны дальние морские плавания, кругосветные экспедиции и великие географические открытия. История России знает грандиозное восстание, получившее название Соляной бунт, которое началось в 1648 г. и прошлось по всей стране. Одна из причин восстания — повышение налога на соль.

Когда-то натрий получали сотнями тысяч тонн в год: его использовали для получения тетраэтилсвинца, повышающего октановое число бензина. Запрет на этилированный бензин во многих странах привел к снижению производства натрия. Сейчас мировое производство натрия — около 100 тысяч тонн в год.

Натрий (в виде соли) в огромных количествах находится в морской воде, в соляных залежах. Минерал галит (хлорид натрия) образует громадные залежи каменной соли. Только в России ее запасы исчисляются десятками миллиардов тонн. Галит обычно содержит до 8% других солей, в основном магния и кальция. Ежегодно добывается более 280 млн тонн хлорида натрия, это одно из самых крупномасштабных производств. Когда-то в больших количествах добывали в Чили нитрат натрия, отсюда его название — чилийская селитра.

Применение находят и другие соли натрия, которых в настоящее время известно множество. Одна из самых известных — сульфат натрия. Если эта соль содержит воду, она называется глауберовой. Огромные ее количества образуются при испарении воды в заливе Кара-Богаз-Гол Каспийского моря (Туркмения), а также в некоторых соляных озерах. В настоящее время растворы сульфата натрия используются в качестве аккумулятора тепла в устройствах, сохраняющих солнечную энергию, в производстве стекла, бумаги, тканей.

Натрий — жизненно важный элемент. Ионы натрия находятся в основном во внеклеточной жидкости и участвуют в механизме мышечных сокращений (недостаток натрия вызывает судороги), в поддержании водно-солевого (ионы натрия задерживают воду в организме) и кислотно-щелочного баланса (поддержание постоянного значении pH крови). Из хлорида натрия в желудке вырабатывается соляная кислота, без которой невозможно переваривание пищи. Содержание натрия в теле человека в среднем составляет около 100 г. Натрий поступает в организм в основном в виде поваренной соли, ее суточная доза составляет 3–6 г. Однократная доза более 30 г опасна для жизни.

Калий

По-арабски al-qili — «зола», а также нечто прокаленное. Так же стали называть продукт, получаемый из золы растений, т. е. карбонат калия.

В золе подсолнечника калия больше 30%. Без арабского артикля это слово в русском языке превратилось в «калий». Кроме русского языка и латыни (kalium), этот термин сохранился во многих европейских языках: немецком, голландском, датском, норвежском, шведском (с латинским окончанием -um), в греческом (κάλιο), а также в ряде славянских языков: сербском (калијум), македонском (калиум), словенском (kalij).

Калий — один из самых распространенных элементов в земной коре. Основные его минералы — сильвин (хлорид калия), сильвинит (смешанный хлорид калия и натрия) и карналлит (смешанный хлорид калия и магния). Сильвин, а также нитрат калия (калийная, она же индийская селитра) в огромных количествах используются как калийные удобрения. Вместе с азотом и фосфором калий — один из трех важнейших для питания растений элементов.

Английское название элемента (potassium), как и русское название карбоната калия (поташ), заимствованы из языков германской группы; в английском, немецком и голландском ash — зола, pot — горшок, т. е. поташ — это «зола из горшка». Раньше карбонат калия получали, выпаривая в чанах вытяжку из золы; ее использовали для получения мыла. Калиевое мыло, в отличие от натриевого, жидкое. От арабского названия золы произошло название щелочи во многих европейских языках: *англ.* и *голл.* alkali, *нем.* Alkali, *франц.* и *итал.* alcali и т. п. Тот же корень присутствует в слове «алкалоиды» (т. е. «подобные щелочи»).

Калий был первым элементом, который открыл Г. Дэви (он впервые получил также литий, барий, кальций, стронций, магний и бор). Дэви подверг электролизу влажный кусок гидроксида калия. При этом на его поверхности, по словам Дэви, «появлялись маленькие шарики с сильным металлическим блеском, внешне не отличавшиеся от ртути. Некоторые из них сейчас же после своего образования сгорали со взрывом и с появлением яркого пламени, другие же не сгорали, а только тускнели, и поверхность их покрывалась белой пленкой». Калий — очень активный металл. Его маленький кусочек, внесенный в воду, взрывается.

Калий — важный биоэлемент, в организме человека содержится от 160 до 250 г калия, больше, чем натрия. Ионы калия участвуют в прохождении нервных импульсов. Много калия содержат фрукты и овощи.

19
К
Калий
39,1

Кларк, г/т	20900
Плотность, г/см³	0,86
t плавления, °C	63,4

Сильвин — один из основных минералов калия (наряду с сильвинитом и карналлитом)

Металл калий

Много калия содержится в орехах, бананах, авокадо

Гидроксид калия используется для получения мыла. Он служит электролитом в щелочных аккумуляторах — железо-никелевых, никель-металлогидридных. Раньше нитрат калия (калиевая селитра) в огромных количествах расходовался для производства черного пороха; сейчас он используется как удобрение.

Природный калий содержит 0,0117% долгоживущего радионуклида ^{40}K с периодом полураспада 1,26 млрд лет. Этим объясняется тот факт, что калий-40 «дожил» до нашего времени с момента его синтеза в ядерных реакциях в звездах. Однако с момента образования Земли 4,5 млрд лет назад содержание ^{40}K на планете из-за его распада снизилось в 12,5 раза!

В теле человека массой 70 кг содержится примерно 20 мг ^{40}K, или $3 \cdot 10^{20}$ атомов, из которых каждую секунду распадается более 5000 атомов! Не исключено, что такое «внутреннее» облучение (усиленное распадом углерода-14) было одной из причин мутаций в ходе эволюции живой природы.

Мировое производство металлического калия невелико, около 200 тонн в год.

Рубидий и цезий

37	
Rb	
Рубидий	
85,47	

Кларк, г/т	90
Плотность, г/см³	1,63
t плавления, °C	39,3

55	
Cs	
Цезий	
132,91	

Кларк, г/т	3
Плотность, г/см³	1,87
t плавления, °C	28,4

Рубидий и цезий — первые химические элементы, открытые с помощью спектрального анализа. Этот метод разработали немецкие ученые и друзья — физик Густав Роберт Кирхгоф (1824–1887) и химик Роберт Вильгельм Бунзен (1811–1899), работавшие в Гейдельбергском университете.

С помощью этого исключительно чувствительного метода они анализировали все попадавшиеся им вещества в надежде найти что-то новое. И в начале 1860-х гг. открыли два новых элемента. Это произошло, когда анализу подвергли сухой остаток, полученный выпариванием воды из минеральных источников курорта Бад-Дюркхайм, в 30 км от Гейдельберга. В спектре этого вещества, помимо уже известных им линий натрия, калия и лития, Кирхгоф и Бунзен заметили две слабые голубые линии. Они поняли, что эти линии принадлежат неизвестному химическому элементу, который присутствует в воде в очень малых количествах. По свету спектральных линий новый элемент назвали цезием: на латыни caesius — «голубой».

Продолжив исследования, Кирхгоф и Бунзен обнаружили в присланном им из Саксонии алюмосиликатном минерале лепидолите (литиевой слю-

де) еще один элемент, в спектре которого выделялись темно-красные линии. Его назвали рубидием: от *лат.* rubidus — «красный». Этот же элемент был обнаружен в минеральной воде, откуда химику Бунзену удалось его выделить. Достойно упоминания, что для получения нескольких граммов соли рубидия пришлось переработать 44 тонны минеральной воды и свыше 180 кг лепидолита.

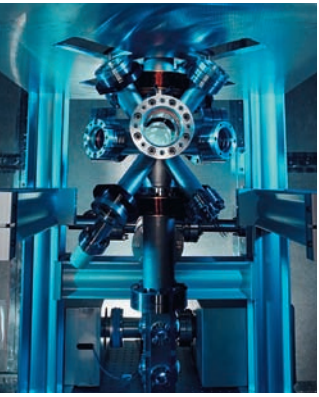
И как в конце XIX в. в не менее титанической работе по выделению соли радия «компасом» для Марии Кюри служила радиоактивность, аналогичным «компасом» для Кирхгофа и Бунзена был спектроскоп.

Рубидий и цезий — типичные щелочные металлы. Это подтвердилось, когда химик Бунзен восстановлением соли рубидия получил этот элемент в виде металла. Более активный цезий удалось получить в чистом виде только в 1881 г. шведскому химику Карлу Теодору Сеттербергу (1853–1941) путем электролиза расплавленного цианида цезия. Цезий — один из самых легкоплавких металлов. В чистом виде он имеет золотистый цвет. Но получить чистый цезий непросто: на воздухе он мгновенно самовоспламеняется. Чистый рубидий плавится всего при 39,3 °С, цезий — при температуре на 10 градусов ниже, и в очень жаркий летний день образцы этих металлов в ампулах становятся жидкими.

Мировое производство металлического рубидия невелико — около 3 тонн в год. В медицине используется рубидий-87: его атомы поглощаются клетками крови, и по излучению ими быстрых электронов

Густав Кирхгоф (слева) и Роберт Бунзен обнаружили рубидий благодаря спектроскопу. В спектре лепидолита они обнаружили темно-красные линии и дали имя новому элементу — рубидий

Кристаллы цезия можно хранить в запаянной ампуле



Цезиевые атомные часы появились в 1955 г. Они основаны на измерении частоты колебаний при переходе атомов из одного состояния в другое

с помощью специального оборудования можно увидеть «узкие места» в кровеносных сосудах. Используется рубидий в элементах солнечных батарей.

В организме человека среднего возраста содержится примерно 0,7 г рубидия, а цезия — всего 0,04 мг.

Электронные переходы в атомах цезия используются в исключительно точных «атомных часах». Во всем мире сейчас более 70 таких точнейших часов — эталонов времени: ошибка составляет менее секунды за 100 млн лет. По цезиевым часам определена единица времени — секунда.

Было предложено использовать ионы цезия для разгона ракеты с помощью электрореактивного двигателя. В нем ионы ускоряются в сильном электростатическом поле и выбрасываются через сопло.

Электрические ракетные двигатели при малой тяге способны работать длительное время и осуществлять полеты на большие расстояния.

87 **Fr** Франций [223]

Кларк, г/т	—
Плотность, г/см^3	—
t плавления, ^{0}C	—

Франций

Этот элемент открыла (по его радиоактивности) в 1939 г. сотрудница Института радия в Париже Маргарита Перей (1909–1975), а название ему она дала в честь своей родины в 1946 г.

Франций — сосед цезия по периодический системе элементов. Д. И. Менделеев так и назвал не открытый тогда еще элемент — экацезий. Этот последний и самый тяжелый щелочной металл разительно отличается от всех других в его группе. Во-первых, никто никогда не видел и не увидит даже мельчайший кусочек франция. Во-вторых, у франция нет таких физических свойств, как плотность, температура плавления и кипения. Так что термин «самый тяжелый металл» можно отнести только к его атомам, но не к простому веществу. И все потому, что франций — искусственно полученный сильно радиоактивный элемент. Самый долгоживущий его изотоп ^{223}Fr имеет период полураспада всего 22 минуты. А чтобы изучить физические свойства вещества, нужно иметь его в виде хотя бы самого маленького кусочка. Но для франция это невозможно.

Франций получают искусственно. И по мере синтеза его атомы быстро распадаются. Причем чем больше накоплено атомов, тем больше их распадается в единицу времени. Значит, чтобы просто

поддерживать число атомов франция постоянным, их нужно синтезировать со скоростью не меньшей, чем скорость их распада. При синтезе франция в Дубне путем облучения урана мощным пучком протонов каждую секунду получалось примерно миллион атомов этого элемента. При такой скорости синтеза скорость распада образца становится равной скорости его образования, когда число его атомов равно двум миллиардам. Это совершенно ничтожное количество вещества, его даже в микроскоп не видно. Кроме того, эти атомы не собраны в кусочек металла, а распределены по поверхности урановой мишени. Так что не удивительно, что на всем земном шаре в любой момент наберется не более двух-трех десятков граммов франция, рассеянных поодиночке в радиоактивных горных породах.

Маргарита Перей — первая женщина, избранная (в 1962 г.) во Французскую академию наук

Если бы даже каким-то фантастическим способом удалось получить крошечный образец франция в количестве квадриллиона (тысячи триллионов) атомов, это всего лишь 0,00037 мг, то и в этом случае измерить его свойства все равно не удалось бы. В такой крупинке франция, содержащей 1015 атомов, каждую секунду будет распадаться 500 млрд атомов. Их распад будет сопровождаться выделением огромной энергии, и кусочек франция начнет нагреваться со скоростью почти 20 тысяч градусов в секунду! То есть мы получим миниатюрную атомную бомбу — металл мгновенно испарится. Остается только восхищаться радиохимиками, которые сумели все же определить некоторые химические свойства франция, имея в своем распоряжении ничтожные количества этого элемента и очень ограниченный запас времени. Самый большой компактный образец франция, полученного когда-либо учеными, содержал всего лишь 300 тысяч атомов. И спустя несколько часов от них не осталось ни одного!

Щелочноземельные элементы

Элементы второй группы имеют историческое название «щелочноземельные». Землями химики когда-то называли тугоплавкие, практически не растворимые в воде вещества, которые выделяли из минералов и горных пород. Какое-то время считалось, что это простые вещества, потом выяснили, что «земли» — это оксиды элементов. Но выделить из них металлы в чистом виде иногда удавалось лишь спустя многие десятилетия: так прочно они были связаны с кислородом. Первая же часть слова «щелочноземельные» связана с тем, что эти «земли» имели свойства щелочей — они реагировали с кислотами, давали мылкие на ощупь растворы, а при нагревании с жирами разлагали их. В чистом виде и по химическим свойствам элементы второй группы напоминают соседей по первой группе, но отличаются намного меньшей активностью. Они тоже реагируют с водой с выделением водорода, но намного медленнее.

4
Be
Бериллий
9,01

Кларк, г/т	2,8
Плотность, г/см^3	1,87
t плавления, °C	1287

Луи Николя Воклен — французский химик

Бериллий

Бериллий был открыт (в виде оксида) в 1798 г. французским химиком Луи Николя Вокленом (1763–1829) при анализе минерала берилла — сложного алюмосиликата.

Такой же состав имеют изумруд и аквамарин (цвет у драгоценных камней возникает из-за примесей других элементов). Название минерала берилла (по-гречески berillos) восходит к названию города Белур (Веллуру) в Южной Индии, недалеко от Мадраса; с древних времен в Индии были известны месторождения изумрудов. Более простой состав у золотистого минерала хризоберилла — алюмината бериллия (по-гречески chrysos — золото).

Соли бериллия оказались сладкими (тогда не знали об их ядовитости), поэтому новый элемент называли также глицинием (от *греч.* glykys — сладкий).

Бериллий обладает редчайшим сочетанием легкости и высокой температуры плавления. Он на 50% более упругий, чем сталь, и при этом в четыре раза легче. Такое сочетание незаменимо для космической

промышленности. Из бериллия и его сплавов делают платформы спутников, зеркала космических телескопов: бериллий можно отполировать до блеска.

Мировое производство бериллия в 2012 г. составило 230 тонн. В основном он идет на производство бериллиевой бронзы — сплава с медью, содержащем до 3% бериллия. Она упругая и износостойкая, из нее получаются прекрасные пружины. Сталь с добавками бериллия не дает при ударе искры, из нее делают инструменты для работы в пожаро- и взрывоопасной атмосфере. В отличие от других металлов, пластинки из бериллия свободно пропускают рентгеновское излучение. При этом они хорошо отражают также инфракрасные лучи.

Бериллий — один из элементов, без которых невозможны высокие технологии. Вот один пример. Для анализа продуктов столкновения протонов в Большом адронном коллайдере их нужно вывести из основной камеры через коническую трубу. Лучшим материалом для нее оказался бериллий. Из него российские металлурги сделали то, что не могли сделать в других странах: в Женеву были отправлены конические и одновременно идеально прямые трубы длиной от 2 до 4 м с тонкими стенками — от 1,4 до 2,4 мм. Такую трубу легко поднимет один человек.

Бериллий токсичен, обладает аллергическим и канцерогенным действиями. Вдыхание пыли, содержащей частицы металла и его соединений, приводит к заболеванию легких — бериллиозу. Содержание бериллия в организме среднего человека — сотые доли миллиграмма.

Изумруд — зеленая разновидность хризоберилла

Бериллий сохраняет форму при низких температурах, поэтому из него изготовили сегменты космического телескопа имени Джеймса Вебба

Магний

В 1695 г. из минеральной воды Эпсомского источника в Англии выделили соль, обладавшую горьким вкусом и слабительным действием. Аптекари называли ее горькой, английской или эпсомской солью.

Это вещество встречается в виде минерала эпсомита; по составу это водный сульфат магния. Химики, действуя на растворы этой соли содой или поташом, получили белый осадок — основной карбонат магния. С древних времен была известна белая магнезия (magnesia alba) — оксид магния. Термин «магнезия» произошел от названия древнего города Магнесии. Лавуазье считал белую магнезию простым телом. И только в 1808 г. английский химик Г. Дэви доказал, что магнезия — сложное вещество, и выделил из него простое вещество — металлический магний. Для этого он использовал электролиз слегка увлажненной белой магнезии

^{12}Mg
Магний
24,31

Кларк, г/т	23 300
Плотность, г/см^3	1,74
t плавления, °C	650

Магниевая фольга

с ртутным катодом и в результате получил амальгаму магния, содержащую 3% ртути. Чистый металл получил в 1829 г. французский химик Антуан Бюсси (1794–1882).

Новый металл Дэви назвал магнезием. С тех пор в большинстве европейских языков этот элемент называется magnesium или, как в испанском и итальянском, magnesio. И только в русском — магнием; так его назвал родившийся в Швейцарии русский химик Герман Иванович (Жермен Анри) Гесс (1839–1903).

Магний — распространенный в земной коре элемент. Он входит в состав десятков минералов, в числе которых асбест, бишофит, доломит, нефрит, тальк, хризолит. Магния много в морской воде: в каждом кубическом метре — больше 1 кг магния. Магний получают электролизом хлорида магния и применяют в основном в производстве легких сплавов в авиа- и автомобилестроении. За последнее десятилетие мировое производство магния утроилось; в 2012 г. его было получено 750 тысяч тонн, причем 90% — в Китае.

Тонкая магниевая фольга или порошок вспыхивают и быстро сгорают ослепительно ярим пламенем. Это свойство использовали на заре фотографии: порошок магния поджигали электрической искрой. И сейчас горение магния применяют в фейерверках, а также для изготовления осветительных и сигнальных ракет. Горящий магний очень трудно погасить: он реагирует с углекислым газом и горит даже под водой. Атом магния содержится в каждой молекуле хлорофилла; именно он придает этому растительному пигменту зеленый цвет. Его ионы участвуют во многих важных ферментативных реакциях в организме человека; они необходимы для формирования костей, регуляции работы нервной ткани, участвуют в солевом балансе, в синтезе белка. Человек каждый день должен получать 0,3 — 0,4 г магния в виде его растворимых солей.

20 **Ca**
Кальций
40,08

Кларк, г/т	41 500
Плотность, г/см^3	1,55
t плавления, °C	842

Кальций

Римляне словом calx (род. падеж calcis) называли все мягкие камни, чаще всего это был известняк. Заимствовали они это слово из греческого (chalix — «мелкий камень», «галька», а в новогреческом chaliki — «щебень»).

Со временем название calx закрепилось только за известняком (недаром мел по-английски — chalk). Это же слово в древности использовали для извести — продукта обжига карбоната кальция. В связи с этим интересно название старинной улицы в Риге — Калькю, известной с 1404 г. Как сообщил

автору много лет назад один из рижских старожилов, эта улица (с 1950 г. она носила имя Ленина) раньше называлась Kaļķu iela, по-латышски — «известковая улица». Он пояснил, что когда-то здесь была печь, в которой обжигали известь. В 1990 г. улице вернули ее прежнее название.

Впервые металлический кальций получил Г. Дэви — в 1808 г. электролизом влажной гашеной извести; он же дал название новому элементу.

Алхимики кальцинацией называли сам процесс обжига. Отсюда кальцинированная сода — безводный карбонат натрия, получающийся при прокаливании соды. Любопытно родство кальция с калькулятором: у римлян calculus (уменьшительное от calx) — мелкий камешек, галька. Такие камешки использовали для простых расчетов. Отсюда calculatio — вычисление, счет; calculator — счетовод, счетчик, бухгалтер, а также преподаватель арифметики. Все эти латинские слова оставили след в европейских языках. Так, по-английски calx — окалина, зола, а также известь; calculus — камень в почках, мочевом пузыре, а также исчисление (дифференциальное и интегральное) в высшей математике; calculate — вычислять, рассчитывать. По-немецки Kalk — известь, известка; kalkig — бледный как мел, а также выпачканный известью; Kalkül — вычисление, счет, а также смета (в немецко-русском химическом словаре приведено около 70 слов и выражений, начинающихся с Kalk!). В современном итальянском языке, который ближе всех к латинскому, calcolo — это и вычисление, и камень. Так что кальций и калькулятор — родственники, хотя и далекие.

В земной коре по распространенности кальций занимает пятое место. В природе он находится в основном в виде карбоната: кальцит (известняк), мел, мрамор. Эти минералы образовались из остатков раковин морских организмов. В литре морской воды содержится около 0,4 г кальция. Из карбоната кальция в основном построена скорлупа птичьих яиц.

Прозрачные кристаллы кальцита (исландского шпата) давно привлекали внимание своим необычным свойством — «раздваивать» изображения. В науке такое свойство называется двойным лучепреломлением; его объяснение в начале XIX в. было важным этапом для понимания волновой природы света.

Кальций входит в состав многих других минералов, среди которых гипс (сульфат кальция), доломит (смешанный карбонат кальция и магния), флюорит (фторид кальция). С древних времен использовали гашеную известь (гидроксид кальция) — прекрасное связующее при постройке зданий. Известковый рас-

Стены мавзолея-мечети Тадж-Махал в Индии выложены из полированного полупрозрачного мрамора

Кальций — основной элемент костной ткани

Коралловые рифы и коралловые острова образовались из скелетов колоний коралловых полипов. Кораллы также состоят в основном из карбоната кальция с примесями карбоната магния и незначительного количества оксида железа, который придает им красный цвет

твор поглощает из воздуха углекислый газ и твердеет. Ежегодная добыча карбоната кальция исчисляется миллиардами тонн. В виде тонкого порошка мел входит в состав кремов и зубных паст, косметики, используется как наполнитель в производстве бумаги, пластмасс, резины, красок. Карбонат кальция используется в производстве стекла, для побелки жилищ, окраски стволов деревьев, вносится в почву при избытке в ней кислоты. Металлический кальций используют для восстановления некоторых металлов.

Кальций — важнейший элемент для всех форм жизни. В человеке кальций (совместно с фосфором) составляет основу костной ткани. Ионы кальция активируют деятельность ряда важных ферментов, активно влияют на нервно-мышечную и сердечно-сосудистую систему. Например, сердце лягушки, омываемое раствором хлорида калия, резко ослабляет свою деятельность, а при введении в раствор хлорида кальция происходит резкое усиление пульсации. Хлорид кальция применяется в медицине для лечения ряда заболеваний.

В среднем человеке примерно 1,2 кг кальция, почти весь он находится в костях в виде фосфата кальция. Человек получает кальций с молоком, творогом, овощами. Однако кальций в овощах находится в виде нерастворимого оксалата, который не усваивается. Для того чтобы ионы кальция всосались из кишечника в кровь, необходим витамин D. Вот почему при недостатке этого витамина развивается рахит — даже при избытке кальция в пище.

38 **Sr**

Стронций

87,62

Кларк, г/т	370
Плотность, г/см³	2,64
t плавления, °C	769

Стронций

Впервые стронций обнаружили в минерале стронцианите (карбонате стронция), найденном в 1764 г. в свинцовом руднике близ шотландской деревни Стронциан. Через четверть века ирландский химик Адер Кроуфорд (1748–1795), изучив этот минерал, высказал мнение, что в нем содержится не известный науке элемент. Это подтвердил в 1808 г. Гемфри Дэви, выделив его электролизом.

Стронций — серебристо-белый металл. Он мягче кальция, плавится при более низкой температуре. По химическим свойствам он очень похож на кальций и всюду сопровождает его: в минералах, костях, зубной эмали. Стронций нетоксичен; содержание его в организме среднего человека около 0,3 г. Природный стронций представлен четырьмя стабильными

изотопами, известно также более 30 радиоактивных изотопов стронция с периодами полураспада от миллиардных долей секунды до почти 29 лет для ^{90}Sr. Поэтому, если вместе со стабильным стронцием в организм попадет этот радионуклид, он внедряется в костную ткань и «изгнать» его туда практически невозможно. Реклама чудодейственных средств, «выводящих из организма все радионуклиды», — обман.

Длительное облучение может привести к раку костного мозга и лучевой болезни. По активности 1 г ^{90}Sr соответствует 137 г радия! Даже через 100 лет остается 10% от активности ^{90}Sr. А чтобы она снизилась почти до нуля, должно пройти несколько тысяч лет. Этот опаснейший радионуклид в больших количествах попал в атмосферу при испытаниях ядерного оружия. Поэтому больше всего стронция-90 в костях людей, родившихся в 1945–1980 гг., когда было проведено больше всего ядерных взрывов в атмосфере.

В больших количествах оксид стронция раньше использовали для получения стекла, из которого делали электроннолучевые трубки. Раньше такие трубки имели все телевизоры, мониторы и осциллографы в лабораториях: стронций не пропускал наружу рентгеновские лучи (они возникают в месте удара электронного луча о стекло). В пиротехнических составах соли стронция окрашивают пламя в карминово-красный цвет.

Образуется ^{90}Sr и во время работы ядерного реактора, поэтому присутствует в отработанном топливе. Во время чернобыльской аварии в атмосферу попало примерно 1,6 кг ^{90}Sr. Мировое производство соединений стронция в 2012 г. составило 380 тыс. т.

Минерал целестин (сульфат стронция)

Барий

В 1774 г. шведские химики Карл Вильгельм Шееле (1742–1786) и Юхан Готлиб Ган (1745–1818) выделили из минерала тяжелого шпата (сульфата бария) новую «землю», которую назвали баритом (сейчас барит — синоним тяжелого шпата). По-гречески baros — тяжесть: эта «земля» более чем вдвое тяжелее кварца. Когда в 1808 г. из этой «земли» (оксида бария) с помощью электролиза Г. Дэви выделил новый металл, он назвал его барием.

Барий — активный металл, на воздухе быстро покрывается коркой продуктов реакций с кислородом, азотом и углекислым газом. При нагревании загорается, с водой энергично реагирует с выделе-

56 **Ba**
Барий
137,33

Кларк, г/т	425
Плотность, г/см^3	3,59
t плавления, °C	727

Барит, или тяжелый шпат, — минерал бария

Барий входит в состав белых красок

нием водорода. Продукт этой реакции, гидроксид бария, — сильная щелочь. Минерал барит добывают миллионами тонн ежегодно. Он нужен для производства белых красок, пластмасс, его добавляют в раствор для бурения нефтяных скважин.

Сульфат бария — основа «бариевой каши», которую дают пациенту, чтобы исследовать его пищеварительный тракт с помощью рентгена: барий — тяжелый металл и потому задерживает рентгеновские лучи. И хотя барий ядовит, его сульфат практически не растворяется в воде и соляной кислоте в желудке и потому не представляет опасности.

Для получения металлического бария барит превращают в хлорид, который подвергают электролизу. Металлический барий применяют для создания высокого вакуума (он связывает остатки кислорода и азота). Раскаленные соли бария светятся красивым зеленым светом, что используют в фейерверках.

Оксид бария при нагреве испускает электроны, поэтому он в больших количествах использовался для покрытия катодов в радиолампах и электронно-лучевых трубках.

Барий является компонентом керамики, которая становится сверхпроводником при температуре жидкого азота и выше.

Содержание бария в организме среднего человека — около 20 мг, токсическая доза 0,2 г, смертельная — от 1 до 3 г.

88 Ra
Радий
[226]

Кларк, г/т	0,000001
Плотность, г/см³	5,5
t плавления, °C	700

Радий

Название этого элемента происходит от *лат.* radius — «луч», radiare — «испускать лучи». Этим названием открывшие радий Мария Кюри (1867–1934) и Пьер Кюри (1859–1906) обозначили его способность излучать невидимые частицы.

Того же происхождения слова «радио», «радиация» и многие их производные. Радий сильно радиоактивен, 1 г чистого ^{226}Ra испускает в секунду более 36 млрд альфа-частиц. Это показали в 1908 г. Э. Резерфорд и его стажер из Германии Ханс Гейгер (1882–1945), именем которого назван счетчик радиоактивного излучения.

Самый долгоживущий изотоп радия, ^{226}Ra, — продукт медленного распада урана, и потому он присутствует во всех рудах, содержащих уран (на каждую тонну чистого урана приходится 0,34 г радия). Приходится лишь поражаться трудолюбию Марии Кюри,

которая, переработав тонны руды, выделила в 1898 г. несколько десятков миллиграммов нового элемента. Металлический радий впервые выделили в 1910 г. М. Кюри и французский физик и химик Андре Луи Дебьерн (1874—1949).

Чистый радий — блестящий серебристо-белый металл, быстро тускнеющий на воздухе. С водой реагирует, выделяя водород. Любые физические и химические свойства радия изучать трудно из-за его высокой радиоактивности. Из-за нее радий и его соединения светятся в темноте, а его бесцветные соли быстро желтеют, приобретая темную окраску; водные растворы соединений радия разлагают воду, выделяя из нее водород и кислород. Радий непрерывно выделяет теплоту, и если нет условий для теплоотвода, металл быстро нагревается и может даже расплавиться.

Радий — химический аналог кальция, поэтому при попадании в организм он накапливается в костях. Это может привести к образованию злокачественных опухолей.

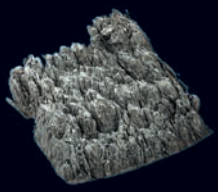
Когда выяснилась возможность использования радия в медицине, в мире развернулась настоящая «радиевая лихорадка». Было время, когда радий стоил в 160 тысяч раз дороже золота! Только в США с 1913 по 1923 г. было получено 196 г радия. А в Бельгии из руды, привезенной из Бельгийского Конго за 10 лет было выделено 326 г радия! В настоящее время радия накоплено около 3 кг, и больше его практически не добывают. Радий находит лишь ограниченное применение, например как источник радона — газообразного радиоактивного продукта распада радия — для приготовления радоновых ванн.

Французские химики Пьер и Мария Кюри в своей лаборатории. 1906 г.

Люминесцентная краска Undark, которую рекламирует этот плакат, изготавливалась в США в 1917–1938 гг. компанией U.S. Radium Corporation из смеси радиоактивного радия и сульфида цинка. Она светилась в темноте, и преимущественно ей покрывали стрелки часов, но также дверные скважины, стрелки спидометров, дверные звонки, использовали для нанесения предупреждающих надписей на огнетушители, указатели и таблички. Работниц фабрики, которые облизывали потерявшие форму кисти, ради забавы красили смертоносной краской ногти, лица и зубы, стали называть «радиевыми девушками». Многие из них впоследствии умерли или страдали от профессиональной болезни, известной сегодня как «радиевая челюсть»

Группа скандия

«Скандий, иттрий и лантан... в природе сопровождаются целым рядом других элементов... у всех них столь много общих признаков, что из них давно образовалась особая группа элементов редких земель, названная так по причине сравнительной редкости в природе минералов, из которых извлекают эти элементы, и того обстоятельства, что их солеобразные окислы состава R_2O_3 и RO_2 по виду сходны с такими землями, как CaO и Al_2O_3».
Д. И. Менделеев. Основы химии



Кристаллы скандия

Группа скандия — самая большая в Периодической системе: формально она включает 32 химических элемента. Получилось так потому, что у каждого из входящих в эту группу лантана и актиния существует по 14 «близнецов» — элементов, сходных с ними по своим химическим свойствам. Поскольку поместить в одну клетку символы «родоначальника» и 14 его «последователей» невозможно, для этих элементов-последователей в периодической таблице отведены две отдельные строки — лантаноидов и актиноидов. Они будут рассмотрены отдельно, причем в трех разных разделах (большинство актиноидов получено искусственно, и их обычно относят к так называемым трансурановым элементам).

Со скандия в Периодической системе начинается большая группа так называемых переходных металлов. Рассмотренные до сих пор элементы часто называют *s*-элементами. Все они имеют на внешней валентной оболочке (орбитали) атомов по одному или по два электрона. Эта внешняя орбиталь имеет форму сферы и традиционно называется s-орбиталью.

Другие орбитали, имеющие иную форму, обозначают латинскими буквами *p*, *d*, *f* и *g*; так же называют и группы элементов, у которых валентные электроны находятся на таких орбиталях. Эти обозначения много лет назад придумали спектроскописты в соответствии с принятыми когда-то обозначениями различных спектральных линий: «резкая, отчетливая» (sharp), «главная» (principal), «диффузная, размытая» (diffuse), «основная» (fundamental). Если когда-нибудь будут получены элементы с другой формой валентных орбиталей, их назовут *g*-элементами (буква *g* просто следует за буквой *f*). Первый *g*-элемент будет иметь номер 121, но пока ни один такой элемент не известен.

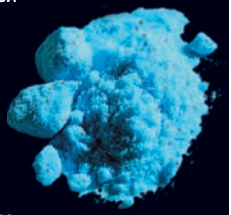
К *s*-элементам относятся уже рассмотренные щелочные и щелочноземельные элементы, а также водород и гелий. К *p*-элементам — все остальные неметаллы (и несколько металлов), к *d*-элементам — самые распространенные металлы; их называют также переходными: они являются «промежуточными» между наиболее химически активными щелочными и щелочноземельными металлами и типичными неметаллами. Наконец, к *f*-элементам относятся лантаноиды и актиноиды. Для удобства клетки с соответствующими элементами в таблице Менделеева часто окрашивают разными цветами.

Переходные металлы, как правило, не обладают высокой химической активностью, свойственной щелочным и щелочноземельным металлам. А многие из них настолько инертны, что с трудом реагируют с другими элементами и часто встречаются в природе в свободном состоянии (золото, платина, ряд других металлов). Еще одна отличительная особенность переходных металлов: их соединения с другими элементами часто окрашены (*s*-элементы образуют только бесцветные соединения). Примером соединений переходных металлов всех цветов радуги могут служить: красный иодид ртути, оранжевый дихромат аммония, желтый хромат свинца, изумрудно-зеленый никелевый купорос, голубые растворы медного купороса и ярко-синие кристаллы этого вещества, фиолетовые кристаллы тиоцианата кобальта.

Юхан Гадолин — финский физик, химик и минералог, изучавший редкоземельные элементы

Кольбекит — минерал скандия

Дихромат калия применяют в производстве красителей



Кристаллы медного купороса

Месторождение редкоземельных металлов

21 **Sc**
Скандий
44,96

Кларк, г/т	22
Плотность, г/см^3	2,99
t плавления, °C	1541

Скандий

Когда Д. И. Менделеев предложил первый вариант своей таблицы элементов, скандий еще не был открыт. Менделеев оставил для него пустую клетку, назвал его эка-бором и предсказал его свойства. Скандий в виде оксида открыл в 1879 г. шведский химик Ларс Фредерик Нильсон (1840–1899), выделив его из минералов эвксенита и гадолинита, встречавшегося только на территории Скандинавии. Поэтому скандий и получил такое название.

Скандий — легкий металл (плотность 2,99, почти как у алюминия) и в то же время тугоплавкий: плавится только при нагреве до белого каления, при 1541 °C. Скандий — первый из так называемых редкоземельных элементов (к ним относятся также иттрий, лантан и лантаноиды). На самом деле скандий вовсе не редок: в земной коре его больше, чем олова. Но скандий относится к так называемым рассеянным элементам. Это значит, что он присутствует во многих минералах, но в очень малых количествах, а собственных минералов, из которых его можно было бы добывать в больших количествах, не существует. Так что скандий получают попутно при добыче алюминия, урана, вольфрама, олова, циркония, ряда других металлов, а также угля. В результате ежегодное производство скандия исчисляется всего несколькими тоннами.

В чистом виде металлический скандий был получен только в 1937 г. Этот металл используется в основном для получения сплавов с алюминием. Например, ракета с носовой частью из такого сплава, может пробить полярный лед, если ее выпустит находящаяся под ним подводная лодка. Из скандий-алюминиевых сплавов делают очень прочные и легкие бейсбольные биты и другие спортивные товары. Добавка иодида скандия делает свет газоразрядных ламп близким к солнечному. С увеличением производства этого ценного металла его применение будет расширяться.

Иодид скандия добавляют в газоразрядные лампы

Скандий — легкий тугоплавкий металл

Сплавы скандия с алюминием используют в авиастроении

Иттрий

В 1787 г. лейтенант артиллерии шведской армии и минералог-любитель Карл Аксель Аррениус (1757–1824) проводил поиски интересных камней в карьере, где когда-то добывали полевой шпат. Карьер находился около небольшого шведского городка Иттербю на острове Ресаре близ Стокгольма.

Там Аррениус нашел новый темный минерал, который он назвал иттербитом. Аррениус послал иттербит в университет города Або молодому финскому химику Юхану Гадолину (1760–1852). Изучая этот минерал, Гадолин в 1794 г. выделил из него неизвестную «землю» — оксид нового элемента. Шведский химик и минералог Андерс Густав Экеберг (1767–1813) назвал в 1797 г. эту «землю» иттриевой (yttria). Позднее минерал переименовали в гадолинит, а содержащийся в нем элемент назвали иттрием.

Для химиков гадолинит оказался настоящим кладом: в нем обнаружили много новых элементов. Спустя почти полвека, в 1843 г., шведский химик Карл Густав Мосандер (1797–1858) показал, что «иттриевая земля» — это смесь трех оксидов. Аналогично тому, как «расщепили» эту смесь, появились и названия: иттербий, тербий и эрбий.

Сам Мосандер сумел выделить в чистом виде эрбиевую и тербиевую земли — оксиды эрбия и тербия; чистый оксид иттербия выделил в 1878 г. швейцарский химик Жан Шарль Галиссар де Мариньяк (1817–1894), которому и принадлежит честь открытия этого элемента. А в честь Гадолина был назван элемент гадолиний — первый из 15 элементов, названных в честь ученых. В Иттербю расположен музей с экспозицией, рассказывающей об истории каменоломни.

Иттрий — типичный металл. Он плавится при 1526 °С, почти при той же температуре, что железо; его плотность 4,47 г/см^3 (здесь он близок к титану). Широкой публике этот элемент стал известен, когда был синтезирован ювелирный камень — иттрий-алюминиевый гранат (ИАГ). На основе кристаллов ИАГ работают лазеры, а также светодиоды, излучающие белый свет. Керамика на основе иттрия переходит в сверхпроводящее состояние при температуре минус 180 °С; ни один металл или сплав не может похвастаться такой высокой температурой перехода.

Мировое производство иттрия в 2012 г. составило 8900 тонн.

39 **Y**
Иттрий
88,91

Кларк, г/т	33
Плотность, г/см^3	4,47
t плавления, °С	1526

Искусственные иттрий-алюминиевые гранаты

Кристаллы иттрия

Лантан и лантаноиды

Минерал апатит

Элемент прометий из группы лантаноидов назван в честь героя мифов Прометея. Никола-Себастьян Адам. Прометей. 1762 г.

Соседи иттрия по третьей группе — лантан и актиний. Следующие за лантаном 14 элементов по химическим свойствам настолько похожи на лантан, что химики долго не знали, как их разместить в таблице элементов. Недаром название этих элементов — лантаноиды, что в переводе с греческого значит «сходные с лантаном». Было предложено поместить их все в одну клетку с лантаном и в этой клетке написать номера элементов: 57–71. А чтобы иметь возможность написать символы и названия элементов, «растянуть» эту клетку, превратив ее в ряд лантаноидов. Так же поступили и с актиноидами, элементами, имеющими номера с 89 (актиний) по 103 (лоуренсий). В результате отдельно от основной таблицы появились два «дополнительных» ряда — лантаноидов и актиноидов. Иногда поступают иначе: «раздвигают» таблицу между элементами 57 (лантан) и 89 (актиний) с одной стороны и элементами 72 (гафний) и 104 (резерфордий) — с другой, и в этот промежуток помещают все лантаноиды и актиноиды. В результате все эти элементы оказываются внутри основной сильно растянутой таблицы.

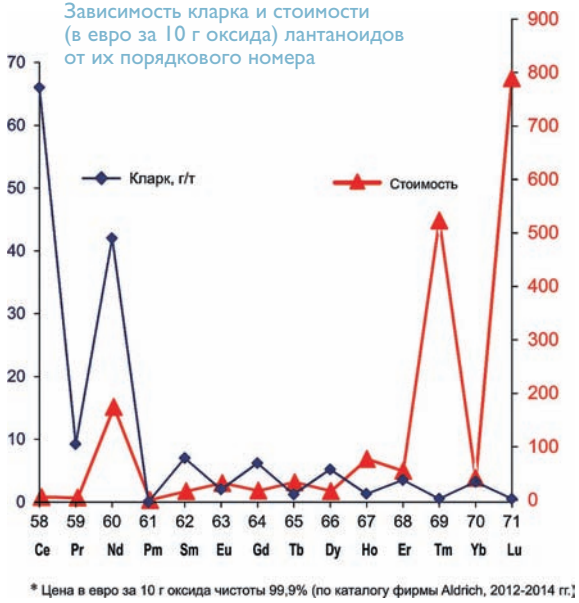
У лантаноидов наружные электронные оболочки построены одинаково, поэтому их химические свойства весьма сходны.

Казалось бы, сходными должны быть и другие качества этих элементов. Однако содержание этих элементов в земной коре (кларки) и их стоимость указывают на разительное неравноправие. Четко обнаруживается уже обсуждавшийся ранее четно-нечетный эффект: элементы с нечетным номером более редкие и более дорогие, иногда намного.

Интересно, что большинство лантаноидов, открытых в XIX в., были обнаружены всего в двух минералах: церите и гадолините. В первом из них нашли церий, лантан, празеодим, неодим, самарий и европий. Во втором — гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий и лютеций. Трудности открытия этих элементов были связаны с их очень близкими химическими свойствами, так что для разделения этих элементов потребовалось большое искусство многих химиков. В результате открытие лантана и всех его 14 «последователей» потребовало более ста лет.

Аномалии для европия и иттербия объясняются другой кристаллической структурой: у этих металлов она кубическая, у других — более плотная гексагональная.

Зависимость кларка и стоимости (в евро за 10 г оксида) лантаноидов от их порядкового номера



* Цена в евро за 10 г оксида чистоты 99,9% (по каталогу фирмы Aldrich, 2012-2014 гг.)

Некоторые физические свойства лантаноидов

	Плотность, г/см^3	Температура плавления, °C
La	6,17	921
Ce	6,71	799
Pr	6,78	931
Nd	7,00	1021
Pm	7,22	1042
Sm	7,54	1075
Eu	5,25	826
Gd	7,87	1313
Tb	8,27	1356
Dy	8,53	1412
Ho	8,80	1474
Er	9,04	1529
Tm	9,33	1545
Yb	6,95	824
Lu	9,84	1663

Стоящие рядом в периодической таблице гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий и эрбий отличаются редким для металлов свойством — ферромагнетизмом. Ферромагнетики сохраняют намагниченность и в отсутствие внешнего магнитного поля. Таким свойством, кроме этих металлов, обладают только железо, кобальт и никель. Но у лантаноидов очень низкая точка Кюри — критическая температура, выше которой ферромагнитные свойства исчезают — поэтому сделать из них постоянные магниты не удастся. Например, для тербия точка Кюри находится на уровне –50 °C, для диспрозия, гольмия и эрбия она еще ниже, и только гадолиний теряет магнитные свойства при нагреве выше 20 °C. Для сравнения: железо остается магнитным при нагреве до 770 °C, кобальт — до 1130 °C.

Оксиды гадолиния, празеодима, церия, самария, лантана и неодима

57 La
Лантан
138,91

Кларк, г/т	39
Плотность, г/см³	6,17
t плавления, °C	921

Лантан

В конце XVIII в. в минералах церите и иттербите (гадолините) была обнаружена новая «земля», названная иттриевой. В 1803 г. шведский химик Й. Я. Берцелиус и немецкий химик Вильгельм Хизингер (1766–1852) обнаружили в церите еще одну «землю», которую назвали цериевой. Из этих «земель» впоследствии выделили оксиды ряда редкоземельных элементов. Один из них, открытый в 1839 г. шведским химиком К. Мосандером, по предложению Берцелиуса назвали лантаном — от *греч.* lanthano — «остаюсь незамеченным, скрываюсь»: новый элемент десятки лет «прятался» от химиков.

В 1842 г. Мосандер понял, что открытый им лантан — это не один элемент, а несколько. За одним он оставил название «лантан», а второй назвал дидимом (от *греч.* didymos — «близнец»). Затем оказалось, что «близнец» — это смесь, причем уже трех элементов: неодима, празеодима и самария.

Как и все лантаноиды, родоначальник этой серии, лантан, — сравнительно мягкий и химически активный металл. Его применяют для изготовления металлогидридных аккумуляторов: в гибридном электромобиле может быть до 15 кг этого элемента. Способность лантана поглощать большие объемы водорода используют для компактного и безопасного хранения этого газа. Лантан применяют при изготовлении высококачественных стеклянных линз, светящихся составов. Растет применение лантана как компонента катализаторов в нефтепереработке. Цена на оксид лантана для каталитического крекинга жидких топлив растет с каждым годом.

58 Ce
Церий
140,12

Кларк, г/т	66,5
Плотность, г/см³	6,76
t плавления, °C	799

Церий

В 1801 г. итальянский астроном Джузеппе Пиацци (1746–1826) открыл первую малую планету Солнечной системы — астероид. Его орбиту рассчитал выдающийся немецкий математик Карл Фридрих Гаусс (1777–1855). Астероид назвали Церерой — в честь римской богини плодородия (в Греции ее звали Деметрой). Вскоре Й. Я. Берцелиус и одновременно и независимо немецкий химик Мартин Клапрот (1743–1817) открыли (в виде оксида) новый химический элемент. Его назвали церием — в память о совершенном незадолго до этого выдающемся астрономическом открытии.

Современные огнива делают из ферроцерия, пирофорного сплава, основу которого составляет церий. Также в его состав входят лантан, неодим, празеодим и железо

Этот элемент оказался первым из элементов-лантаноидов и самым распространенным среди них. Металлический церий обладает удивительным свойством: если проволоку из него поскрести ножом, то образующиеся мельчайшие пылинки металла самовоспламеняются на воздухе (такое свойство металла называется пирофорностью, от *греч.* pyr — огонь и phoros — несущий). Если же внести в пламя саму цериевую проволоку, она сгорает ослепительным пламенем, превосходя по яркости горящий магний.

Это свойство церия использовал австрийский химик Карл Ауэр фон Вельсбах (1858–1919), который разработал состав для «кремниевых» зажигалок. В его основе — церий в сплаве с другими металлами (так называемый мишметалл, от *нем.* mischen — смешивать). Небольшой кусочек такого металла при ударе (или энергичном трении о стальное колесико) дает множество искр, которые легко поджигают фитиль. При сплавлении церия с некоторыми металлами происходит бурная реакция с выделением большого количества теплоты. Поэтому если внести кусочки или порошок церия в расплавленный цинк, произойдет яркая вспышка и сильный взрыв.

Церий в отличие от многих других лантаноидов может изменять валентность. Это свойство позволило генералу, военному химику Борису Павловичу Белоусову (1893–1970) открыть в 1951 г. принципиально новый класс химических реакций — автоколебательных (сейчас они носят его имя). В его опытах (в которые никто вначале не верил, а научные журналы отказывались от публикации) подкисленная смесь бромата калия, лимонной или малоновой кислоты и сульфата церия периодически самопроизвольно изменяла цвет.

В металлургии небольшие добавки церия значительно увеличивают прочность алюминия и некоторых других металлов. Диоксид церия используется как катализатор в химической промышленности. Это вещество является основой лучшего порошка для качественной полировки оптического стекла.

Сульфат церия

Немецкий химик Мартин Генрих Клапрот — один из первооткрывателей церия, урана и титана

Шведский химик Йенс Якоб Берцеллиус открыл церий, торий и селен

59 Pr
Празеодим
140,91

Кларк, г/т	9,2
Плотность, г/см³	6,78
t плавления, °C	931

60 Nd
Неодим
144,24

Кларк, г/т	41,5
Плотность, г/см³	7,00
t плавления, °C	1021

Розовые кристаллы сульфата неодима

Празеодим и неодим

В 1841 г. К. Мосандер разделил «лантановую землю» на два компонента. Одна из них была уже известным оксидом лантана. Другую землю, очень на него похожую, назвали дидимовой (от *греч.* didimos — близнец).

В 1882 г. К. Ауэр фон Вельсбах методом спектрального анализа обнаружил в «дидимовой земле» два новых элемента. Один из них давал соли зеленого цвета, и этот элемент Ауэр назвал празеодимом, т. е. «зеленым близнецом» (от *греч.* prasinos — светло-зеленый). Второй элемент давал соли розово-красного цвета, его назвали неодимом, т. е. «новым близнецом».

Празеодим и неодим используются для получения катализаторов в нефтеперерабатывающей промышленности и в автомобильных конвертерах (катализаторах дожига), в магнитных сплавах.

«Дидимом» покрывают оптические стекла и светофильтры, солнцезащитные очки — для поглощения ультрафиолетового и желтого участка спектра. Неодим — компонент (вместе с железом и бором) очень сильных постоянных магнитов: представьте себе магнит, легко умещающийся на ладони, который может удержать полтонны! Неодимовые магниты, работающие в разнообразных приборах, за 10 лет работы теряют всего 1–2% своей намагниченности.

61 Pm
Прометий
[145]

Кларк, г/т	—
Плотность, г/см³	7,22
t плавления, °C	1042

Прометий

Этот элемент много раз «открывали» в различных минералах — в поисках недостающего редкоземельного элемента, который должен был занимать место между неодимом и самарием. И называли иллинием (в честь Иллинойского университета), флоренцием (в честь Флорентийского университета), циклонием (в результате попыток получения нового элемента в циклотроне). Но эти открытия не были подтверждены.

Впервые недостающее звено в цепи лантаноидов обнаружила в 1945 г. группа американских исследователей: Джекоб Маринский, Лоуренс Гленденин

и Чарлз Кориэлл. Они с помощью хроматографии разделили продукты деления урана в ядерном реакторе и обнаружили среди них новый элемент. Стала понятна неудача поисков природного элемента: все изотопы прометия радиоактивны и отличаются сравнительно небольшим временем жизни. Период полураспада самого долгоживущего, прометия-146, составляет 5,5 лет. Жена Кориэлла предложила назвать новый элемент прометием, по имени Прометея, похитившего у богов огонь и передавшего его людям.

В земной коре прометия меньше 1 кг. Он образуется при распаде радиоактивных элементов и присутствует в виде следов в их минералах. Первый образец металлического прометия был получен в 1963 г.; его выделили из продуктов деления в ядерных реакторах. Применяют прометий-147 как источник энергии на космических кораблях.

Прометей изображен на монете Кирибати-Самоа, отчеканенной в 1997 г. в честь приближающегося миллениума

Самарий

В середине 40-х гг. XIX в. начальник штаба Корпуса горных инженеров Василий Евграфович Самарский-Быховец (1803–1870) предоставил немецкому химику Генриху Розе (1795–1864) для исследования образцы черного уральского минерала, найденного в Ильменских горах. Незадолго до этого минерал исследовал брат Генриха, немецкий минералог и кристаллограф Густав Розе (1798–1873), и назвал его уранотанталом.

Генрих Розе предложил переименовать минерал и назвать его самарскитом. Как писал Розе, «в честь полковника Самарского, по благосклонности которого я был в состоянии производить над этим минералом все изложенные наблюдения».

Присутствие в самарските нового элемента доказал только в 1879 г. французский химик Поль Эмиль Лекок де Буабодран (1838–1912), он и назвал этот элемент самарием. Это был первый случай, когда химический элемент назвали в честь реального человека.

Самарий применяют для получения катализаторов, расщепляющих ядовитые хлорорганические соединения. Из сплава самария с кобальтом можно сделать очень сильный постоянный магнит. Самарий эффективно захватывает нейтроны, что используется для управления цепной реакцией в ядерных реакторах.

62 **Sm**
Самарий
150,36

Кларк, г/т	7
Плотность, г/см^3	7,54
t плавления, °C	1075

Самарскит — минерал самария

Металл самарий

63 Eu
Европий
151,96

Кларк, г/т	2
Плотность, г/см³	5,25
t плавления, °C	826

Бруски металла европия

Европий

В 1886 г. английский физик и химик Уильям Крукс (1832–1919), специалист в области спектрального анализа, исследуя минерал самарскит, обнаружил в его спектре новую линию. Такую же линию он наблюдал, изучая смесь иттербиевой и самариевой «земель».

Можно было подозревать, что эта линия принадлежит неизвестному элементу, но для открытия этих наблюдений было недостаточно. В 1892 г. Лекок де Буабодран, давно изучавший соединения самария, также обнаружил в них линию, которую наблюдал Крукс. Наконец, французский химик Эжен Анатоль Демарсе (1852–1903) разработал метод разделения редкоземельных элементов и в результате кропотливой работы сумел выделить из смеси лантаноидов неизвестный ранее элемент. Это открытие было подтверждено спектральным анализом в 1901 г., когда Демарсе и дал новому элементу название европий, в честь Европы. Как известно, эта часть света была названа в честь мифической Европы, дочери финикийского царя, которую похитил Зевс, обернувшийся быком. Он приплыл с ней на остров Крит, то есть в современную Европу. Похищение Европы Зевсом изображено на греческой монете в 2 евро.

Применение нашел оксид европия: под действием ультрафиолетового излучения он светится ярко-красным светом. Европий используют при изготовлении экранов цветных телевизоров.

64 Gd
Гадолиний
157,25

Кларк, г/т	6,2
Плотность, г/см³	7,87
t плавления, °C	1313

Гадолиний

В 1794 г. финский химик и минералог Юхан Гадолин обнаружил в минерале, найденном вблизи Иттербю, оксид неизвестного металла.

В 1879 г. Лекок де Буабодран назвал этот оксид гадолиниевой землей. В 1880 г. швейцарский химик Жан Мариньяк методом спектрального анализа доказал, что в этой «земле» присутствует новый элемент, названный гадолинием. Наконец, в 1886 г. Лекок де Буабодран выделил препарат нового элемента и дал ему название гадолиний — по минералу, из которого он был получен. Как и самарий, гадолиний хорошо поглощает нейтроны, что используется в ядерных реакторах. Синтетические гадолиниевые кристаллы (гранаты) используются в лазерах. Инте-

ресное свойство солей гадолиния — их охлаждение при размагничивании. Это свойство позволило получить сверхнизкие температуры, почти не отличающиеся от абсолютного нуля.

Тербий

В 1843 г. Карл Мосандер открыл в минерале гадолините два новых элемента. Он назвал их тербием и эрбием.

Эти элементы часто путали, а в 1860-е гг. их названия поменяли местами — редчайший случай в истории химии. Более того, в 1886 г. Жан Мариньяк показал, что тербий («эрбий Мосандера») на самом деле является смесью двух элементов: гадолиния и «настоящего» тербия.

Соединения тербия используются в качестве люминофора: они светятся желто-зеленым светом, что применяется в люминесцентных лампах.

65 **Tb**
Тербий
158,93

Кларк, г/т	1,2
Плотность, г/см^3	8,27
t плавления, °C	1356

66 Dy
Диспрозий
162,50

Кларк, г/т	5,2
Плотность, г/см^3	8,53
t плавления, °C	1412

Диспрозий

Так Лекок де Буабодран назвал открытый им в 1886 г. в оксиде гольмия редкоземельный элемент.

По-гречески disprositos — «труднодоступный»: ученому потребовалось много поработать, чтобы получить наконец сравнительно чистый небольшой образец оксида диспрозия. Применяют диспрозий в качестве добавок к сплавам цинка и циркония. Его оксид — компонент люминофоров, светящихся красным светом. Вместе с неодимом используется в производстве сильных постоянных магнитов.

Диспрозий — мягкий глянцевитый серебристый металл

67 Ho
Гольмий
164,93

Кларк, г/т	1,3
Плотность, г/см^3	8,8
t плавления, °C	1474

Гольмий

В 1879 г. швейцарский химик и физик Жак Луи Сорэ (1827–1890) методом спектрального анализа обнаружил в «эрбиевой земле» новый элемент.

Название ему дал шведский химик Пер Теодор Клеве (1840–1905) в честь Стокгольма (его старинное латинское название Holmia), так как минерал нашли близ столицы Швеции.

Гольмий обладает ярко выраженным металлическим блеском

Эрбий

Вначале эрбием называли тербий. Потом химики выяснили, что и «эрбий», и «тербий» — это смеси двух элементов.

В 1879 г. Клеве показал, что оксид, который считался соединением эрбия, содержит оксиды тулия и гольмия. Оксид эрбия используют в ядерной энергетике, в производстве лазеров; его добавляют в расплавленный кварц, из которого вытягивают оптическое волокно. Оксид эрбия окрашивает ювелирные фианиты в розовый цвет.

68 Er
Эрбий
167,26

Кларк, г/т	22
Плотность, г/см³	2,99
t плавления, °C	1541

Кольцо с розовыми фианитами

Тулий

Тулий, как и лютеций, — наименее распространенный из лантаноидов. В то же время его в земной коре в сотни раз больше золота.

Тулий был открыт Клеве (в виде оксида) в 1879 г. одновременно с гольмием. Клеве хотел назвать новый элемент, как и гольмий, в честь своей родины, но придумал необычное название. Туле (Thule) — в Средние века так называли северную часть Европы, Исландию или же северо-запад Шведско-Норвежских объединенных королевств (уния Норвегии со Швецией была разорвана только в 1905 г.).

Клеве считал, что Туле — это вся Скандинавия, и к тому же по ошибке он написал Thullium, с удвоенной согласной. Сейчас слово Thule можно

69 Tm
Тулий
168,93

Кларк, г/т	0,5
Плотность, г/см³	9,33
t плавления, °C	1545

Металл тулий

увидеть в названии известной шведской автомобильной фирмы.

Тулий применяется в рентгеновских портативных установках. После облучения оксида тулия нейтронами в ядерном реакторе образуется ^{170}Tm с периодом полураспада 128,6 суток. Этот радионуклид испускает мягкое гамма-излучение, энергия которого близка к рентгеновскому, что удобно для диагностики больного, который по каким-то причинам не может приехать в клинику.

Изотоп тулия — тулий-66

^{70}Yb

Иттербий

173,04

Кларк, г/т	3,2
Плотность, г/см³	6,95
t плавления, °C	824

Иттербий

Иттербий открыл в 1878 г. Жан Мариньяк, использовав для этого спектральный метод.

Впоследствии Ларс Нильсон показал, что «иттербий Мариньяка» — это на самом деле два элемента: собственно иттербий и редкоземельный элемент (но не лантаноид) скандий. В 1907 г. французский химик Жорж Урбен (1872–1938) показал, что даже «очищенный иттербий» Нильсона содержит еще один элемент, который он назвал лютецием. О трудностях разделения лантаноидов свидетельствует тот факт, что чистый иттербий впервые получили только в 1953 г.

Иттербий применяется как легирующая добавка к нержавеющей стали, в производстве лазеров и солнечных батарей. Вместе с эрбием его используют для защиты банкнот от подделок: иттербий сенсибилизирует эрбий, и тот светится в инфракрасных лучах красным или зеленым светом.

Для солнечных батарей используют иттербий

Лютеций

Лютеций — последний (по расположению и по году открытия) и самый редкий лантаноид. Его открыл в виде оксида французский химик Ж. Урбен в 1907 г.

Название он произвел от старого латинского названия Парижа — Lutetia Parisorum (Лютеция была главным городом галльского племени парижиев).

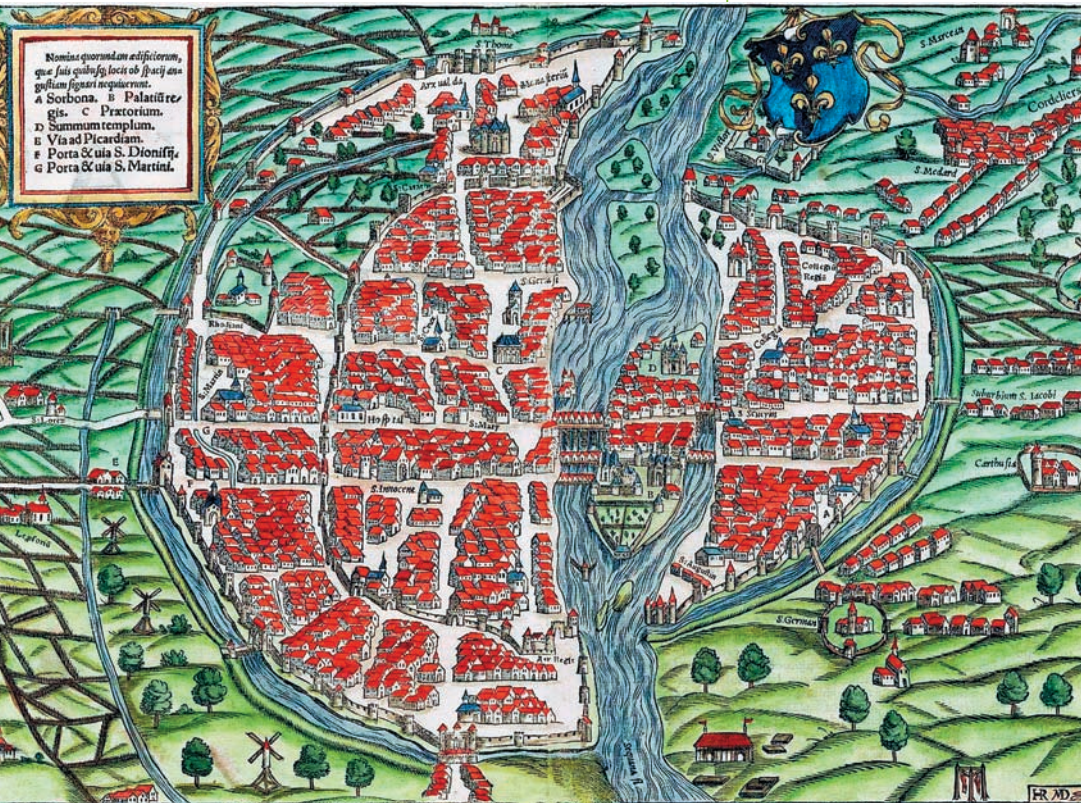
В том же году лютеций независимо открыли Ауэр фон Вельсбах и американский химик Чарльз Джеймс (1880–1928).

Соединения лютеция используются в инфракрасных лазерах. Они служат катализаторами в химической промышленности для крекинга углеводородов нефти.

Силикат лютеция используется в ядерной медицине как чувствительный датчик частиц высокой энергии.

71 Lu Лютеций 174,97	
Кларк, г/т	0,5
Плотность, г/см^3	9,84
t плавления, °C	1663

Старинная карта Парижа



Актиний и актиноиды

Как за лантаном в Периодической таблице следуют 14 элементов-лантаноидов, так и за актинием следуют 14 элементов-актиноидов. Самый известный из них — элемент № 92, уран, последний и самый тяжелый элемент, известный Д. И. Менделееву.

Еще в середине 1950-х гг. в учебниках уран располагали в периодической таблице под вольфрамом. Но со временем «родственников» актиния становилось известно все больше. И тогда в таблицу элементов ввели отдельную группу актиноидов, аналогичную группе лантаноидов, как это предлагал американский физик Гленн Сиборг (1912–1999). В результате уран переместился в отдельную группу актиноидов. Все актиноиды радиоактивны; периоды полураспада их самых долгоживущих изотопов составляют от 14 млрд лет для тория-232 (элемент № 90) до 10 часов для лоуренсия-265 (элемент № 103, последний актиноид). Элементы тяжелее урана были получены искусственно и будут рассмотрены отдельно как «трансурановые элементы».

В природе существует три так называемых радиоактивных ряда, начинающихся с урана (двух его изотопов) и тория. Радиоактивный ряд — это цепочка ядерных превращений, которая начинается с относительно долгоживущего изотопа урана или тория и заканчивается стабильным изотопом свинца. В этой цепочке одни нуклиды испускают альфа-частицы, другие — бета-частицы. Альфа-частица — это ядро атома гелия-4 (2 протона, 2 нейтрона). Когда альфа-частица вылетает из ядра, его заряд уменьшается на 2 (сдвиг на две клетки влево в таблице элементов), а масса уменьшается на 4. При бета-распаде нейтрон в ядре самопроизвольно превращается в протон, электрон и невесомую частицу антинейтрино. Электрон и антинейтрино выделяются с большой скоростью из ядра, а протон в нем остается. В этом случае масса ядра не меняется (массы протона и нейтрона очень близки), а заряд увеличивается на 1 (сдвиг на одну клетку вправо в таблице элементов).

Ряд тория начинается с тория-232, возраст которого совпадает с предполагаемым возрастом Вселенной. Этот ряд заканчивается стабильным свинцом-208.

Ряд урана, он же ряд радия, начинается с урана-238. Его родоначальник — самый долгоживущий изотоп урана, период полураспада которого по случайному совпадению приблизительно равен времени существования Земли. Значит, когда наша планета образовалась, на ней было вдвое больше урана. Ряд урана заканчивается другим стабильным изотопом свинца, свинцом-206.

Третья природная цепочка радиоактивных превращений, которая исторически называется рядом актиния, начинается с другого долгоживущего изотопа урана, ^{235}U. В этом ряду конечным продуктом является свинец-207. Таким образом, из четырех стабильных изотопов свинца три образуются в виде продуктов радиоактивных рядов. В результате изотопный состав свинца в разных минералах различен.

Актиноиды испускают лучи подобно тем, которыми обладают актинии (морские анемоны)

89 Ac
Актиний
[227]

Кларк, г/т	5·10–10
Плотность, г/см³	10,06
t плавления, °C	1051

91 Pa
Протактиний
231,04

Кларк, г/т	10–7
Плотность, г/см³	15,37
t плавления, °C	1572

Актиний и протактиний

Название этим радиоактивным элементам было дано по аналогии с радием (от *греч.* aktis — луч): эти элементы очень радиоактивны, а актиний даже светится в темноте.

Актиний в природе находится в очень малых количествах в урановой руде. Там его и обнаружил в 1899 г. французский физик и химик А. Л. Дебьерн. Природный актиний представлен единственным нуклидом ^{227}Ac с периодом полураспада 21,8 лет. В лабораториях получено еще несколько десятков изотопов актиния с периодами полураспада от 10 суток до миллиардных долей секунды. В свободном виде актиний реагирует с водой с выделением водорода. Очень высокая радиоактивность актиния затрудняет определение его физических свойств. Изотопы актиния применяют в научных исследованиях и в медицине.

Существование протактиния предсказал в 1871 г. Д. И. Менделеев. Открыт же он был в 1913 г. работавшим в США польским физиком Казимиром Фаянсом (1887–1975) и его помощником немецким физиком Отто Освальдом Герингом (1892–1969). Они назвали этот элемент «бревием» (от *лат.* brevis — «короткоживущий»).

У протактиния в отличие от актиния есть сравнительно долгоживущий изотоп ^{231}Pa, с периодом полураспада 32 760 лет, поэтому свойства этого элемента изучены лучше. Это твердый светло-серый

Казимир Фаянс — американский физик польского происхождения, открывший протактиний. Вместе с Ф. Содди он установил правило смещения при распаде радиоактивных элементов

Фредерик Содди в лаборатории Университета Глазго. В 1921 г. ему была присуждена Нобелевская премия по химии за исследования в области радиоактивности. В его честь назван силикат урана соддит

металл, на воздухе покрывается пленкой оксида, при нагревании реагирует с водородом. Хотя протактиний был открыт намного позже актиния, в природном радиоактивном ряду актиния (который начинается с урана-235) протактиний стоит раньше; отсюда и его название — от *греч.* protos — «первый», «исходный», «начальный».

Торий

В 1828 г. Й. Я. Берцелиус обнаружил в редком минерале, присланном ему из Норвегии, соединение нового элемента, который он назвал торием — в честь древнескандинавского бога-громовержца Тора.

Торий радиоактивен; период его полураспада 14 млрд лет, конечный продукт распада — свинец. По соотношению образовавшегося свинца и оставшегося тория в минерале можно определить его возраст. Так, возраст циркона, найденного в штате Вирджиния (в нем было немного тория), оказался равным 1,23 млрд лет.

В конце XIX в. соединения тория нашли неожиданное применение. Австрийский химик К. Ауэр фон Вельсбах обнаружил, что нитрат тория после прокаливания превращался в очень тугоплавкий (температура плавления 3350 °С) и ярко светящийся в пламени диоксид тория. Это позволило ему разработать лампу для освещения, дающую ослепительно яркий белый свет. В ней пламенем горелки раскалялся до белого каления «ауэровский колпачок» — прокаленная сеточка из ткани, пропитанной солями тория с добавкой 1% церия. В первые годы ауэровские горелки успешно конкурировали с электрическим освещением. К моменту смерти изобретателя в 1929 г. было изготовлено около пяти миллиардов ауэровских колпачков!

Торий — редкий элемент. Для его добычи в Бразилии в конце XIX в. были начаты разработки месторождения монацитового песка. Монацит — важнейший источник и редкоземельных элементов, и тория. В монаците содержится от 2,5 до 12% тория. Вначале Ауэр, чтобы не платить пошлину, указывал, что монацитовый песок используется просто как балласт для кораблей, плывущих в Европу. Когда хитрость раскрылась, ему пришлось платить бразильскому правительству немалую пошлину за вывоз ценного минерала.

90 **Th**

Торий

[232]

Кларк, г/т	9,6
Плотность, г/см³	11,73
t плавления, °С	1756

Монета в 25 шиллингов, выпущенная в Австрии к 100-летию со дня рождения Ауэра фон Вельсбаха в 1958 г.

«Ауэровский колпачок» для газовой лампы

92 U

Уран

[238]

Кларк, г/т	2,7
Плотность, г/см^3	19,05
t плавления, °C	1135

«Уран… редко встречается в природе. Урановая слюдка… урановый купорос, самарскит и евксенит, также содержащие уран, встречаются очень редко и в малых количествах. Чаще и в больших количествах находят некристаллическую землистую, бурую (уд. вес 7,2) урановую смоляную руду, содержащую преимущественно промежуточный окисел… Эта руда добывается в Иоахимстале (в Богемии) и в Корнвалисе (в Англии)».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Уран

Издавна немецкие рудокопы находили в серебряных копях тяжелую черную руду со смоляным блеском. Никакого металла из нее выплавлять не удавалось, и ее называли Pechblende, (от *нем.* Pech — «смола» и blenden — «обманывать»). Такое название сохранилось за минералом и в русском языке: смоляная обманка. По составу это оксид урана.

В 1781 г. английский астроном Уильям Гершель (1738–1822) открыл новую планету, которую назвали Ураном — по имени древнегреческого бога неба Урана, деда Зевса. В 1789 г. немецкий химик М. Г. Клапрот выделил из смоляной обманки черное тяжелое вещество, которое он принял за металл и по традиции алхимиков «привязал» его название к недавно открытой планете. Позднее выяснилось, что Клапрот получил не сам уран, а его черный оксид. Это вещество использовали для окраски стекла. Такое стекло, само по себе желтое, при солнечном свете флуоресцирует и становится ярко-зеленым. Флуоресценция солей урана помогла французскому физику Антуану Анри Беккерелю (1852–1908) открыть в 1896 г. явление радиоактивности.

Металлический уран получил в 1841 г. французский химик Эжен Мелькьор Пелиго (1811–1890). Это один из самых тяжелых металлов, его плотность близка к плотности золота. Уран — не очень редкий элемент: в земной коре его больше, чем брома, олова, мышьяка, молибдена и вольфрама, в 35 раз больше, чем серебра. Уран образует десяток собственных минералов, а среднее его содержание в руде может превышать 0,5%. В граните содержание ура-

Урановое стекло светится в ультрафиолете

на в десять раз выше среднего, поэтому на облицованных гранитом набережных радиационный фон слегка повышен. Но не от самого урана, а от более активных продуктов его распада. Природный уран — смесь трех изотопов.

Больше всего урана-238 — почти 99,3%, урана-235 всего 0,7% (период полураспада 700 млн лет) и совсем мало — тысячные доли процента — урана-234 (период полураспада около 250 тысяч лет, он является промежуточным продуктом распада урана-238). Именно уран-235 — делящийся ядерный материал: при попадании нейтронов в его ядра они расщепляются на два осколка с высвобождением новых нейтронов, которые расщепляют другие ядра. Возникает цепная реакция. Расщепление ядер даже в небольшом количестве вещества сопровождается выделением огромной энергии — в виде неуправляемого взрыва атомной бомбы (урановая бомба была сброшена на Хиросиму) или в виде тепловой энергии на АЭС, если скорость процесса контролируется. Химические свойства изотопов урана идентичны, поэтому «обогатить» уран, т. е. отделить даже в небольшой степени ^{235}U от ^{238}U, — очень сложная технологическая задача. Для работы реактора на АЭС достаточно обогащения от 3 до 20%. Если в реакторе для торможения нейтронов используют тяжелую воду, требуется меньшее обогащение урана.

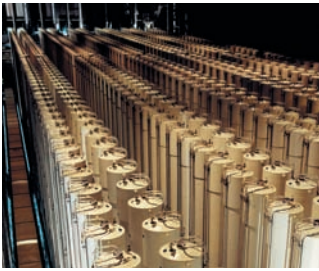
Для изготовления бомбы нужно уже 90-процентное обогащение изотопом ^{235}U. Для разделения изотопов урана используют небольшую разницу в их массах. Для этого уран переводят в летучий фторид и дальше газ либо пропускают через мембрану с очень мелкими порами (легкие молекулы проходят через нее чуть быстрее), либо помещают в центрифугу, вращающуюся с большой скоростью (тяжелые молекулы в большей степени отбрасываются к стенкам). Разработаны и так называемые реакторы на быстрых нейтронах, которые позволяют использовать необогащенный уран-238.

Число ядерных реакторов во всем мире исчисляется сотнями, а мировое производство урана в 2012 г. составило 66,5 тысяч тонн, из которых лишь несколько процентов идет на военные цели. Причем потребление урана в 2012 г. превысило 70 тысяч тонн — за счет накопленных ранее запасов.

Уран, как и большинство тяжелых металлов, ядовит, являясь общеклеточным ядом. В организме среднего человека содержится обычно около 0,1 мг урана, который попадает в него с пищей (около 1 мкг в сутки).

Уран вдвое тяжелее свинца

Атомная бомба с плутониевой начинкой была сброшена на Нагасаки 9 августа 1945 г.



Каскады газовых центрифуг используют для разделения изотопов урана

Группа титана

22	
Ti	
Титан	
47,87	

Кларк, г/т	5600
Плотность, г/см³	4,54
t плавления, °C	1668

Кристалл титана, очищенного иодидным методом

Здание музея Гуггенхайма в Бильбао облицовано тонкими листами титана

Титан

Считается, что титан открыл немецкий химик М. Г. Клапрот, который в 1795 г. обнаружил в минерале рутиле оксид неизвестного металла. Этот металл он назвал титаном, по аналогии с открытым им же ранее ураном. Титаны — гиганты в древнегреческой мифологии, с которыми боролись боги-олимпийцы. Вскоре выяснилось, что четырьмя годами раньше аналогичный оксид обнаружил английский химик и минералог Уильям Грегор (1761–1817). Грегор выделил этот оксид из минерала ильменита; он назвал новый элемент менакином. Оказалось, что и рутил, и «менакин» — это диоксид титана. А ильменит содержит титан, железо и кислород.

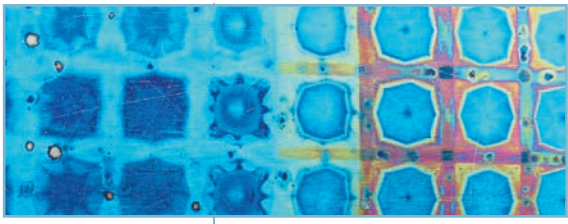
В начале XX в. титан был известен лишь узкому кругу специалистов. Д. И. Менделеев в учебнике «Основы химии» писал: «Титан и цирконий довольно редки в природе, имеют мало практического применения и не представляют новых форм соединений». Впоследствии выяснилось, что титан — один из наиболее распространенных элементов в земной коре; его по массе втрое больше, чем марганца, хрома, никеля и цинка вместе взятых, и в 40 раз больше, чем меди! Однако титан настолько прочно связан в минералах с кислородом, что получить металлический титан удалось только в 1910 г., когда Менделеева уже не было в живых. Из-за примесей полученный тогда металл был хрупким. Впервые хорошо очищенный титан получили только в 1925 г. с помощью нового иодидного метода.

Титан с примесями нагревают с парами иода до 600 °C. При этом образуется летучий иодид титана, пары которого пропускают над раскаленной титановой проволокой. Соприкасаясь с ней, иодид разлагается, чистейший металлический титан осаждается на нити, а пары иода снова вступают в реакцию с неочищенным металлом.

Если реакцию разложения паров проводить медленно, вырастают большие красивые кристаллы титана. Такой способ используют также для очистки циркония, хрома, ванадия, ниобия, тантала и других металлов.

Оказалось, что в отсутствие примесей титан имеет замечательные свойства. По прочности он сравним со сталью, а иногда и превосходит ее. И при

этом почти вдвое легче ее. Из всех металлов у титана наилучшее отношение прочности к плотности. Так, титан на 15% тяжелее алюминия, но прочнее его в шесть раз! Титан сохраняет свою прочность до высоких температур, при которых алюминий и его сплавы ломаются. Чистый титан можно ковать, прокатывать его в тонкие листы и даже фольгу, делать из него проволоку. Только во второй половине XX в. титан начали получать в больших количествах.



Титановая пластина из магниторазрядного насоса; цвета — результат интерференции в пленках соединений титана и остаточных газов

Хотя титан — химически активный металл, его поверхность хорошо защищена прочной пленкой оксида. Химическая стойкость чистого титана во многих случаях превосходит даже стойкость благородных металлов.

На титан не действуют хлорная вода, смесь концентрированных азотной и серной кислот и даже царская водка. Под действием окислителей оксидная пленка становится толще и прочнее.

Титан и его сплавы широко используют как конструкционный материал в авиации, кораблестроении, в ракетной технике, аэрокосмической отрасли. Титан и его сплавы применяют при изготовлении спутников, космических станций, автомобилей и даже теннисных ракеток. Из него делают медицинские имплантаты. Они не подвержены коррозии и хорошо переносятся организмом. Способность титана прочно связываться с кислородом и азотом используется для получения сверхвысокого вакуума. Титан называют металлом XXI века. Сплав 50% титана и 50% никеля (нитинол) обладает эффектом памяти. Из него, например, можно сделать антенну для спутника, компактно ее упаковать, а в космосе нагреть, и она сама примет первоначальную форму.

Только 5% добываемой титановой руды идет на выплавку металла, 95% используют для получения диоксида титана. Этот замечательный белый пигмент не токсичен. Он входит в состав красок, эмалей, косметики, таблеток, пластмасс. В 2012 г. в мире было добыто 190 млн тонн диоксида титана. Соединение титана с азотом — нитрид титана — исключительно прочное и твердое. Даже пленка толщиной 0,003 мм придает изделию твердость и износоустойчивость, а также нарядный вид: по цвету нитрид титана очень похож на золото. Так, купола храма Христа Спасителя покрыты нитридом титана.

Монумент «Покорителям космоса» в Москве облицован листами титана

40 Zr
Цирконий
91,22

Кларк, г/т	165
Плотность, г/см^3	6,51
t плавления, °C	1855

Цирконий

Этот элемент известен прежде всего по названию драгоценного камня циркона. По составу это силикат циркония; его окрашенные примесями кристаллы зеленого, густо-красного или золотисто-желтого цветов издавна ценили как красивейшие драгоценные камни.

Их название происходит от *перс.* zargun — «окрашенный в золотистый цвет». Такую окраску имеет одна из разновидностей циркона — гиацинт. В 1789 г. немецкий химик М. Г. Клапрот выделил из цейлонского циркона «цирконовую землю» — диоксид циркония. Металлический цирконий получил в 1824 г. шведский химик Й. Я. Берцелиус. Однако более ста лет цирконий не находил применения, так как не было подходящего способа его очистки. Такой способ (разложение паров иодида циркония) появился только в 1920-е гг.

Химически чистый цирконий — довольно мягкий, легко обрабатываемый металл. Но уже небольшое количество добавок делает его очень твердым даже при очень высоких температурах. Это редкое и ценное качество, а также слабое поглощение цирконием нейтронов, делает цирконий незаменимым при строительстве ядерных реакторов. Мировое производство циркония (в виде его оксида) в 2012 г. превысило 1,4 млн тонн, а металла — примерно 7000 тонн.

Широко известна кубическая модификация бесцветного диоксида циркония под названием «фианит» (от ФИАН — сокращенного названия Физического института Академии наук, где впервые в 1973 г. получили это соединение). Эта модификация неустойчива, и ее стабилизируют добавками оксидов марганца, кальция и иттрия. У фианитов очень высокий показатель преломления света, и по своему блеску эти синтетические камни соперничают с алмазом.

Слиток циркония, при кристаллизации которого возникла огранка, соответствующая кристаллической решетке циркония

Ограненные кристаллы циркона

Гафний

Элемент 72 не был известен Менделееву, а его символа Hf не было в периодических таблицах, опубликованных до середины 1920-х г. Существование гафния предсказал в 1913 г. английский физик Генри Мозли, а открыли гафний в 1923 г. венгерский химик Дьердь де Хевеши (1885–1966) и нидерландский физик Дирк Костер (1889–1950).

Свое открытие они совершили, когда работали у знаменитого датского физика Нильса Хендрика Давида Бора (1885–1962) в возглавляемом им Институте теоретической физики в Копенгагене. По расчетам Бора, лютеций завершает группу лантаноидов, и следующий элемент должен быть аналогом элемента четвертой группы — циркония. Так и оказалось. Новый элемент Хевеши и Костер назвали в честь Копенгагена (латинское название этого города — Hafnia). Гафний по химическим свойствам очень похож на цирконий и является побочным продуктом в его производстве.

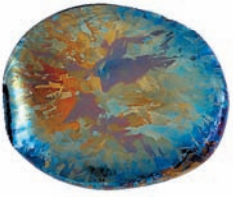
Очистка гафния от примесей сложна и дорога; стоимость чистого гафния превышает 1000 долларов за 1 кг. Как и цирконий, гафний используется в ядерных реакторах, но в прямо противоположных целях. Гафний хорошо поглощает нейтроны, и потому его вводят в регулирующие стержни. Мировое производство металлического гафния составляет около 80 тонн в год. Из них атомная промышленность потребляет около 50 тонн гафния в год, остальное идет на выплавку высокотемпературных суперсплавов. Такие сплавы используются в производстве турбин реактивных двигателей, в том числе для пассажирских самолетов. Диоксид гафния применяют в электронике: он позволяет уменьшить размер транзисторов.

72 **Hf**

Гафний

178,49

Кларк, г/т	3
Плотность, г/см^3	13,3
t плавления, °C	2233



Гафний в тонкой оксидной пленке

Хевеши и Костер дали имя элементу гафнию в честь Копенгагена, столицы Дании

Группа ванадия

23
V
Ванадий
50,94

Кларк, г/т	120
Плотность, г/см³	6,10
t плавления, °C	1910

«Как Bi сходен во многом со своим соседом Pb, так и V, Nb, Ta сходны с ближайшими соседями других групп... Минералы, в которых встречаются V, Nb и Ta, составляют большую редкость... Вообще, ванадию, ниобию и танталу отвечают, сколько известно, соединения форм RX, RX_2, RX_3, RX_4 и RX_5, и это богатство форм... затрудняет изучение этих все же очень редких элементов».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Ванадий

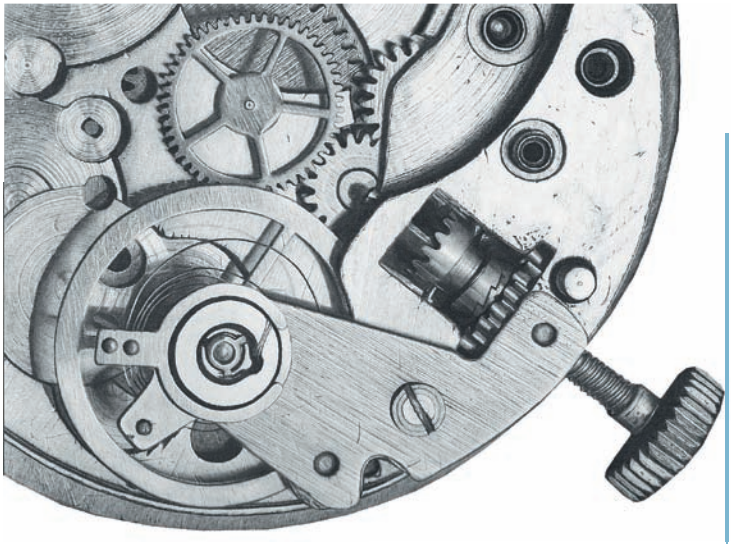
История открытия ванадия была драматической. И называли этот элемент по-разному. Считается, что ванадий открыл в 1830 г. шведский химик Нильс Габриель Сефстрем (1787–1845) в шлаке доменных печей. Он назвал новый элемент одинием, в честь верховного скандинавского бога Одина.

Шведский химик Й. Я. Берцелиус, повторивший эксперименты Селфстрема, назвал этот элемент эрианом. Наконец, сам Селфстрем решил, что называться новый элемент должен ванадием, в честь Фрейи, скандинавской богини красоты из рода Ванов. Его представители живут в стране Ванахейм; отсюда другое имя Фрейи — Ванадис. Действительно, минералы ванадия обладают исключительной красотой.

Но у Сефстрема в пользу такого названия был и такой необычный довод: название ни одного из известных тогда элементов не начиналось на букву V!

Вскоре выяснилось, что, как и в случае титана, ванадий открывали прежде два химика. Один из них — мексиканский минералог Андрес Мануэль дель Рио (1764–1846), другой — немецкий химик Фридрих Велер (1800–1882). Дель Рио изучал содержащую ванадий красно-коричневую свинцо-

Минерал ванадинит



Ванадий — составная часть многих сплавов

Немецкий химик Фридрих Велер (1800–1882)

вую руду (сейчас она называется ванадинитом). Вначале он назвал новый элемент панхромом (т. е. «многоцветным»). Действительно, соединения ванадия разной валентности окрашены в разные цвета.

Потом дель Рио решил изменить название элемента на эритрон (от *греч.* erythro — «красный»): при нагреве соединения ванадия краснели. В 1805 г. дель Рио дал образец вещества, выделенного им из минерала, известному немецкому ученому-энциклопедисту и государственному деятелю Александру Гумбольдту (1769–1859). Гумбольдт передал это вещество для исследования французскому химику Ипполиту Виктору Колле-Дескотилю (1773–1815). Но тот решил, что в образце присутствует только недавно открытый хром. В результате дель Рио отказался от своего открытия. Велеру же завершить работу помешала болезнь. Получить металлический ванадий в чистом виде удалось лишь в 1867 г. английскому химику Генри Энфилду Роско (1833–1915).

Ванадий — не очень редкий элемент; в земной коре его больше, чем меди, он содержится в более чем в 60 минералах. В некоторых странах ванадий получают при переработке сырой нефти: в ней содержание металла может достигать 1200 г/т. Основное применение ванадия — сплавы. Считают, что присутствие небольших количеств ванадия в железной руде помогло древним металлургам выковать дамасскую сталь. Сейчас из ванадиевой стали делают подшипники, разнообразные инструменты, пружины. Пентаоксид ванадия — прекрасный катализатор.

В организме среднего человека содержится 0,1 мг ванадия.

Концентратором ванадия является бледная поганка, хотя ее ядовитость связана с аманитином, фаллоидином и другими очень ядовитыми алкалоидами

Ниобий и тантал

41 Nb Ниобий 92,91	
Кларк, г/т	20
Плотность, г/см³	8,58
t плавления, °C	2477

73 Ta Тантал 180,95	
Кларк, г/т	2
Плотность, г/см³	16,67
t плавления, °C	3020

В природе ниобий встречается почти всегда совместно с танталом. И названия у этих элементов «родственные».

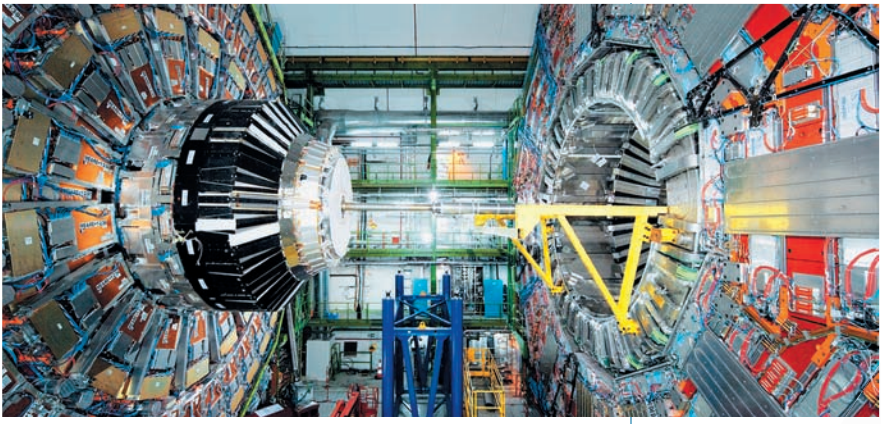
В 1801 г. английский химик Чарлз Хатчет (1765–1847) проанализировал черный минерал, хранившийся в Британском музее и найденный еще в 1635 г. на территории современного штата Массачусетс в США. Хатчет обнаружил в этом минерале оксид неизвестного элемента. В результате переписки с американскими минералогами Хатчет решил назвать новый минерал колумбитом, а содержащийся в нем элемент — колумбием, в честь страны, где он был найден. В те времена США поэтически называли Колумбией, по имени первооткрывателя континента. Женский образ Колумбии (от *лат.* columba — «голубка») много лет был эмблемой страны; символическое изображение Колумбии можно увидеть на заставке кинокомпании *Columbia Pictures*.

В 1802 г. шведский химик и минералог Август Густав Экеберг (1767–1813) выделил из колумбита еще один оксид, который упорно не хотел растворяться (как тогда говорили — насыщаться) ни в одной кислоте. «Законодатель» в химии тех времен Й. Я. Берцелиус предложил назвать содержащийся в этом оксиде металл танталом. Тантал — герой древнегреческих мифов; в наказание за свои преступления он стоял по горло в воде, к которой склонялись ветви с плодами, но не мог ни напиться, ни насытиться. Аналогично и тантал не мог «насытиться» кислотой — она отступала от него, как вода от Тантала.

По свойствам этот элемент настолько был похож на колумбий, что в течение длительного времени шли споры о том, являются ли колумбий и тантал одним и тем же элементом или все же разными. Так, английский химик Уильям Хайд Волластон (Уолластон, 1766–1828) в 1809 г. высказал мнение, что тантал и колумбий — один и тот же элемент. Только в 1845 г. немецкий химик Генрих Розе разрешил спор, проанализировав несколько минералов, в том числе и колумбит из Баварии. Он установил, что на самом деле существуют два близких по свойствам элемента. Колумбий Хатчета оказался их смесью; минерал колумбит также содержал два новых элемента. Второй элемент Розе назвал ниобием — по имени дочери Тантала — Ниобы, из-за собственной гордыни потерявшей всех своих детей.

Название элемента ниобий было официально утверждено только в 1950 г. Многие годы до этого

Минерал колумбит содержит тантал и ниобий



Обмотки сверхпроводящих магнитов Большого адронного коллайдера сделаны из сплава ниобия

момента в американских таблицах химических элементов на месте ниобия стоял символ Cb.

Металлический ниобий впервые получил в 1866 г. шведский химик и минералог Кристиан Вильгельм Бломстранд (1826–1897).

Ниобий — мягкий, легко обрабатывающийся металл. Его называют «звездным металлом». Он используется в авиации, ракетостроении и атомной промышленности. Ниобий применяют как добавку к стали, из которой делают сопла ракет. Такие сопла, на 89% состоящие из ниобия, были у лунного модуля «Аполлон». При температуре ниже минус 264 °С ниобий становится сверхпроводящим, а его соединение с германием теряет сопротивление при температуре минус 250 °С.

Большие запасы ниобия есть в России. На Чуктуконском месторождении в Красноярском крае предполагается ежегодно добывать 3,3 млн тонн ниобиевой руды (при запасах более 100 млн тонн) и выплавлять более 21 тысяч тонн металлического ниобия. Для сравнения: мировое производство ниобия в 2012 г. составило 69 тысяч тонн.

Чистый металлический тантал смог получить только в 1903 г. немецкий химик Вернер фон Больтон (1868–1912). Исключительно высокая химическая стойкость тантала используется в медицине: из него делают винты для скрепления костей, искусственные суставы, «заплатки» на черепе. Танталовая аппаратура используется в фармацевтической и пищевой промышленности. Оксид тантала — прекрасный изолятор, он используется в производстве миниатюрных конденсаторов для мобильных телефонов, компьютеров и другой электроники.

Мировое производство тантала в 2012 г. составило 765 тонн.

Кристаллы ниобийсодержащего минерала пирохлора

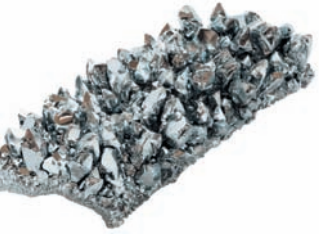
Лунный модуль «Аполлон»

Группа хрома

21 **Cr**
Хром
51,996

Кларк, г/т	102
Плотность, г/см^3	7,19
t плавления, °C	1907

«Уральская красная хромовая руда, или хромосвинцовая соль (крокоизит) $PbCrO_4$, была для Вокелена источником для открытия хрома, которому он придал его название (от греческого слова — краску) по причине ярких цветов, свойственных соединениям этого элемента; соли CrO_3 желтого и красного, Cr_2O_3 зеленого и фиолетового цветов».
Д. И. Менделеев. Основы химии



Кристаллы металлического хрома

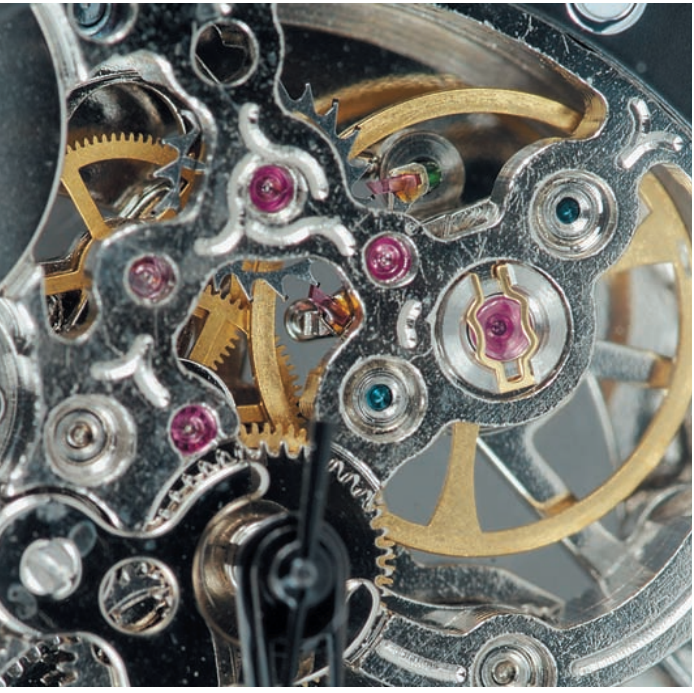
Хром

В 1766 г. в окрестностях Екатеринбурга нашли новый ярко-оранжевый минерал. Впоследствии его назвали крокоитом, из-за сходства по цвету с крокусом (шафраном). В 1797 г. французский химик Л. Н. Воклен выделил из крокоита блестящий металл. Он назвал его хромом, (от *греч.* chroma — «цвет»).

Это название он выбрал, потому, что изучая минерал, Воклен получил из него ряд яркоокрашенных соединений. Окраску имеют почти все соединения хрома: оксиды окрашены в зеленый, черный и красный цвета, гидратированные соли — в зеленый и фиолетовый, а хроматы и дихроматы — в желтый и оранжевый.

Крокоит оказался хроматом свинца. Из синтетического хромата стали делать замечательную художественную краску — хром желтый. Однако со временем ее применение запретили из-за ядовитости.

Мировое производство хрома в 2012 г. составило около 9 млн тонн. Много хрома расходуется на выплавку нержавеющей стали. Хромирование применяют для защиты металлов от коррозии и для декоративной отделки поверхности, например бамперов автомобилей.



Искусственные рубины в часах

Минерал крокоит

Знак Ордена Сантьяго-де-Компостела. 1670–1679 гг. Изумруд

Хромировать можно не только металлы, но и пластики. Из сплава хрома с никелем — нихрома — делают раскаляемые током нагревательные элементы для электроплиток, тостеров и др.

Ионы хрома придают бесцветному бериллу красивый зеленый цвет; именно так образуются драгоценные изумруды. А бесцветный корунд эти же ионы превращают в рубин. Искусственные рубины синтезируют в больших количествах, они применяются в оптических лазерах (излучают красный свет), из них сделаны миллиарды подшипников для механических часов. Содержащие хром соли используются для дубления кож; отсюда и выражение «хромовые сапоги».

В микроколичествах хром — биологически активный элемент, он участвует в обмене веществ и должен поступать в организм с пищей. В малых количествах ионы хрома усиливают действие инсулина и потому помогают регулировать концентрацию глюкозы в крови. В теле среднего человека содержится около 7 мг хрома. В то же время такие соединения хрома, как растворимые хроматы и дихроматы, высокотоксичны и канцерогенны. Доза 0,2 г вызывает отравление, а смертельная доза — примерно 3 г.

Безводный хлорид хрома

42
Mo
Молибден
95,94

Кларк, г/т	1,2
Плотность, г/см³	10,22
t плавления, °C	2623

«Два аналога хрома, молибден и вольфрам (или тунгстен), встречаются в природе еще реже, чем хром... Оба металла тугоплавки... Молибден представляет порошок серого цвета, едва спекающийся в сильнейшем жару... Щелочи в растворе не действуют на молибден, а при сплавлении выделяют водород, что показывает, как и весь характер молибдена, кислотные его свойства. Таковы же почти свойства и вольфрама: он не плавится в жару, имеет серый железный цвет, весьма тверд, так что даже режет стекло».
Д. И. Менделеев. Основы химии

Металл молибден

Микроколичества молибдена используются для подкормки сельскохозяйственных растений

Молибден

По-гречески molybdos — «свинец», отсюда латинское molibdaena — так в Средние века называли минералы галенит (сульфид свинца) и молибденит (дисульфид молибдена). Так же называли похожие минералы, оставлявшие черный след на бумаге, в том числе свинец и графит.

В 1778 г. знаменитый шведский химик К. В. Шееле выделил из молибденового блеска новый металл. Вообще, современники говорили о Шееле, что он не может дотронуться ни до одного вещества, чтобы при этом не сделать какого-либо открытия. Шееле открыл и описал много неорганических и более половины известных в то время органических соединений! Открытый им новый металл по предложению Й. Я. Берцелиуса назвали молибденом.

Достаточно очищенный молибден получил в 1781 г. шведский химик Петер Якоб Хьельм (1746–1813). Молибден — довольно редкий элемент; в минералах он обычно соседствует со свинцом или кальцием. Добывают его в основном из молибденита. Мировое производство молибдена в 2012 г. составило 250 тысяч тонн.

Молибден применяется в химической промышленности как катализатор. Многие ферменты содержат молибден. У азотфиксирующих бактерий молибден входит в состав фермента, связывающего атмосферный азот и превращающего его в усвояемые растениями вещества. У человека недостаток молибдена приводит к ослаблению иммунитета. В организме человека содержится около 10 мг молибдена.

Вольфрам

Немецким рудокопам издавна была известна руда, которую из-за тяжести часто принимали за оловянную. Однако из нее не удавалось выплавить ни олово, ни другие металлы.

Как потом выяснилось, это была смешанная соль железа и марганца вольфрамовой кислоты; сейчас этот минерал называется вольфрамитом. Подозрительное отношение горняков к еще одной «дьявольской» руде отразилось и на ее названии: Wolf по-немецки — «волк». А что такое «рам»? Если исходить из древнегерманского Ramm — «баран», то получается, что нечистая сила «пожирает» предполагаемое олово как волк барана. Но можно предположить и другое: в некоторых диалектах немецкого языка и сейчас есть глагол rahm (читается «рам»), который означает «снимать сливки», «брать себе лучшую часть».

В большинстве европейских языков используют знак W в формулах и название минерала вольфрамита; в остальных случаях его называют — tungsten (по-шведски tung sten — «тяжелый камень»). Так когда-то Й. Я. Берцелиус назвал тяжелый минерал, в котором шведский химик К. В. Шееле открыл в 1781 г. вольфрам. Сначала он выделил его в виде оксида, а затем получил и сам металл. Потом этот минерал (вольфрамат кальция) в честь ученого назвали шеелитом. В промышленности вольфрам получают из шеелита и вольфрамита. Вольфрам — один из самых тяжелых металлов: его плотность почти не отличается от плотности золота. Из карбида вольфрама делают бронебойные сердечники пуль и артиллерийских снарядов.

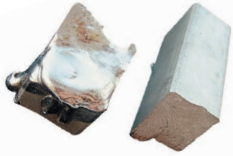
Вольфрам — самый тугоплавкий из всех металлов, из него изготовляют спирали ламп накаливания, электроды для рентгеновских трубок, а также сопла ракетных двигателей. Инструментальная быстрорежущая сталь содержит вольфрам наряду с ванадием и молибденом. Нужен он и для того, чтобы мобильный телефон мог вибрировать за счет маленького, но тяжелого грузика-эксцентрика.

Победит — сплав карбида вольфрама с 10% кобальта по твердости близок к алмазу. Из подобных сплавов делают головки буров, наконечники сверл.

Химически вольфрам — малоактивный металл. Он растворяется только в царской водке и в смеси плавиковой и азотной кислот. Более половины добываемого вольфрама идет на получение его карбида — соединения с углеродом. Это исключительной твердости вещество было случайно обнаружено французским химиком А. Муассаном.

74
W
Вольфрам
183,84

Кларк, г/т	1,25
Плотность, г/см³	19,25
t плавления, °C	3422



Два бруска из вольфрама. Левый расплавился и потек под действием мощного электронного пучка

Молибден хорошо впаивается в стекло, поэтому из него делают подвески для вольфрамовых нитей в лампах накаливания

Группа марганца

25
Mn
Марганец
54,94

Кларк, г/т	950
Плотность, г/см³	7,47
t плавления, °C	1246

«Марганец принадлежит к числу металлов, широко распространенных в природе... Под весьма незначительными влияниями раствор марганцовокалиевой соли подвергается весьма значительному изменению в цвете, отчего эта соль и получила от Шееле название минерального хамелеона».
Д. И. Менделеев. Основы химии

Марганец

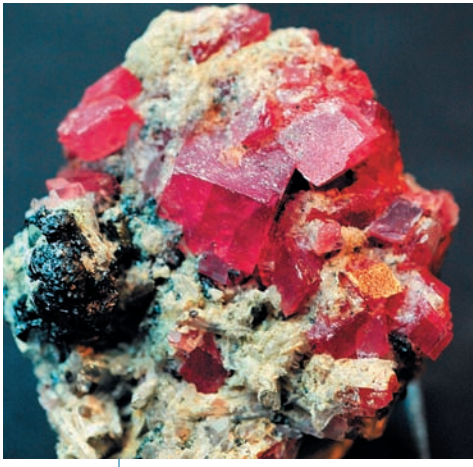
С древних времен был известен черный минерал magnetis lithos — магнитный железняк. По составу это оксид железа.

Римский естествоиспытатель Плиний Старший (23–79 гг. н. э.) использовал термин magnetis (или magnes) для обозначения минерала черного цвета, который, однако, не обладал магнитными свойствами. Объяснение Плиния разных свойств внешне похожих минералов для нас неожиданны. Поскольку сила, в том числе и магнитная, — это «мужское начало», то черный магнитный минерал «мужского рода». А немагнитный черный камень, соответственно, «женского рода». Позднее черный немагнитный минерал назвали пиролюзитом. И сейчас пиролюзит (диоксид марганца) — главный минерал, из которого получают марганец. Его название происходит от *греч.* pyr — «огонь» и lysis — «чистка». Еще древнеегипетские и римские стекловары использовали этот черный минерал для обесцвечивания стекла. И лишь в наше время этому нашли объяснение: стекло, получаемое из обычного песка, имеет зеленый («бутылочный») цвет. А пиролюзит придает стеклу фиолетовый оттенок, дополнительный к зеленому. Так что при правильном соотношении компонентов стекло кажется неокрашенным.

Алхимики пиролюзит называли по его цвету magnesia nigra, т. е. черная магнезия. В Средние ве-

Родохрозит — марганцевый шпат

ка при переписывании рукописей magnes превратился сначала в mangnes, потом в manganes. В 1774 г. шведский химик К. В. Шееле предсказал существование в пиролюзите нового элемента. В том же году соотечественник Шееле химик и минералог Юхан Готлиб Ган (1745–1818) выделил из пиролюзита новый металл. Однако за несколько лет до Гана, в 1770 г., австрийский химик Игнатий Готфрид Кайм (1746–1778) опубликовал диссертацию, в которой описал восстановление пиролюзита углем с образованием хрупкого металла. Ранняя смерть помешала ему закончить исследование и заявить о приоритете. Его диссертация осталась неизвестной химикам того времени.



Кристаллы родохрозита окрашены в розовый цвет благодаря присутствию марганца

Название manganes для нового элемента предложил в 1808 г. Филипп Карл Буттманн (1764–1829). Он был не химиком, а известным в свое время немецким филологом; в 1792 г. он издал «Греческую грамматику», получившую широкую известность. Термин manganes закрепился в том или ином виде в европейских языках (*англ.*, *франц.*, *итал.* manganese, *исп.* manganeso, *нем.* Mangan, *голл.* mangaan). Законы русского языка превратили сочетание «нг» в «рг» — так из «манганца» появился «марганец». В 1808 г. Дэви открыл магний, название которого имеет то же происхождение, что и «марганец», но произведено не от черной, а от белой магнезии.

В природе марганец редко встречается в свободном состоянии, но очень распространен в виде соединений — оксидов, сульфидов, карбонатов, силикатов и др. В земной коре марганца в несколько раз больше, чем, например, серы или углерода. Геологам известны десятки минералов марганца. Некоторые из них очень красивы и используются как поделочный камень. Так, розовым родонитом (силикат марганца) украшен вестибюль станции московского метро «Маяковская». Диоксид марганца и сейчас применяется при изготовлении стекла, а также (в смеси с угольным порошком) при производстве марганцево-цинковых гальванических элементов; в них он служит так называемым деполяризатором, увеличивающим напряжение на электродах.

Кольцо с псиломеланом — рудой марганца

Вскоре после открытия марганца было установлено, что уже небольшие добавки этого металла значительно увеличивают прочность и гибкость стали. Этим в 1850 г. воспользовался английский промышленник Генри Бессемер (1813–1898), когда разработал носящий его имя способ производства дешевой высокока-

Дендриты псиломелана на мраморе

чественной стали. Ее получению препятствовали примеси серы и кислорода, которые делают сталь хрупкой и трудно обрабатываемой. Оказалось, что добавление марганца способствует удалению из стали серы и кислорода, которые переходят в шлак. Не удивительно, что 90% производимого в мире марганца расходуется в производстве стали. Мировое производство марганца в 2012 г. составило 16 млн тонн.

Одно из наиболее известных соединений марганца — «марганцовка», перманганат калия. Эта соль марганцовой кислоты обладает сильным окислительным и дезинфицирующим действием. Если провести ее восстановление в щелочной среде, получится зеленый раствор, а если в кислой — розовый. Это дало повод Шееле назвать перманганат хамелеоном.

Марганец не только присутствует в живых организмах, но и необходим для них. Атомы марганца входят в состав ряда ферментов, в том числе расщепляющих воду с выделением кислорода в процессе фотосинтеза в растениях. В организме человека содержится немного марганца: от 10 до 20 мг, однако число атомов марганца в этих количествах колоссально: порядка 10^{20}. Марганецсодержащие ферменты обеспечивают антиоксидантную защиту клеток; марганец нужен для образования здоровых хрящей и костей, он улучшает работу нервной системы, способствует усваиванию ряда витаминов, быстрому заживлению ран. Поэтому ежедневное поступление марганца с пищей должно составлять не менее 5 мг.

Технеций

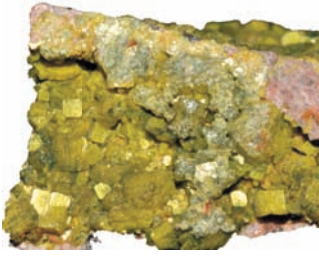
Существование элемента № 43 предсказал Д. И. Менделеев, оставив для него пустое место в своей таблице. Он назвал его экамарганцем, т. е. «первым аналогом марганца» (на санскрите «эка» — «один»), и правильно предсказал его свойства. Однако подтвердить эти предсказания не удавалось много десятилетий.

Вряд ли можно найти другой элемент, имеющий столько «ложных предшественников»: клетка периодической таблицы с № 43 последовательно «заполнялась» ильмением, девием, люцием, ниппонием, мазурием... Когда элемент № 43 наконец получили, оказалось, что поиски его в минералах обычными аналитическими методами были обречены на провал: технеций не имеет стабильных или радиоактивных изотопов, время жизни которых было бы сравнимо с возрастом Земли. Самый долгоживущий, ^{98}Tc, имеет период полураспада 4,2 млн лет. Ничтожные его количества в природе образуются в результате редкого процесса — самопроизвольного деления урана на осколки более легких элементов. Действительно, в 1961 г. американские химики П. К. Курода и Б. Т. Кенна показали, что в урановой руде содержатся миллиардные доли грамма (нанограммы) технеция в расчете на 1 кг урана. Это означает, что во всей земной коре содержится порядка 100 тонн технеция — ничтожное количество, которое исключительно трудно обнаружить даже с помощью современных методов.

Технеций стал первым элементом, который сначала был синтезирован и только потом найден в природе. История эта необычная: впервые технеций был получен в США, а доказано образование нового элемента было в Италии. Причем это не был заранее спланированный эксперимент. Произошло это так. На физическом факультете университета Палермо на Сицилии в те годы работал известный физик-экспериментатор, будущий лауреат Нобелевской премии Эмилио Джино Сегре (1905–1989). Летом 1936 г. он посетил с женой США. Там он уговорил создателя циклотрона Эрнеста Орландо Лоуренса (1901–1958) прислать ему для исследований облучавшуюся ядрами дейтерия молибденовую фольгу — часть отражателя циклотрона (назначение молибдена — выводить ускоренный пучок ионов наружу). Это был один из первых циклотронов диаметром всего 70 см, он находился в Радиационной лаборатории Кали-

43 **Tc** Технеций [98]

Кларк, г/т	следы
Плотность, г/см^3	11,5
t плавления, ^{0}C	2204



Урановая руда, которая может содержать остатки технеция

Технеций был сначала синтезирован, а потом найден в природе

Национальная лаборатория им. Лоуренса в Беркли (Калифорния), где был синтезирован технеций

форнийского университета. Лоуренс сдержал обещание, и после окончания серии своих экспериментов он в начале 1937 г. отправил эту фольгу в Палермо (сейчас такая посылка была бы немедленно задержана на таможне из-за ее радиоактивности). И уже в Италии в облученном молибдене Сегре и его коллега химик Карло Перье (1886–1948) обнаружили два изотопа нового элемента. Их идентифицировали по периодам полураспада; это были ^{95}Tc и ^{97}Tc. Название нового элемента происходит от **греч.** technetos — искусственный.

Впервые весовые количества технеция были получены в США во второй половине 40-х гг. в результате облучения 5,7 кг молибдена (сосед технеция по периодической таблице) нейтронами в ядерном реакторе. В настоящее время технеций в основном выделяют из смеси продуктов деления урана-235 в отработанном ядерном топливе. При полном распаде 1 г ^{235}U образуется 27 мг ^{99}Tc с периодом полураспада 211 тысяч лет. В реакторе

мощностью 285 МВт ежедневно образуется 8 г технеция, т. е. 3 кг в год. Ежегодно в ядерных реакторах во всем мире образуются сотни килограммов технеция. В результате довольно много технеция, порядка 1,5 т, уже попало (и продолжает попадать) в окружающую среду. Это происходит в основном при переработке ядерного топлива и в результате ядерных испытаний. Полностью исчезнет этот технеций только через много миллионов лет.

Большое время жизни ряда изотопов технеция позволило хорошо изучить свойства этого элемента. Технеций — тугоплавкий серебристо-серый металл, немного тяжелее свинца. Во влажном воздухе постепенно тускнеет. По своим химическим свойствам технеций — аналог марганца и рения.

Образец синтетического металлического технеция

Химия технеция подробно изучена с целью применения этого элемента в ядерной медицине. Каждый год во всем мире с одним из изотопов технеция (период полураспада 6 часов) проводят свыше 20 млн радиографических исследований. Известны десятки препаратов, содержащих этот изотоп технеция. Их применяют для исследований мозга, сердца, щитовидной железы, легких, печени, желчного пузыря, почек, костей скелета, крови, а также для диагностики опухолей. Например, комплекс технеция с пирофосфатом концентрируется преимущественно в костях. Идущее из организма излучение сигнализирует, где именно осели молекулы, меченные радиоактивным технецием. Через несколько часов после введения препарата в вену регистрируют гамма-излучение технеция из различных точек организма, и строится компьютерное изображение.

Радиоактивный технеций получают прямо в клинике: он непрерывно образуется из радиоактивного молибдена-99, который образуется в результате облучения в ядерном реакторе нейтронами стабильного ^{98}Mo, а затем его доставляют в клинику. Период полураспада ^{98}Mo около трех суток, и этого достаточно, чтобы работать с ним в течение недели и извлекать из него (в английском языке в таких случаях используется термин to cow — выдаивать) нужный изотоп технеция.

Рений

75	
Re	
Рений	
186,21	

Кларк, г/т	0,0007
Плотность, г/см³	21,02
t плавления, °C	3182

Если технеций — первый искусственно полученный элемент, то рений — последний стабильный элемент, найденный в природе. Рений, вероятно, является самым редким нерадиоактивным элементом земной коры. Существование рения предсказал Д. И. Менделеев, назвав элемент в пустой тогда клеточке его таблицы двимарганцем, т. е. «вторым аналогом марганца» (первым был технеций).

Заявили об открытии нового элемента в 1925 г. немецкие химики Ида Такке (1896–1978) и Вальтер Карл Фридрих Ноддак (1893–1960); в работе принимал участие ассистент Ноддака Отто Берг (1873–1939). Новый элемент назвали в честь Рейнской провинции в Германии — родины Иды Такке. В том же году состоялась свадьба Вальтера и Иды, которая взяла фамилию мужа.

Для идентификации нового элемента в обогащенном образце платиновых металлов был использован метод рентгеновской спектроскопии; в данном случае он аналогичен спектроскопии в видимом диапазоне: каждый элемент излучает неповторимый спектр рентгеновских лучей. Однако в других лабораториях не смогли подтвердить это открытие. И лишь в 1927 г. группе под руководством Ноддака удалось получить весовые количества рения —

На вершине вулкана Кудрявый на острове Итуруп Большой гряды Курильских островов, в местах выхода вулканического газа, нашли новый минерал — рениит. Внешне он напоминал молибденит, но оказался сульфидом рения. Содержание рения в нем достигает 80%. Эта находка открывает возможность промышленного использования рениита для получения рения

120 мг. Спустя год, переработав 700 кг молибденовой руды, они выделили уже больше грамма рения.

Рений — один из самых тяжелых металлов; он тяжелее золота и уступает лишь трем металлам платиновой группы. А по тугоплавкости рений уступает только вольфраму. Несмотря на редкость, рений имеет широкое применение. Сплавы с добавкой рения исключительно жаростойкие, из них делают детали ракетных двигателей и лопатки газовых турбин, работающих при очень высоких температурах — выше 1000 °С! Рений — прекрасный катализатор процессов переработки нефти. Мировое производство рения в 2012 г. составило 52 тонны. Цена 1 кг рения колеблется от 1000 до 10 тысяч долларов в зависимости от чистоты. То есть рений все же на порядок дешевле золота.

Рений — тяжелый тугоплавкий металл

Триада железо — кобальт — никель

Девять элементов, следующие в периодической таблице за группой марганца, удобно рассмотреть не «по вертикали», а «по горизонтали» — так называемыми триадами, в которые входят элементы с близкими физическими и химическими свойствами. Недаром шесть элементов в двух триадах объединяют термином «платиновые металлы». Как писал Д. И. Менделеев в своем классическом учебнике, «...атомные веса Fe, Co и Ni, Ru, Rh и Pd, Os, Ir и Pt очень близки между собою, но и свойства их очень близки, различия иногда едва уловимы... Шесть металлов: рутений Ru, родий Rh, палладий Pd, осмий Os, иридий Ir и платина Pt — встречаются вместе в природе всегда с преобладанием платины, отчего и называются платиновыми металлами... Эти металлы встречаются в природе почти исключительно в самородном состоянии».

26 **Fe**
Железо
55,85

Кларк, г/т	56300
Плотность, г/см³	7,87
t плавления, °C	1538

«Железо принадлежит к числу элементов, значительно распространенных не только в массе земной коры, но и во всей вселенной».
Д. И. Менделеев. Основы химии

Железо

Происхождение слова «железо» доподлинно неизвестно; по одной из версий, оно родственно слову «лезвие».

Название этого металла звучит похоже во многих славянских и балтийских языках: *укр.* залізо, *белорус.* жалеза, *болг.* желязо, *польск.* żelazo, *литов.* geležies и др. Европейские iron (*англ.*), Eisen (*нем.*), ijzer (*голл.*; читается «эйзер») происходят от санскритского isira — «крепкий, сильный». Латинское слово ferrum означает не только «железо», но также «твердость» и «оружие»; от него произошли названия железа в ряде европейских языков: *франц.* fer, *итал.* ferro, *исп.* hierro, а также такие термины, как «ферриты», «ферромагнетизм» и др.

Железо — самый важный металл для человека, второй по распространенности в земной коре и первый на земном шаре в целом. С железом человек познакомился в незапамятные времена, встретив его впервые в виде редких железных самородков метеоритного происхождения (железные метеориты встречаются в 20 раз реже, чем каменные). Метео-

ритное железо обычно содержит от 5 до 30% никеля, около 0,5% кобальта и до 1% других элементов. Найдено много сотен железных метеоритов, самый крупный из которых — Гоба, который упал в Африке на территории современной Намибии 80 тысяч лет назад. Тогда он весил 66 тонн, сейчас — только 60: постарались любопытные путешественники, каждый из которых откалывал по кусочку, пока уникальный метеорит не взяли под охрану. Гоба содержит 84% железа и 16% никеля.

Минерал пирит — железный колчедан — самый распространенный сульфид в природе

Два осколка железного метеорита массой 256 кг, упавшего на Дальнем Востоке, хранятся в метеоритном музее Российской академии наук. Тысячи осколков огромного (масса от 60 до 100 тонн) Сихотэ-Алинского метеорита выпали «железным дождем» в 1947 г. в Приморском крае на площади 35 км^2. Самородное железо земного происхождения (оно обычно встречается в виде мелких зерен) содержит не более 2% никеля и десятые доли процента других металлов. Это очень редкий минерал. Самородное железо в мелко раздробленном состоянии было найдено и на Луне.

Когда в I тысячелетии до н. э. бронзовый век сменился железным, этот металл ценился очень высоко. В «Илиаде» Гомера победитель соревнования на самый дальний бросок куска железа получал в награду много этого металла. Из него можно было сделать оружие, а также топор, пилу и другие инструменты, которые были лучше бронзовых.

Но добыть железо было трудно. Хотя этого металла в земной коре очень много, он прочно связан в рудах с кислородом, а иногда с серой. Кроме того, чистое железо плавится при температуре, которую не могли дать древние печи. В них получали так называемую крицу — железо в виде губки с примесями из руды. Крицу ковали, при этом железо частично отделялось от руды.

Пирит на раковине моллюска

Железо содержится во многих минералах, но не все из них имеют промышленное значение. Самый богатый железом минерал — магнитный железняк (он же магнетит), содержащий 72,3% железа. Более 2500 лет назад древнегреческий философ Фалес Милетский (VII–VI вв. до н. э.) изучил образцы черного минерала, притягивающего железо. Он назвал его magnetis lithos — камень из Магнесии, гористой местности в Фессалии, восточной части Северной Греции. Это была знаменитая местность: мифический Ясон соорудил там корабль Арго, оттуда под Трою водил

корабли друг Геракла Филоктет. От Магнесии произошло название магнита. Сейчас известно, что это был магнитный железняк — черный оксид железа.

Одна из важнейших руд железа — гематит (69,9% железа). Другое название этого минерала — красный железняк, а старинное народное название — кровавик. Такой цвет он имеет в тонких слоях или размолотый в порошок. От *греч.* haima (род. падеж haimatos) — «кровь» (отсюда и гем, и гемоглобин, и другие слова, связанные с кровью).

Богатой считается руда, содержащая более 50% железа.

Минерал пирит (железный колчедан, дисульфид железа) в настоящее время не имеет промышленного значения, но его латунно-желтые кристаллы бывают очень красивы. Они тяжелые и блестят как золото; недаром у этого минерала есть народное название «золото дураков». Название пирита происходит от *греч.* pyrites lithos — «огненный камень»: при ударе о сталь из пирита вылетают искры. Типичная огранка природных кристаллов пирита — куб или пентагондодекаэдр, фигура с 12 гранями в форме неправильных пятиугольников.

Если в выплавленном железе больше 2% углерода, получается чугун. Он плавится на сотни градусов ниже, чем чистое железо. Хрупкий чугун нельзя ковать, но из него можно отливать различные изделия. Чугун в огромных количествах выплавляют из железной руды в доменных печах. Его используют для отливки тяжелых станин для станков, памятников, решеток и оград. Но основная масса чугуна перерабатывается в сталь. Для этого из чугуна «выжигают» значительную часть углерода и других примесей. Делают это в специальных печах — конвертерах или в мартеновских.

Сталь очень тверда и вместе с тем гибка. Именно из стали с разным содержанием углерода и сделаны все «железные» предметы — от рельсов до гвоздей. Если углерода в железе мало, получают довольно мягкую низкоуглеродистую сталь. Такая сталь, в отличие от высокоуглеродистой, не дает искр на точильном круге. Вводя в сталь легирующие примеси других элементов, получают различные сорта специальных сталей, которых известно огромное множество. И каждая сталь имеет свое применение.

Одна из самых известных — нержавеющая сталь, она содержит хром и никель. Из не-

Топорик, изготовленный из железа

Метеорит Гоба из Юго-Западной Африки

ржавеющей стали делают столовую посуду, аппаратуру для химических заводов. Если ввести в сталь 18% вольфрама, 4% хрома и 1% ванадия, получится быстрорежущая сталь. Сверла, наконечники резцов из такой стали сохраняют свою твердость до температуры красного каления. Если сплавить железо с 1,5% углерода и 15% марганца, получится такая твердая сталь, что ее невозможно механически обработать, детали из нее можно только отливать. Из такой стали делают зубья экскаваторов, ножи бульдозеров. Сталь, содержащая 36% никеля, 0,5% марганца и 0,5% углерода (она называется инваром), почти не расширяется при нагревании. Из нее делают точные приборы, в том числе некоторые детали часов. Если в стали 46% никеля и 0,15% углерода, то такая сталь (она называется платинитом) расширяется при нагревании так же, как и стекло. Спай платинита со стеклом не растрескивается, поэтому его используют при изготовлении электрических ламп. Многие специальные сорта стали выплавляют в электропечах. Раньше железо редко использовалось для чеканки монет. Из стали в настоящее время для экономии чеканят все российские монеты, предназначенные для обращения. Самые мелкие и 10-рублевые покрывают латунью, монеты номиналом 1, 2 и 5 рублей покрыты никелем.

Чистое железо притягивается магнитом, но само не намагничивается. Такое железо подходит для изготовления сердечников электромагнитов. Намагнитить можно лишь углеродистую сталь. Нержавеющая сталь сама не намагничивается и к магниту не притягивается.

Ежегодно в мире выплавляют более миллиарда тонн железа. Но есть у этого металла страшный

Латунно-жёлтые кристаллы пирита напоминают золото

враг — коррозия. Она ежегодно уничтожает до 10% выплавляемого металла, т. е. десятки миллионов тонн. При коррозии железо реагирует с кислородом и водой, превращаясь в ржавчину. Коррозия не просто уничтожает металл, на выплавку которого были затрачены огромные усилия, она выводит из строя готовые изделия, стоимость которых выше стоимости самого металла. Коррозия не щадит ни миниатюрные точные детали, ни огромные мосты.

Железо необходимо живым организмам. Тело взрослого человека содержит примерно 4 г железа, оно присутствует в каждой клетке организма. Основная часть железа входит в состав красного пигмента крови — гемоглобина. Гемоглобин играет важнейшую роль в жизнедеятельности, так как служит переносчиком кислорода от органов дыхания к тканям организма, а в обратном направлении переносит диоксид углерода. Железо содержится также в мышцах, печени и селезенке. Ежедневно человек должен получать с пищей около 15 млг железа. Недостаток железа приводит к тяжелому заболеванию — железодефицитной анемии, при которой происходят нарушения скелета, функции центральной нервной и сосудистой систем, наблюдается гипоксия (недостаток кислорода) в тканях. При недостатке железа в организме врачи назначают специальные препараты — в них железо находится в легко усвояемом виде.

27 **Co**

Кобальт

58,93

Кларк, г/т	25
Плотность, г/см^3	7,19
t плавления, °C	1907

Кобальт

В XV в. в Саксонии среди богатых серебряных руд обнаружили блестящие, как сталь, белые или серые кристаллы, из которых не удавалось выплавить металл; при их обжиге выделялись ядовитые пары (это был летучий оксид мышьяка). Примесь таких кристаллов к серебряной или медной руде также мешала выплавке этих металлов. «Нехорошая» руда получила у горняков имя горного духа Кобольда.

Вероятно, имя этого злого духа восходит к *греч.* kobalos — «дым»; дым образуется при обжиге руд, содержащих сульфиды мышьяка. В 1735 г. шведский химик и минералог Георг Бранд (1694–1768) сумел все же выделить из такой руды не известный ранее металл, который и назвал кобальтом. Он выяснил также, что соединения именно этого элемента окрашивают стекло и глазурь на керамике в синий цвет — этим свойством пользовались еще в древности в Ассирии и Вавилоне.

Кобальт — серебристо-белый металл

Минералы кобальта редки. Его добывают как побочный продукт при переработке никелевых и медных руд. Металлический кобальт — ферромагнетик, из него можно сделать постоянный магнит. При этом он обладает рекордно высокой точкой Кюри: теряет магнитные свойства только при нагреве выше 1130 °С. Считалось, что в земной коре этот элемент встречается только в виде соединений. Но в 2007 г. в осадочных породах, поднятых со дна Плещеева озера, были найдены крупинки очень чистого (более 99%) самородного кобальта размером 0,15 мм. Вероятно, он имеет внеземное происхождение и попал на Землю с космической пылью (ежегодно на Землю падает в среднем до 100 млн тонн космической пыли — продуктов сгорания в атмосфере метеоров и метеоритов).

Кобальт применяют в виде сплавов, работающих при высоких температурах, а также для изготовления мощных постоянных магнитов. Один из них, сплав железа с алюминием, никелем и кобальтом, назвали по этим металлам алнико. Он используется в электродвигателях. Еще более сильные магниты получаются из сплава кобальта с самарием: такой магнит, умещающийся на ладони, способен удержать легковой автомобиль!

В природе кобальт представлен только одним стабильным изотопом, ^{59}Co. Если же в ядре кобальта будет на один нейтрон больше, получится кобальт-60 с периодом полураспада 5,3 года, испускающий гамма-лучи высокой энергии. По активности 1 г ^{60}Co превосходит 1 кг радия! Гипотетическая кобальтовая бомба — это атомная бомба небольшой мощности с оболочкой из обычного ^{59}Co, который

Скуттерудит — минерал кобальта и никеля

при взрыве под действием нейтронов превращается в ^{60}Co. Считается, что достаточно небольшого количества таких бомб, чтобы уничтожить все живое на планете. К счастью, радиоактивный кобальт-60 применяется только в мирных целях.

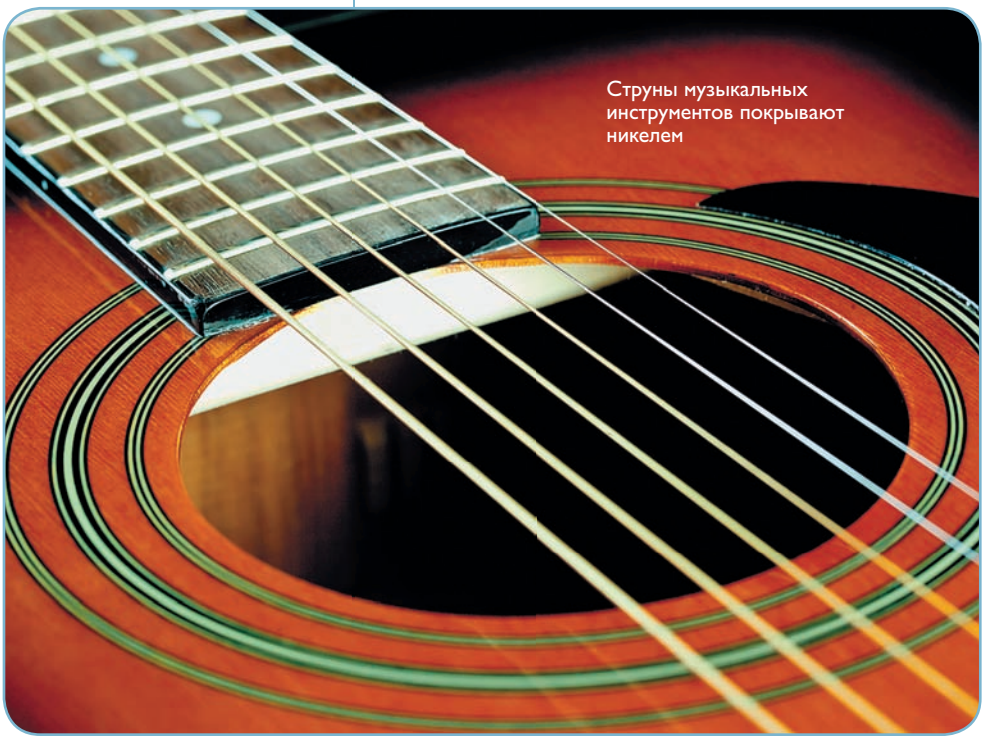
Без кобальта не могут существовать животные: атомы этого элемента входят в состав витамина B_{12}. В то же время в больших количествах кобальт обладает канцерогенным действием. Токсическая доза составляет 0,5 г, смертельная — более 2 г. Содержание кобальта в организме среднего человека — около 15 мг.

28 Ni
Никель
58,69

Кларк, г/т	84
Плотность, г/см³	8,90
t плавления, °C	1455

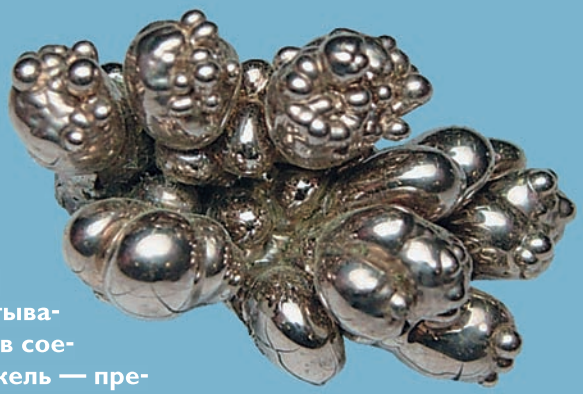
Никель

Происхождение названия этого элемента сходно с кобальтом. В Средние века рудокопы немецкого города Шнееберга обнаружили красновато-бурую руду, напоминающую медную. Ее применяли в стекловарении для окрашивания стекол в зеленый цвет. А вот медь из этой руды никому получить не удавалось. Горняки назвали эту руду купферникелем (от *нем.* Kupfer — медь), то есть «чертовой медью», «фальшивой медью» — по имени злого горного духа или гнома Никеля.



Струны музыкальных инструментов покрывают никелем

Никель — тёмно-серый блестящий металл



«Никель и кобальт столь же неразлучные спутники, как железо и марганец, а в метеоритах Ni сопровождает Fe... Кобальт перерабатывается преимущественно в соединения кобальта, а никель — преимущественно в металл, который ныне часто применяется в сплавах, например с железом (никелистая сталь), в никелевой разменной монете многих европейских государств и для покрытия других металлов, потому что Ni не окисляется на воздухе... Красивый цвет никеля, блестящая политура, которую он может принимать и которую сохраняет на воздухе, потому что не окисляется, делают этот металл пригодным на многие изделия и во многом сходным с серебром... Сплавы никеля характеризуются свойствами, делающими их драгоценными для практики: из них особенно замечателен сплав никеля с железом. В природе такой сплав встречается в метеорном железе. Палласовская масса метеорного железа... выпавшая в Сибири в прошлом столетии, весит около 50 пудов, содержит на 88% железа около 10% никеля».
***Д. И. Менделеев.* Основы химии**

Никелем покрывают детали автомобилей и мотоциклов

Пять центов, США, 1880 г.

Впоследствии медно-красные кристаллы этого минерала назвали никколитом, или же красным никелевым колчеданом. В 1751 г. эту руду исследовал шведский минералог Аксель Фредерик Кронстедт (1722–1765). Растворив ее в кислоте, он получил зеленый раствор, тоже похожий на растворы некоторых солей меди. Однако в отличие от медных солей железо не вытесняло из такого раствора медь. Ему все же удалось выделить из этого раствора металл, который оказался белым, а не красным, как медь. Кронстедт назвал новый элемент купферникелем или, для краткости, просто никелем.

В земной коре никеля немного, частично он попал в нее с метеоритами, которые бомбардировали планету миллиарды лет. Известно более двух десятков минералов никеля. В них он связан с серой, мышьяком, сурьмой, кремнием; некоторые минералы никеля содержат железо. Чистый никель, как и его соседи по триаде, ферромагнитен, т. е. его можно намагнитить. Выплавляемый из руд никель в огромных количествах идет на производство нержавеющей стали; на это расходуется более половины добываемого в мире никеля. Много никеля расходуется для никелирования стальных изделий. Блестящие никелированные детали не только выглядят красиво; тончайший слой никеля защищает сталь от коррозии. Покрывают никелем и пластмассы.

Никель — прекрасный катализатор ряда химических превращений. Например, в его присутствии жидкие растительные масла поглощают водород и превращаются в твердые жиры. Мировое производство никеля в 2012 г. составило почти 1,9 млн тонн.

Интересно, что никель и медь дают замечательный сплав — мельхиор, из которого во всем мире отчеканены многие миллиарды монет (в России из

медно-никелевого сплава до 2009 г. чеканили рублевые и двухрублевые монеты). А в США традиционно пятицентовые монеты из такого сплава, содержащего 75% меди, называют «никелями» (nickels). Из чистого никеля раньше чеканили 50-франковые бельгийские монеты. До введения евро никель составлял четверть всего монетного металла в Европе. Однако уже давно было замечено, что кассиры, имевшие дело с большим количеством монет, нередко заболевали экземой. Это была аллергическая реакция на содержащийся в монетах никель. Подвержены такой аллергии чаще всего женщины.

Коррозионностойкий сплав меди, никеля и цинка называется нейзильбером (по-немецки «новое серебро»), хотя серебра в нем совсем нет. Этот дешевый сплав широко используется для изготовления медицинских инструментов, деталей приборов, орденов и медалей, ювелирных изделий, некоторых музыкальных инструментов, столовых приборов (в последнем случае изделия серебрят).

Биологическая роль никеля до конца не выяснена. Известно, что в микродозах он необходим, так как принимает участие в некоторых ферментативных реакциях. Но в повышенных дозах никель токсичен. В организме среднего человека содержится всего 1 мг никеля.

Гарниерит — редкий минерал магния и никеля

Триада рутений—родий—палладий

44
Ru
Рутений
101,07

Кларк, г/т	0,001
Плотность, г/см³	12,36
t плавления, °C	2335

Рутений

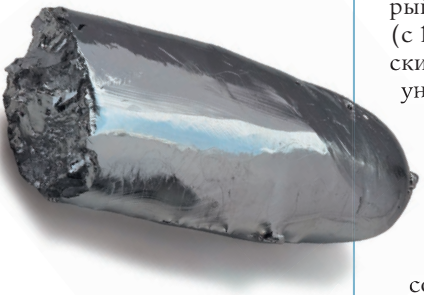
Рутений открыл в 1844 г. профессор Казанского университета Карл Карлович Клаус (1796–1864) при анализе присланных ему из Петербурга отходов от переработки сырой уральской платины. Из этой самородной платины на монетном дворе извлекали платину для чеканки монет, а отходы оставались невостребованными. Многие иностранные химики пытались найти в них новые элементы, но удалось это только Клаусу.

Однако, как это нередко бывает, первым об открытии заявил в 1828 г., задолго до Клауса, профессор Тартуского университета Готфрид Вильгельм Озанн (1797–1866). Более того, один из трех открытых им в сырой платине новых элементов он назвал рутеном! Однако Й. Я. Берцелиус, авторитет которого у химиков того времени был непререкаемым, не подтвердил полученные Озанном результаты. А тот не смог доказать свою правоту. Не подтвердил Берцелиус и данные Клауса! Но Клаус был опытным химиком; он сумел отстоять справедливость своих результатов и в конечном счете убедить Берцелиуса. Поэтому честь открытия рутения осталась за Клаусом.

Клаус назвал новый элемент в честь своей родины, используя термин Ruthenia. Так в средневековых европейских манускриптах обозначали область Восточной Европы, на которой сейчас расположены Белоруссия, Северная Украина, западные области России и небольшие территории Словакии и Польши. Клаус же родился в городе Дерпте, который с 1704 г. входил в состав Российской империи (с 1893 г. он назывался Юрьевом, а сейчас это эстонский город Тарту). Кстати, издательство Тартуского университета называется Ruthenia.

Как и другие платиновые металлы, рутений химически очень инертен. Он изредка встречается в природе в виде сплава с другими платиновыми металлами. В отличие от платины и палладия, рутений очень твердый и хрупкий, что затрудняет его обработку. Большинство его соединений токсичны и канцерогенны.

Слиток рутения

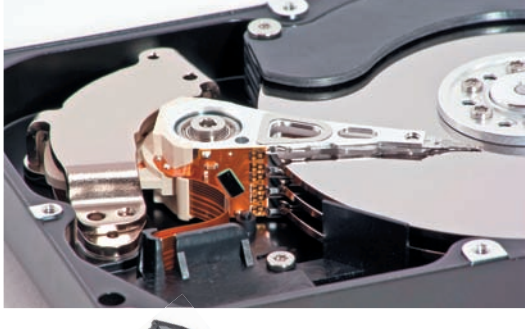


Зажим для галстука и подвеска с рутениевым покрытием

Сплавы рутения с платиной и палладием исключительно устойчивы к коррозии и износу, поэтому из них делают наиболее ответственные электрические контакты, не обгорающие при проскакивании искры. Очень тонким слоем рутения покрывают поверхность жестких дисков в некоторых компьютерах. Такое покрытие позволяет значительно увеличить плотность записи. Высокая жаропрочность сплавов рутения нашла применение в производстве ракетных двигателей.

Рутений и его сплавы оказались прекрасными катализаторами и широко используются в фармацевтической и химической промышленности, в том числе для синтеза аммиака из водорода и азота. В присутствии рутения оксид углерода (угарный газ) присоединяет водород и образует метиловый спирт — важнейшее сырье для получения множества продуктов. Неорганический краситель «рутениевый красный» используется в микроскопии для контрастного окрашивания препаратов биологического происхождения. Ряд соединений рутения эффективно преобразуют свет в электричество, что используется в солнечных элементах. В результате все увеличивающейся потребности в рутении его цена на мировых рынках за последние десятилетия значительно выросла. Получают рутений в качестве побочного продукта при добыче и очистке меди и никеля. В тонне полиметаллических руд содержится несколько граммов платины и палладия и всего несколько миллиграммов рутения, осмия, родия и иридия. Во всем мире в год получают около 25 тонн рутения.

Плотность записи увеличивается, если жесткий диск компьютера покрыт рутением



45 Rh
Родий
102,91

Кларк, г/т	0,001
Плотность, г/см³	12,42
t плавления, °C	1965

Родий

Родий открыл в 1803 г. английский химик У. Х. Волластон. Он растворил самородную южноамериканскую платину в царской водке, нейтрализовал избыток кислоты щелочью и после химического отделения платины и палладия у него остался розово-красный раствор. Из этого раствора Волластон и выделил новый металл. Его название указывает на цвет раствора: от *греч.* rhodon — «роза», rhodeos — «розово-красный». Тот же корень — в названии дерева рододендрона, минерала родонита (силиката марганца) и названия острова Родос.

Помимо платиновых руд, родий содержится также в золотоносных песках, в никелевых рудах. Главные поставщики родия — ЮАР и Россия. Еще недавно во всем мире производство родия исчислялось десятками килограммов в год, а сейчас приближается к 30 тоннам (что в сто раз меньше годовой добычи золота).

Родий применяется в производстве автомобильных каталитических конвертеров, очищающих выхлопные газы от ядовитых оксидов азота и углерода и от остатков несгоревшего топлива. На производство таких фильтров уходит более 80% всего родия. Сплав родия с платиной — катализатор окисления аммиака кислородом; так получают азотную кислоту — важнейший продукт химической промышленности. Родиевые катализаторы применяются также в нефтехимической и фармацевтической промышленности. Платиново-родиевые термопары широко используются для измерения высоких температур. Из сплава родия с платиной делают фильеры — пластинки с тончайшими отверстиями. Через эти отверстия продавливают расплавленную стеклянную массу и получают стеклянное волокно. Родиевые покрытия ювелирных изделий из серебра придают им яркий блеск, уменьшают износ и увеличивают твердость, защищая от царапин. Когда в 1979 г. Пол Маккартни был включен в Книгу рекордов Гиннесса как «самый выдающийся композитор всех времен и народов», ему был вручен диск, покрытый родием. В 2009 г. частный монетный двор в Нью-Йорке впервые отчеканил монеты из родия с пробой 999. На них изображен символ США — орел — и надпись «1 г родия». При этом производители специально отмечали, что стандартные способы чеканки монет не подходят для родия. Затем была выпущена монета, содержащая одну тройскую унцию (31,1 г) чистого родия. Такие монеты не являются законным платежным средством, но могут быть предметом инвестирования. Официальная монета с родием была отчеканена в 2012 г. тиражом всего 999 экземпляров.

Катализатор в автомобильном конвертере-нейтрализаторе изготовлен из сплава родия с платиной

Покрытие ювелирных изделий родием придает им блеск

Палладий

В 1802 г. немецкий астроном Генрих Вильгельм Ольберс (1759–1840) обнаружил в Солнечной системе новую малую планету (астероид), которую он назвал Палладой — в честь древнегреческой богини мудрости Афины Паллады. В 1804 г. английский химик У. Х. Волластон выделил не известный ранее металл из раствора неочищенной платины в царской водке. Он назвал его палладием в честь открытого ранее астероида. Как и другие металлы платиновой группы, палладий встречается в самородном виде, в том числе в виде сплава с платиной, а иногда с золотом и ртутью.

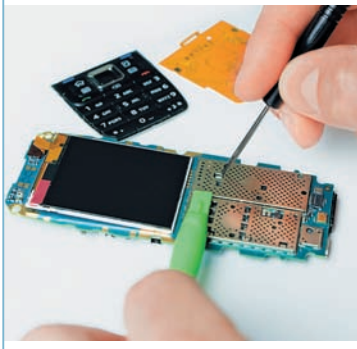
Получают палладий как побочный продукт при переработке медных, серебряных и никелевых руд. Палладий — прекрасный катализатор для разных химических реакций. Более половины добываемого палладия, как и родия, идет на производство каталитических конвертеров современных автомобилей. Применяют палладий также в качестве катализатора в нефтехимической (крекинг нефти) и пищевой (гидрирование растительных жиров) промышленности; для изготовления электрических контактов, высокоточных сопротивлений, керамических конденсаторов. Сплав палладия с золотом («белое золото») используют для изготовления ювелирных изделий, а из сплава палладия с серебром (25% палладия) делают зубные протезы, инертные по отношению к биологическим тканям. Более 10% палладия расходуется для изготовления конденсаторов, которые работают в мобильных телефонах и портативных компьютерах. Из палладия чеканят очень красивые юбилейные и памятные монеты.

Мировое производство палладия в 2012 г. составило 200 тонн, причем более половины производится в России. Цены на палладий, как и на другие драгметаллы, подвержены значительным колебаниям. В мае 2013 г. 1 г палладия на мировом рынке стоил 22 доллара, 1 г платины и золота — около 50 долларов.

Уникальное свойство палладия — растворять водород. Это обнаружил в 1866 г. шотландский химик Томас Грэм (1805–1869). Один объем палладия в виде губки растворяет при комнатной температуре 900 объемов водорода, а коллоидный палладий — 1200 объемов. При нагреве до 50 °С водород выделяется обратно. Этим свойством пользуются для очистки водорода от примесей: газ пропускают через тонкостенную раскаленную трубку из палладия или его сплава, при этом наружу выходит чистейший водород.

46 **Pd**
Палладий
106,42

Кларк, г/т	0,01
Плотность, г/см^3	12,00
t плавления, °С	1556



Электрические контакты изготавливают с применением палладия

Триада осми́й — иридий — платина

76	
Os	
Осмий	
190,23	

Кларк, г/т	0,0015
Плотность, г/см³	22,66
t плавления, °C	3045

Осмий

Осмий открыл в 1803 г. английский химик Смитсон Теннант (1761–1815). После растворения неочищенной платины в царской водке у него остался черный нерастворившийся порошок. Такой же порошок получали и другие химики, но считали, что это графит. Однако путем сплавления со щелочью с последующим добавлением воды этот осадок удалось частично растворить. Теннант доказал, что полученный щелочной раствор содержит новый элемент — осмий. В остатке же был еще один неизвестный элемент — иридий.

В природе осмий встречается в виде сплава с иридием (осмистый иридий или иридистый осмий — в зависимости от того, какой металл преобладает). Осмий всегда считался самым тяжелым металлом. Однако в последние годы конкуренцию ему составил иридий. Непосредственно измерить плотности этих металлов с высокой точностью трудно: малейшие примеси любого другого металла, от которых очень сложно избавиться, неизбежно приведут к ошибке. Кроме того, плотность металла зависит от деталей его кристаллического строения. Есть и теоретический метод: с помощью рентгеноструктурного анализа можно определить, как расположены атомы металла в пространстве и какие в точности между ними расстояния. После этого, зная точную атомную массу элемента, можно рассчитать его плотность. И оказалось, что прямое определение взвешиванием дает первенство осмию, а по расчету — чуть более тяжелый иридий. Но так и должно быть: атомы иридия тяжелее, чем атомы осмия (относительные атомные массы 191,22 и 190,23), и при этом атомы иридия упакованы более плотно (у этих металлов разная кристаллическая решетка). Если учесть, что плотности осмия и иридия отличаются на сотые доли процента, можно считать что оба металла имеют практически одинаковую плотность. При этом оба они ровно в два раза тяжелее свинца. При нормальных условиях плотность этих самых тяжелых простых веществ больше плотности самого легкого вещества — водорода — в 235 тысяч раз! Кубик осмия

Осмий — серебристо-серый тяжелый металл

или иридия массой 1 г имеет размер всего лишь 3,5 мм, тогда как 1 г водорода имеет объем 11,2 л.

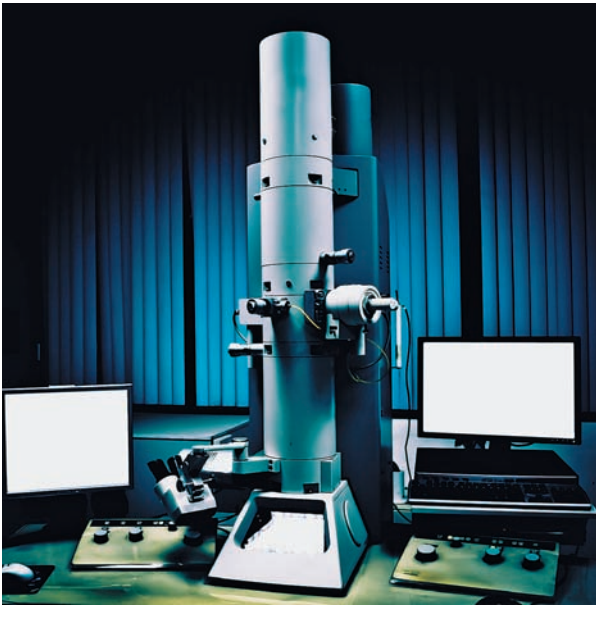
Осмий получают в качестве побочного продукта при добыче никеля. Но ввиду ничтожного его содержания в рудах во всем мире в год добывают всего около 1 тонны этого металла. Это очень мало: всю мировую добычу осмия за год можно представить в виде шара радиусом около 20 см.

По температуре плавления осмий занимает третье место среди всех металлов. Недаром в конце XIX — начале XX в. из него изготовляли нити для ламп накаливания. Однако вольфрам оказался и более тугоплавким, и легче обрабатываемым, и значительно более дешевым, поэтому он давно вытеснил осмий. В этой связи интересно, что название известной немецкой фирмы по производству светотехнической продукции OSRAM (она была основана в 1906 г.) составлено из немецких слов OSmium и WolfRAM.

Чистый осмий очень трудно обрабатывается. И применяется этот металл исключительно в виде сплавов с платиной, иридием, рутением. Из таких сплавов делают ответственные детали научных инструментов, оболочки для вживляемых имплантатов, например кардиостимуляторов, твердые наконечники для перьевых ручек (сейчас это производство почти сошло на нет). Используется осмий и в качестве катализатора в нефтехимической и фармацев-

Соединения осмия используют в криминалистике для проявления отпечатков пальцев

Из сплавов осмия делают корпусы кардиостимуляторов



Осмий применяют в электронной микроскопии

тической промышленности (например, для синтеза гормона кортизона).

Осмий медленно реагирует с кислородом, образуя летучий, очень ядовитый тетраоксид осмия OsO_4. Он имеет характерный неприятный запах, напоминающий запах озона. Именно этот запах помог Теннату открыть новый элемент, а также придумать ему название, от *греч.* osme — «запах». Это вещество окрашивает растительные и животные ткани, и его применяют при микроскопических исследованиях. В электронной микроскопии его использование делает изображения более контрастными. Это же свойство позволяет использовать тетраоксид осмия для проявления отпечатков пальцев.

77
Ir
Иридий
192,22

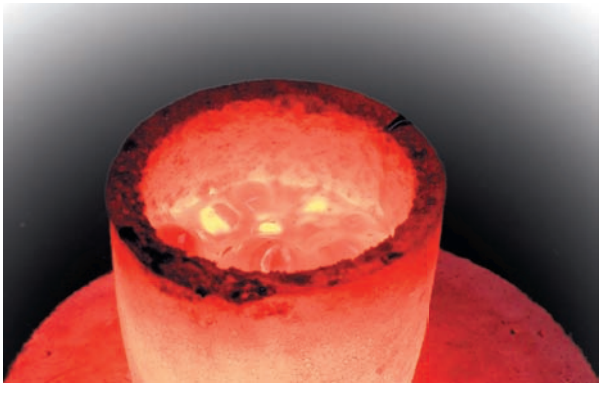
Кларк, г/т	0,001
Плотность, г/см^3	22,65
t плавления, °C	2466

Иридий

Иридий открыл английский химик С. Теннант в том же году, когда он открыл осмий. Элемент назван по тому же принципу, что и хром: от *греч.* iris (род. падеж iridos) — «радуга», Ирида — богиня радуги, вестница богов.

Того же происхождения и слова: иризация — радужная окраска некоторых минералов, краев облаков; ирис — растение; ирисовая диафрагма, которая действует так же, как радужная оболочка глаза, изменяя световой поток, и даже ирит — воспаление этой оболочки. Соединения иридия имеют разнообразный цвет: медно-красный, темно-зеленый, оливково-зеленый, коричневый, желтый, синий, черный.

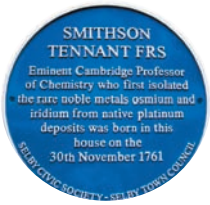
В земной коре иридия очень мало. В ходе формирования планеты этот тяжелый элемент опу-



Тигли для химической промышленности изготавливают из иридия

стился в глубинные слои земного шара. В астероидах и метеоритах иридия заметно больше, поэтому он миллиарды лет поступал на поверхность Земли с метеоритами. Неожиданно много иридия обнаружено на всех континентах в тонком глинистом слое на границе мелового и третичного периодов: в этом слое содержание иридия в 15 раз превышает среднее его содержание в земной коре. Причем соотношение двух природных стабильных изотопов ^{191}Ir и ^{193}Ir в этом слое соответствует «космическому», найденному в метеоритах. Это дало повод предположить, что 65 млн лет назад Земля столкнулась с огромным метеоритом диаметром около 10 км, и в результате его взрыва иридий был распылен по всей поверхности. Это столкновение и выброс огромного количества пыли в атмосферу привело к резкому снижению солнечной освещенности, что могло быть причиной быстрого (в геологической шкале времени) вымирания динозавров как раз в тот период. Подтверждает эту гипотезу колоссальный кратер диаметром 180 км, обнаруженный на полуострове Юкатан в Мексике.

Иридий — один из самых благородных металлов: на него не действует даже царская водка. Иридий применяется в основном в виде сплавов с платиной, которой он придает особую твердость. Именно из такого сплава, содержащего 10% иридия, были в 1799 г. изготовлены эталоны метра и килограмма. Из иридия делают тигли для химической промышленности, в которых можно нагревать агрессивные вещества до очень высоких температур. Электрические контакты из иридия, а также наконечники на позолоченных перьевых ручках могут работать очень долго, не стираясь и не окисляясь. Используется иридий и в составе катализатора для автомобильных нейтрализаторов выхлопа.



Памятная табличка на доме в британском Селби, где родился Смитсон Теннант, член Королевского общества. «В этом доме 30 ноября 1761 г. родился выдающийся профессор химии Кембриджского университета, который впервые выделил благородные металлы осмий и иридий из природных залежей платины»

Платина

С древних времен в Южной Америке местные жители находили очень тяжелый белый металл, который не удавалось расплавить на самом сильном пламени. Этот необычный металл обнаружили в XVI в. испанцы. Они назвали металл платиной; по-испански plata — «серебро», а platina — пренебрежительное уменьшительное от plata, «маленькое серебро», «серебришко». Действительно, цветом платина напоминала серебро. Б. Л. Пастернак сравнивал с цветом

78 **Pt**

Платина

195,08

Кларк, г/т	0,005
Плотность, г/см³	21,45
t плавления, °C	1769

Ювелирное украшение из платины «Змея». Картье. 1968 г.

платины первый снег, «когда он платиной из тигля просвечивает сквозь листву».

В 1740 г. работавший в Перу испанский геодезист и астроном Антонио де Ульоа (1716–1795) впервые дал научное описание платины. Вскоре образцы этого металла были изучены химиками в Англии и Швеции. Оказалось, что платина тяжелее золота: кирпич, сделанный из платины, весил бы более 40 кг.

В XVIII в. платине нашли применение, правда, довольно неожиданное. Платина тогда ценилась намного меньше, чем золото. Этим воспользовались недобросовестные ювелиры, которые подмешивали платину к золоту. Оба металла легко сплавляются, причем при 20%-ном содержании платины температура плавления снижается на 450 °С по сравнению с чистой платиной, а при 10% платины — уже на 550 °С. Снаружи изделие золотили. Можно было также поместить кусок платины в центр золотой монеты. Обнаружить такие подделки было очень трудно: плотности золота и платины близки. Кончилось тем, что испанское правительство отдало распоряжение прекратить ввоз в страну платины, а все ее запасы утопить в море.

Приказывалось также при разработке золотых россыпей в Колумбии тщательно отделять платину от золота и топить под надзором королевских чиновников. Платину вывозили на кораблях на середину колумбийских рек Боготы и Кауки и там при свидетелях топили.

Такое обращение с ценным металлом продолжалось до 1778 г. Но когда платину научились очищать и обрабатывать, химики быстро оценили достоинства этого металла: платина исключительно устойчива к агрессивным химическим кислотам и щелочам. Поэтому ее начали использовать для изготовления химического оборудования. В 1784 г. был изготовлен первый платиновый тигель, а в 1809 г. — платиновая реторта массой 13 кг; такие реторты использовали для концентрирования серной кислоты. Изделия из платины изготавливали путем ковки или горячего прессования, поскольку электропечей, дающих достаточно высокую температуру, тогда не было. Со временем научились расплавлять платину в пламени гремучего газа.

В России впервые обнаружили платину близ Екатеринбурга на Урале в 1819 г., а спустя пять лет в Нижнетагильском округе были открыты платиновые россыпи. На горе Соловьевой в районе Нижнего Тагила только за три года было найдено около ста самородков массой до 9 кг. Многие из них хранятся в коллекциях Алмазного фонда. Там же на Урале в 1904 г. был найден самый большой в мире (из сохранившихся) самородок платины массой 8395 г. Уральские месторождения были настолько богатыми, что Россия быстро заняла первое место в мире по добыче этого металла. Так, только в 1828 гр в России было добыто более 1,5 тонн платины — больше, чем за 100 лет в Южной Америке. А к концу XIX в. добыча платины в России в 40 раз превышала суммарную добычу во всех остальных странах. До 1914 г. второй после России страной по масштабам добычи платины была Колумбия. В 1930-е гг. в лидеры вышла Канада, а после Второй мировой войны — Южная Африка (в СССР данные по добыче платины, как и других стратегических материалов, были засекречены).

С 1828 по 1845 гг. в России из платины чеканили монеты для обращения достоинством в 3, 6 и 12 рублей. Всего было выпущено почти 1,4 млн платиновых монет — уникальное явление в мировой практике. Необычные номиналы объясняются тем, что по диаметру эти монеты соответствовали российским монетам достоинством 1 рубль, 50 и 25 копеек.

Платина — тяжелый белый металл

Минерал сперрилит (арсенид платины) — основная руда платины. Назван в честь канадского химика Фрэнсиса Сперри, обнаружившего его

По стоимости металла они были дороже серебряных в 5,2 раза, что соответствовало ценам на платину в те годы. Знаменитый английский физик Майкл Фарадей (1791–1867) на своей популярной лекции о платине, прочитанной 22 февраля 1861 г., показывал русские платиновые монеты. Проанализировав их состав, он нашел, что в монетах содержится 97% платины, 1,2% иридия, 0,5% родия, 0,25% палладия и другие примеси. Фарадей отдал должное российским мастерам, сумевшим отчеканить деньги из недостаточно очищенной и потому довольно хрупкой платины. Прекращение чеканки и срочное изъ-

Горный массив Кондер в Хабаровском крае, где находится месторождение платины государственного значения

ятие монет из обращения связывают с тем, в середине XIX в. цена на платину стала быстро расти, стоимость металла в монетах превысила их номинал, так что следовало опасаться массового вывоза монет за границу для переплавки.

Сейчас юбилейные и памятные монеты из высокопробной платины чеканят в ряде стран. Так, в конце 1970-х гг. из платины пробы 999 были отчеканены монеты номиналом 150 рублей, посвященные Олимпийским играм в Москве. Последняя платиновая монета в нашей стране, посвященная сражению на Неве в 1240 г., была выпущена в конце 1995 г. Ее номинал 150 рублей, тираж 3000 экземпляров.

Платина — мягкий и ковкий металл. В этом отношении она похожа на золото. Из чистой платины можно вытянуть тончайшую проволоку, прокатать ее в исключительно тонкие листы. В настоящее время платину получают в основном как побочный продукт при извлечении никеля и меди из их руд. Ее мировое производство в 2012 г. составило 179 тонн. Основные производители — Россия, ЮАР и Канада.

До середины XX в. половина платины шла на украшения. Сейчас же 90% ее используется в научных и промышленных целях. Из платины делают лабораторные приборы и оборудование — тигли, чашки, датчики температуры, детали точных приборов, нагревательные элементы для электрических печей: тугоплавкую и химически стойкую платиновую спираль или ленту в электропечах можно разогреть почти до белого каления. Из платиновой проволоки делают термометры сопротивления, а из платинородиевых сплавов (60–99% платины) — термопары. Эти приборы позволяют измерять температуру с высокой точностью и в очень широком интервале. Из сплава платины с золотом и цинком делают зубные протезы. Много платины расходуется для производства катализаторов. Эти катализаторы используют для синтеза аммиака и его последующего окисления до азотной кислоты, в нефтехимической промышленности для получения бензина с высоким октановым числом. Много платины (около 100 тонн в 2012 г.) расходуется в автомобилестроении для производства каталитических конвертеров очистки выхлопных газов. Некоторые производные платины, например комплекс хлорида платины с аммиаком (цисплатин), способны связываться с молекулами ДНК, препятствуя их копированию. Это свойство используется в медицине для лечения онкологических заболеваний.

Монета из платины достоинством 100 долларов выпущена в США в 1998 г.

Первые платиновые монеты российского производства (из уральской платины). 1828 г.

Монета из платины достоинством 150 рублей выпущена в СССР в 1978 г.

Группа меди

29 Cu
Медь
63,55

Кларк, г/т	60
Плотность, г/см³	8,94
t плавления, °C	1085

«Медь принадлежит к числу немногих металлов, давно известных в металлическом виде. Греки и римляне вывозили медь преимущественно с острова Кипра, отчего и произошло латинское название меди — cuprum. Ее знали в древности раньше железа».
Д. И. Менделеев. Основы химии

В царской России мелкие монеты чеканили из меди

Медь

Меди в земной коре немного: по распространенности она находится в конце третьего десятка. Однако медь сконцентрирована в минералах, которых известно более 150. Чаще всего медь в них соединена с серой. Самый известный медный минерал — халькопирит, он же медный колчедан.

Большинство соединений меди встречается в природе вместе с соединениями других металлов, образуя полиметаллические руды, в которых содержание меди составляет 1–2% по массе. Медь входит в состав некоторых драгоценных и полудрагоценных камней. Самый известный из них — малахит, один из красивейших камней. По составу это основной карбонат меди.

Медь встречается в природе в самородном виде. Ее легко также выплавить из медной руды, нагревая с древесным углем. Все это способствовало тому, что наряду с золотом и серебром медь была среди первых известных человеку металлов. Недаром период IV—III тысячелетия до н. э. называют «медным веком». Но археологам известны еще более древние медные изделия, которым 10 тысяч лет. Самородки меди находят и сейчас.

Первая выплавка меди из ее руды была выполнена примерно семь тысячелетий назад. А спустя две тысячи лет древние металлурги случайно обнаружили, что сплав меди с оловом (бронза) значительно более прочный и твердый по сравнению с чистой медью. Инструменты и оружие из бронзы, в отличие от медных, можно сделать острыми. Помимо других достоинств, бронзу легче расплавить, чем медь. Так, сплав, содержащий 20% олова, плавится при 880 °C, на 200 градусов ниже чистой меди. На смену медному веку пришел бронзовый (в I тысячелетии до н. э. его сменил век железный). Но бронза и сейчас один из наиболее распространенных сплавов. Из оловянной бронзы отливают медали и скульптуры (знаменитый «Медный всадник» на самом деле бронзовый), колокола и художественные изделия. Позже открыли другой сплав меди — латунь, содержащий 5–45% цинка.

Как сама медь, так и многие ее сплавы на воздухе покрываются патиной — слоем продуктов окис-

«Медный всадник» изготовлен из бронзы

ления. Патина может быть шоколадного цвета, она плотная и хорошо защищает медь от дальнейшего окисления. Бывает и непрочная патина зеленого цвета, она образуется в результате реакции меди с кислородом, водой и углекислым газом. По составу она сходна с малахитом. Особенно быстро медь зеленеет под действием кислотных дождей. Зеленой патиной покрыта медная статуя Свободы в Нью-Йорке.

Медь — чемпион среди недрагоценных металлов по электропроводности. Поэтому очень много меди расходуется на изготовление электрических проводов. Мировое производство меди в 2012 г. составило 17 млн тонн.

Медь входит в состав некоторых ферментов, без которых многие жизненно важные процессы были бы невозможны. В теле среднего человека содержится примерно 70 мг меди. Ежедневно человек должен получать с пищей (или с поливитаминами) около 1 мг меди. У некоторых морских животных — кальмаров, осьминогов, каракатиц — в крови вместо гемоглобина (он содержит железо) присутствует соединение меди — гемоцианин (от *греч.* haima — кровь и kyanos — лазурный, голубой). Такая «медная кровь» не красного, а голубого цвета. Медь нужна и растениям. В то же время соли меди ядовиты, а сама медь обладает антибактериальными свойствами: на медных монетах и дверных ручках микробы быстро погибают.

С древних времен медь — один из трех важнейших монетных металлов. Из чистой меди чеканились мелкие монеты Российской империи. Нумизматам известны огромные медные монеты квадратной формы — платы. Так, в Швеции при королеве Кристине (1632–1654) плата, соответствующая 10-далеровой серебряной монете, весила 19,5 кг! Российские платы были поменьше. Большой вес медных денег приводил к значительным неудобствам. Когда в 1747 г.

Медный самородок

Малахит известен с античных времен, а свое название он ведет от греческого слова malache — «мальва» (растения с ярко-зелеными листьями)

М. В. Ломоносов написал свою самую знаменитую оду, посвященную шестилетию восшествия на престол Елизаветы Петровны, императрица повелела выдать автору 2000 рублей – огромную по тому времени сумму. Однако в казне в тот момент серебра не оказалось, и пришлось выдать царский дар медью: Ломоносову доставили две подводы медных денег. Тогда из 1 пуда меди чеканили медных монет на 10 рублей. Значит, 2000 «медных» рублей весили 200 пудов, или 3,2 тонны!

47
Ag
Серебро
107,87

Кларк, г/т	0,075
Плотность, г/см³	10,50
t плавления, °C	962

«Серебро не окисляется на воздухе, а потому причисляется к разряду так называемых благородных металлов. Оно обладает белым цветом, гораздо более чистым, чем для всех других известных металлов, в особенности когда оно представляет химическую чистоту... Химически чистое серебро столь мягко, что стирается весьма легко».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Серебро

По-гречески серебро — argyros, от argos — «белый», «блистающий», «сверкающий» (индоевропейский корень «арг» — «пылать, быть светлым»). Отсюда — *лат.* argentum, *франц.* argent, *итал.* argento. Интересно, что единственная страна, названная по химическому элементу (а не наоборот — как элементы германий, рутений, полоний, франций) — это Аргентина. Русское название металла — «серебро» (как и *англ.* silver, *нем.* Silber, *голл.* zilver) — восходит к *др.-герм.* silubr, происхождение которого неясно.

Серебро наряду с золотом и медью — один из первых металлов, известных человечеству. И хотя серебро — очень редкий металл (в земной коре его почти в тысячу раз меньше, чем меди), оно сконцентрировано в рудах и встречается также в самородном виде.

После открытия и завоевания Америки множество самородков серебра было найдено на территории современных Перу, Чили, Мексики, Боливии. В Чили был обнаружен самородок в виде пластины массой 1420 кг. Последние из самых крупных самородков серебра найдены уже в XX в. в Канаде (провинция Онтарио). Один из них, названный «серебряный тротуар», имел вид жилы длиной 50 м, уходящей вглубь земли на 18 м. Из этой жилы было выплавлено 20 тонн серебра! Исключительно богатыми были когда-то серебряные рудники Центральной Европы. Из саксонского серебра делали огромные вазы, столовые сервизы на сотни персон, на каждый из которых расходовали тонны серебра!

Серебро добывают не только из серебряных руд, но и в процессе очистки (рафинирования) меди, свинца и золота. Тысячи тонн серебра ежегодно получают также в результате переработки серебряного лома и промышленных отходов. Мировое произ-

В XX в. кинопленку изготавливали с применением серебра

водство серебра в 2012 г. составило около 34 тысяч тонн. Много серебра расходуется на ювелирные изделия. Серебром покрывают электрические контакты в разнообразных разъемах, реле, клавиатурах компьютеров и телефонов. Серебро входит в состав припоев, электродов мощных серебряно-цинковых и серебряно-кадмиевых аккумуляторов. Когда-то серебро было наряду с золотом и медью основным монетным металлом. С античных времен во всех странах было выпущено огромное количество серебряных монет.

Еще в середине XX в. более 6000 тонн серебра (при добыче около 10 тысяч тонн) ежегодно шло на изготовление рентгеновских пленок, фотографических пластинок, фото- и кинопленки, фотобумаги.

Серебряные (или посеребренные) изделия — монеты, ложки, вилки, кольца, цепочки и другие украшения со временем часто тускнеют из-за присутствия в воздухе сероводорода. Иногда серебряные предметы из-за образования на них пленки сульфида чернеют, а могут и зеленеть. Это признак того, что сплав содержит, кроме серебра, значительные количества меди.

Серебро отражает более 90% видимого света и в этом отношении превосходит все другие металлы. Раньше много серебра расходовалось для производства зеркал; сейчас зеркала делают в основном осаждением на стекло паров алюминия.

Из соединений серебра самое известное — его нитрат. Еще алхимики обнаружили, что под его воздействием на коже появляются черные пятна. Потом этот участок кожи сморщивается и отмирает. Это дало повод назвать нитрат серебра ляписом (*лат.* lapis infernalis — «адский камень»). Как и медь, серебро (в ионизированной форме) токсично для микроорганизмов. Хорошо известно бактерицидное действие очень малых концентраций серебра

В Средние века талеры были в ходу по всей Европе, они стали самой распространенной большой серебряной монетой в истории

Серебряная шкатулка. Ирландия, 1884 г.

Серебряный самородок

Сосуд, изготовленный из серебра

на питьевую воду. При содержании ионов серебра до 50 частей на миллиард воду можно пить без вреда для здоровья.

Неожиданное применение нашел иодид серебра. Дождь, как и снег, начинается с образования в облаках мельчайших кристалликов льда из паров воды. Если воздух абсолютно чистый, зародыши льда могут образоваться только при очень низкой температуре (ниже минус 30 °С). В присутствии же некоторых веществ-затравок, например иодида серебра, зародыши льда образуются при значительно более высокой температуре. Так можно вызвать искусственный снегопад (или дождь). Иногда требуется «разогнать» тучи. Тогда иодид серебра распыляют в облаках за десятки километров от места проведения торжества, и дождь проливается на леса и поля.

79 **Au**

Золото

196,97

Кларк, г/т	0,004
Плотность, г/см³	19,30
t плавления, °С	1064

Золото

С древнейших времен блеск золота сопоставлялся с блеском солнца (*лат.* sol). Отсюда — русское «золото», польская монета злотый, русская мера веса золотник. Название этого металла сходно во многих европейских языках: *англ.* gold, *нем.* Gold, *голл.* goud, *дат.* и *швед.* guld, *норв.* gull, *эст.* kuld. Эти названия происходят от индоевропейского корня, означавшего «желтый».

Золото — очень редкий металл; в земной коре его почти в 20 раз меньше, чем серебра и в 15 тысяч раз меньше, чем меди. Тем не менее, за всю историю человечества его было добыто огромное количество: более 166 тысяч тонн. Мировое производство

золота в 2012 г. составило 2,7 тысячи тонн. По объему это шар радиусом 3,2 м, тогда как руда и песок, из которого это золото извлечено, представляло бы большую гору.

Золото, вероятно, было первым металлом, с которым познакомился человек; найденным в Болгарии золотым изделиям 6000 лет. Получилось так потому, что золото химически очень инертно: растворяется лишь в царской водке, в горячей селеновой кислоте и в растворах хлора и цианистого калия. Действуют на золото и растворы иода.

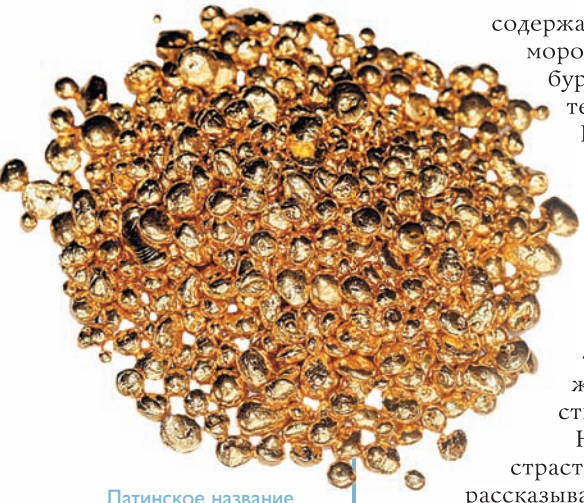
В природе золото встречается почти исключительно в самородном виде. Самородки и россыпи золота часто находили по течению рек, которые тысячелетиями размывали золотоносные породы. Золото почти в 20 раз тяжелее воды и примерно в 8 раз тяжелее песка, поэтому крупинки золота легко отделить от пустой породы струей воды.

Наряду с маленькими крупинками в золотоносных районах изредка находят большие куски золота — самородки. Крупнейший из них был обнаружен в 1872 г. в Австралии. Это была плита массой 286 кг из золота, тесно сросшегося с кварцем. Она

«Добыча... промывного золота требует только механических средств, а потому немудрено, что золото известно было даже дикарям и в самые древние исторические времена... Чистое золото отражает желтый свет, а в виде очень тонких листов (листовое золото), в которые оно способно выковываться и вытягиваться, просвечивает синевато-зеленым цветом... При нагревании даже в горнах золото дает пары, отчего пламя, проходящее над ним, окрашивается в зеленоватый цвет».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Корпус часов покрыт золотом



Латинское название золота aurum (как и французское or, итальянское и испанское oro) тоже связано с его цветом и происходит от имени богини утренней зари Авроры (Aurora)

содержала более 93 кг чистого золота. Самородок обнаружил уроженец Гамбурга и австралийский золотоискатель Бернхардт Отто Хольтерман. В 1872 г. его оценивали в 24 тыс. долларов, сегодня он стоил бы больше 10 млн долларов. В 1842 г. в России, на Южном Урале, был найден самородок массой более 36 кг; сейчас он хранится в Алмазном фонде. Самородное золото всегда содержит серебро (от 2 до 43%), иногда также медь (до 20%), железо (до 2%), небольшие количества висмута и других элементов.

Не счесть людей, которых погубила страсть к золоту. В древнегреческом мифе рассказывается о фригийском царе Мидасе, который выпросил у бога Диониса способность превращать в золото любой предмет, к которому он прикоснется. Но радость царя была преждевременной: ведь в золото обращались еда и питье, к которым он притрагивался...

С древних пор из золота чеканили монеты. Считают, что первые в истории человечества монеты были отчеканены в Лидийском царстве (VII в. до н. э.) из природного сплава золота и серебра — электрума. С тех пор во всех странах были отчеканены миллионы золотых монет. Самая большая была изготовлена в 2011 г. (на ней строит дата 2012) в Австралии из золота с пробой 999,9. Ее номинал — 1 млн австралийских долларов, диаметр 80 см, масса превышает одну тонну.

Из-за химической инертности золота изделия из него могли тысячелетиями сохраняться в земле. «Скифское золото» в коллекции Государственного Эрмитажа, «золото Трои», золотые изделия древних египтян в различных музеях мира до сих пор поражают удивительным мастерством древних умельцев. Многие предметы делали не из целого куска золота, а только золотили — покрывали тонким слоем золота. Золото — исключительно пластичный металл. Из маленького золотого шарика радиусом менее 2 мм можно вытянуть тончайшую проволочку километровой длины или расплющить его в полупрозрачный лист толщиной всего 0,0001 мм.

Добываемое во всем мире золото в больших количествах оседает в банковских хранилищах. Еще больше этого металла идет на ювелирные изделия. Золото расходуется также на изготовление памят-

ных монет и медалей, зубных протезов, коррозионноустойчивых деталей химических аппаратов, для нанесения защитных покрытий. Толщина золотого покрытия очень мала и измеряется микронами.

Ртуть хорошо смачивает (но не растворяет) золото — как вода смачивает, но не растворяет стекло. На этом был основан амальгамный способ добычи золота и способ нанесения позолоты на листы металла. После нанесения амальгамы листы ставили в печь или подкладывали под них жаровни. Ртуть улетучивалась, а золото прочно соединялось с металлом. Затем позолоченные поверхности полировали. Такой способ использовали в XIX в. для золочения купола главного храма Петербурга — Исаакиевского собора. На этой стройке смертельно отравились парами ртути 60 человек. Амальгамный способ сейчас не применяют, а используют электрохимическое золочение.

Химически чистое золото имеет желтый цвет. Однако примеси могут окрашивать его в другие цвета — от белого до зеленого. Серебро, сплавляемое с золотом в разных соотношениях, придает сплаву белый, желтый или даже зеленый оттенок. Медь делает золото красноватым, а сплав, содержащий 9% серебра и 32,5% меди, имеет оранжевый цвет.

Австралийские золотоискатели (Бернхардт Отто Хольтерман — второй слева) позируют с золотыми самородками, найденными на шахте «Звезда надежды»

Группа цинка

30 **Zn**
Цинк
65,38

Кларк, г/т	70
Плотность, г/см³	7,14
t плавления, °C	419,6

«Металлический цинк... получается большею частью из кислородных руд, т. е. из галмея, находящегося иногда целыми пластами... В Швеции еще в XV столетии перерабатывали галмей в сплав цинка с медью (латунь, или желтая медь), а из галмея Парацельс получил цинк; но техническая добыча самого металла, известного издавна в Китае, в Европе началась только в 1807 г., в Бельгии, когда аббат Дони открыл, что цинк летуч». *Д. И. Менделеев.* Основы химии

Розовый смитсонит

Цинк

Слово «цинк» в русский язык ввел М. В. Ломоносов, который произвел его от нем. Zink. Немецкое название, вероятно, происходит от *др.-герм.* tinka — «белый». Действительно, самый распространенный препарат цинка — оксид ZnO имеет белый цвет. По другой версии, немецкое название произошло от Zinke — «зубец», «острие» (у вилки, грабель и т. п.): при затвердевании цинк образует зубцеобразные кристаллы.

Термин zinken использовал в начале XVI в. Парацельс, описывая зубцы на кристаллах цинка. Он признал цинк металлом, и таким образом, к семи металлам древности добавился восьмой. Это смутило алхимиков: для нового металла не оказалось «своей» планеты!

Цинк — довольно активный металл, он реагирует с влагой и углекислым газом, и его поверхность покрывается темно-серым слоем продуктов окисления. Цинк растворяется даже в разбавленных кислотах, выделяя водород. Активность цинка используют для защиты железа и его сплавов от коррозии: оцинкованная сталь не ржавеет, пока на ней остается хотя бы немного цинкового покрытия.

Цинк сравнительно легко испаряется при нагревании, а при 907 °C он кипит. Если не считать щелочных металлов, это самая низкая температура кипения среди металлов.

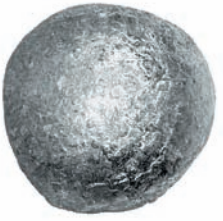
Сотни лет назад индийские металлурги использовали это свойство цинка для его дистилляции и последующего получения латуни путем сплавления с медью. В Европе такой процесс стал известен только в середине XVIII в. Итальянский физик А. Вольта использовал цинк в изобретенном им гальваническом элементе. Соединив последовательно несколько пар пластинок из цинка и меди, разделенных тканью, смоченной раствором кислоты или щелочи, ученый получил «вольтов столб» — первый в истории постоянно действующий источник электрического тока. С его помощью было совершено много выдающихся открытий. До сих пор цинк используется при изготовлении гальванических элементов — батареек, в которых он служит отрицательным электродом.

Цинк образует много минералов. Самый известный — сфалерит, цинковая обманка (от *греч.* sphaleros — «обманчивый»: этот минерал часто путали с другими). Сфалерит используют для изготовления различных светосоставов и светящихся красок (например, в приборостроении), в различных сигнальных аппаратах.

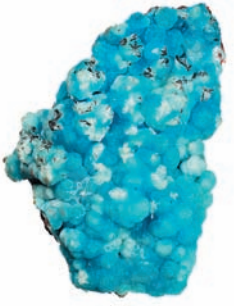
Мировое производство цинка в 2012 г. составило 13 млн тонн. Лидеры производства — Китай, Перу, Австралия, Индия, США и Канада. По значимости цинк занимает четвертое место после железа, алюминия и меди. Больше половины цинка идет на создание защитных покрытий, толщина которых составляет обычно от 10 до 60 мкм. Оцинкованную сталь используют как кровельный материал, как материал для изготовления воздуховодов, водосточных труб.

Много цинка расходуется на получение его сплава с медью — латуни. Во время Второй мировой войны, когда медь стала стратегическим материалом, из цинка во многих странах чеканили монеты. Цинк дешевле меди, и в целях экономии с октября 1982 г. мелкие монеты США — центы — стали чеканить не из меди, а из цинка, покрывая их тонким слоем меди. В результате общее содержание меди в монете было снижено с 95 до 2,5%. Из цинка, покрытого медью, делают также мелкие монеты в Южной Корее; цинк легко растворить в кислоте, после чего остаются лишь две тонкие медные пластинки.

Широко используется оксид цинка — белый порошок, мировое производство которого исчисляется миллионами тонн. Оксид цинка, введенный в качестве наполнителя в полимеры, предохраняет их от разрушения ультрафиолетовыми лучами, а в солнцезащитных кремах предохраняет кожу.



Металл цинк



Гемиморфит — один из минералов цинка

Устрицы содержат много цинка

Смитсонит — один из минералов цинка

Сульфид цинка используется в полупроводниковых лазерах. Это же вещество, активированное тяжелыми металлами (медью, серебром, кадмием), используется в люминофорах — составах, которые светятся после облучения ярким светом или под действием приложенного напряжения (электролюминофоры).

В организме человека содержится около 2 г цинка. Цинк входит в структуру многих ферментов, участвует в синтезе инсулина и других гормонов.

В лечебных целях цинк использовали еще древние египтяне в виде цинковой мази. Средняя суточная потребность в цинке для человека составляет 6–10 мг. Но и избыток цинка вреден и может вызвать отравление.

^{48}Cd

Кадмий

112,41

Кларк, г/т	0,15
Плотность, г/см^3	8,65
t плавления, °C	321,1

«Кадмий представляет собой белый металл, немногим только уступающий олову в белизне и блеске своего свежего разреза. Он столь мягок, что режется ножом... После ртути это наиболее летучий металл».

Д. И. Менделеев. Сновы химии

Кадмий

Кадмий был открыт в 1818 г. немецким химиком и фармацевтом Фридрихом Штромейером (1776–1835). Он обнаружил его в карбонате цинка, из которого на фармацевтической фабрике получали медицинские препараты (и сейчас оксид цинка используется в различных присыпках, мазях и пастах как вяжущее антисептическое средство).

Однако при проверке аптек окружной врач тот заподозрил в препаратах присутствие ядовитого мышьяка: при пропускании сероводорода через солянокислый раствор оксида цинка выпал не белый, а желтый осадок, очень похожий на тот, что дает мышьяк. Продажа препаратов была запрещена.

Тогда владелец фабрики провел самостоятельное исследование и сделал вывод, что желтый осадок дает не мышьяк, а неизвестный элемент. Этот вывод подтвердил профессор химии и фармации Геттингенского университета Ф. Штромейер, который и дал название новому элементу.

Греческим словом kadmeia с древних времен называли карбонатные цинковые руды. Название восходит к Кадму — герою греческой мифологии, основателю Фив, победителю дракона, из зубов которого выросли воины. За убийство дракона боги превратили его в змею на глазах возлюбленной. Кадм будто бы первым нашел цинковый минерал и открыл людям его способность изменять цвет меди при совместной выплавке их руд (так получается латунь). Имя Кадма восходит к семитскому «Кадем» — Восток.

В учебниках пишут, что металлический кадмий в природе не встречается. Однако в 1979 г. в бассейне реки Вилюй (Восточная Сибирь) были обнаружены крошечные (размером 0,2 мм) зерна самородного кадмия. Им сопутствовали зернышки других самородных элементов — свинца, олова, цинка, сурьмы и др. Кадмий обычно встречается в цинковых рудах, и его получают попутно при производстве цинка, хотя и в значительно меньших количествах.

Сульфид кадмия

В XIX в. стали популярны кадмиевые пигменты: сульфид кадмия имеет желтый цвет, селенид — красный. Эти яркие, не выцветающие на солнце пигменты использовали в своих картинах Винсент Ван Гог, Клод Моне и другие художники. Кадмиевые красители использовали когда-то даже для окраски детских игрушек. Но соединения кадмия ядовиты: смертельная доза кадмия составляет от 1,5 до 9 г, но уже 10 мг может привести к отравлению. Использование кадмиевых красок для бытовых целей сейчас запрещено.

Значительно сократилось применение кадмия и для изготовления гальванических элементов; на некоторых можно видеть надпись «0% Cadmium». Кадмий используется для изготовления стабильных и мощных никель-кадмиевых аккумуляторов, как малогабаритных, так и работающих в электрокарах, трамваях и троллейбусах, в самолетах и вертолетах. Кристаллы сульфида кадмия обладают свойствами полупроводника и используются в полупроводниковых лазерах, фотоэлементах, солнечных батареях, светодиодах.

Мировое производство кадмия в 2012 г. составило 23 тысячи тонн. Лидерами являются Китай, Южная Корея и Япония.

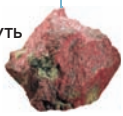
Ртуть

^{80}Hg
Ртуть
200,59

Кларк, г/т	0,08
Плотность, г/см^3	13,55
t плавления, °C	–38,83

Ртуть — единственный жидкий при комнатной температуре металл — с давних времен вызывала любопытство. Это самая тяжелая при обычных условиях жидкость: ведро с ртутью обычный человек не сможет даже сдвинуть с места, потому что оно будет весить 150 кг!

О ртути знали древние индийцы, китайцы, египтяне. Греческий врач Диоскорид, живший в I в. н. э., дал ей название hydrargyros, т. е. «водное серебро».



В ртутном барометре атмосферное давление измеряют по высоте столбика ртути

Близкое по значению название сохранилось в некоторых европейских языках, например, по-немецки ртуть quecksilber, буквально «подвижное серебро», а по-болгарски ртуть — живак.

Английское название ртути — mercury: мифологический покровитель торговли и вестник богов Меркурий быстро поспевал в нужное место, недаром его изображают с крылышками на шлеме и сандалиях. У алхимиков ртуть связывалась с планетой Меркурий. Русское название ртути, по одной из версий, — это заимствование из арабского (через тюркские языки) названия планеты Меркурий.

В природе ртуть иногда (например, на Алтае, в Испании, Италии, Мексике) встречается в свободном состоянии в виде отдельных капелек, вкрапленных в породу. Вблизи испанского города Алмадена описаны скопления, содержащие несколько тонн ртути! В Испании и Италии не бывает сильных морозов, поэтому с античных времен никто не знал, может ли ртуть быть твердой.

Замерзание ртути в термометре было обнаружено в Иркутске при сильном морозе в 1736 г.; наблюдал это французский астроном и географ Жозеф-Никола Делиль (1688–1768), который при основании Российской академии наук в 1725 г. был приглашен в Петербург на место директора астрономической обсерватории и прожил в России до 1747 г.

Ртуть легко также получить из ярко-красного минерала киновари — соединения ртути и серы. При прокаливании этого минерала ртуть испаряется, и ее пары оседают на стенках сосуда в виде блестящих капелек. С древности известны богатые месторождения ртути в Испании и в Словении; по добыче ртути Испания до сих пор занимает ведущее положение в мире. Мировое производство ртути в 2012 г. составило 1600 тонн.

Ртуть и ее соединения раньше использовали для приготовления красок, мазей и лекарств. Тогда не знали, что этот металл и многие его соединения ядовиты, и обращались с ними беспечно. Знаменитый физик и математик Исаак Ньютон (1643–1727) отравился ртутью, когда использовал ее в опытах.

Наиболее опасны растворимые в воде соли ртути, например, сулема — соединение ртути и хлора. Менее опасна при попадании в желудок металлическая ртуть: она выводится из желудка и кишечни-

ка почти полностью. Но и с металлической ртутью надо обращаться очень осторожно. Ртуть кипит при температуре 357 °С — это самая низкая температура кипения для металлов. Но уже при комнатной температуре этот жидкий металл довольно быстро испаряется. Пары ртути, попадая в легкие, задерживаются там и вызывают впоследствии отравление организма, хотя и не такое быстрое, как растворимые соли ртути.

У паров ртути нет ни цвета, ни запаха, поэтому многие недооценивают опасность пролитой ртути. Известен эффектный опыт, который наглядно показывает, как быстро испаряется ртуть. Экран, покрытый специальным составом, ярко светится под действием ультрафиолетовых лучей. Если перед экраном поставить чашечку с ртутью, на нем виден «дым», потому что пары ртути задерживают ультрафиолетовые лучи.

Отравление ртутью наступает при попадании в организм всего 0,4 мг растворимой соли ртути. Смертельная доза — 0,15–0,3 г. Хроническое отравление ртутью вызывает дрожание мышц, поражение почек и других органов, психические расстройства. Раньше такие расстройства называли «болезнью

«Ртуть встречается в природе почти исключительно в соединении с серою... Гораздо реже встречается она в самородном, металлическом состоянии... Руды ртути перерабатываются в металлическую ртуть весьма легко, потому что связь металла с серою здесь мало прочна... Ртуть, как всякому известно, есть металл жидкий при обыкновенной температуре. Своею белизною она напоминает серебро... Как сама металлическая ртуть, так и вообще ртутные соединения производят слюноистечение, дрожание рук и другие болезненные припадки».
Д. И. Менделеев. Основы химии

Памятник в виде капли ртути в Чикаго. США

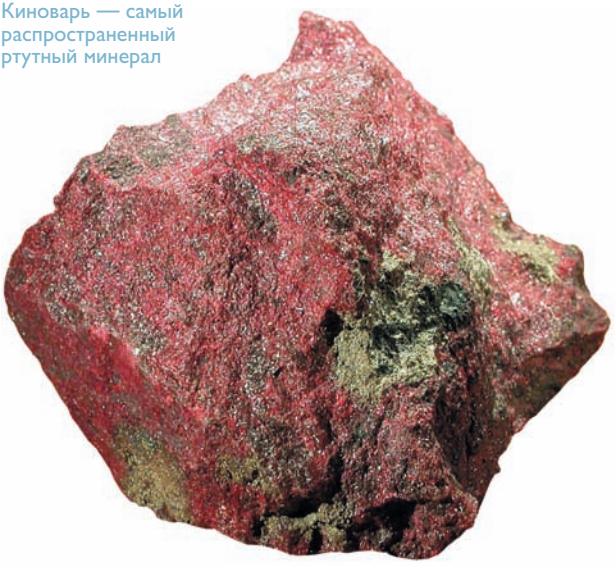
шляпников», так как для размягчения шерсти, из которой изготовляли фетровые шляпы, использовали растворимые соединения ртути. И не случайно в книге Льюиса Кэрролла «Алиса в Стране чудес» появился такой странный персонаж — Сумасшедший Шляпник.

Опасность хронического отравления ртутью возможна во всех помещениях, где металлическая ртуть находится в соприкосновении с воздухом, поэтому случайно пролитую в помещении ртуть надо собирать самым тщательным образом. Опасность представляют и лампы дневного света. Каждая лампа содержит немного жидкой ртути, и если трубку разбить, ртуть начнет испаряться и загрязнять воздух.

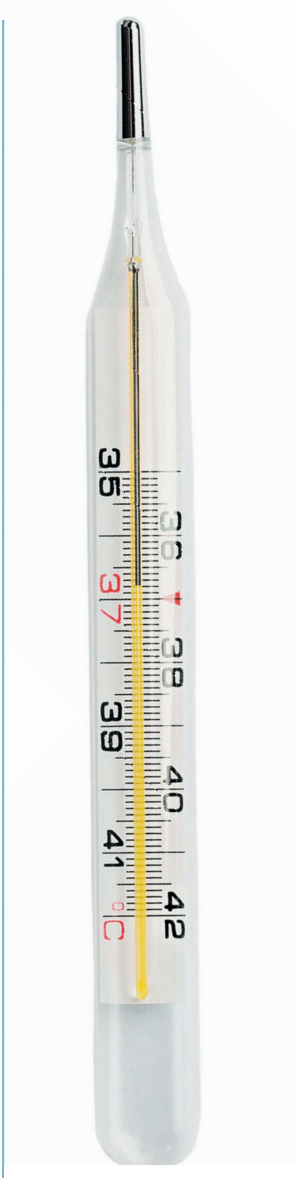
Физики прошедших веков не могли обойтись без этой тяжелой жидкости. В 1643 г. итальянский физик Эванджелиста Торричелли (1608–1647) изобрел ртутный барометр. В 1715 г. немецкий физик Даниель Фаренгейт (1686–1736) изготовил первый ртутный термометр — самый точный из тогда известных. С тех пор в мире было изготовлено огромное количество ртутных термометров, лабораторных и бытовых.

Город Идрия — европейский центр добычи ртути

Киноварь — самый распространенный ртутный минерал



Несмотря на ядовитость ртути, пока невозможно полностью отказаться от ее применения. Металлическую ртуть используют в электрических контактах-переключателях, для заполнения вакуумных насосов, выпрямителей электрического тока, барометров, термометров, ультрафиолетовых кварцевых ламп и ламп дневного света. Используют ртуть и на некоторых химических производствах. Соединения ртути со сточными водами могут попасть на дно водоемов. Обитающие там микроорганизмы превращают ртуть в исключительно ядовитую и хорошо растворимую в воде метилртуть. Это вещество поглощается водными организмами и попадает в пищевую цепочку: сначала ртуть накапливается в растениях и мельчайших организмах, затем — в рыбах, потом попадает в организм людей, которые ловят рыбу в зараженных районах. Ртуть очень медленно выводится из организма — месяцами у людей и годами у рыб. Поэтому содержание ртути вдоль «биологической цепочки» непрерывно увеличивается: в рыбах-хищниках, которые питаются другими рыбами, ртути может оказаться в тысячи раз больше, чем в воде, из которой она выловлена. Именно этим объясняется болезнь Минамата — по названию приморского города в Японии, в котором за несколько лет от отравления ртутью умерло 50 человек и многие родившиеся дети имели врожденные уродства.



В термометрах раньше использовалась ртуть

Группа бора

5
B
Бор
10,59

Кларк, г/т	10
Плотность, г/см³	2,47
t плавления, °C	2079

Кристаллы данбурита — основного минерала бора

«Бор в свободном состоянии является, как углерод, в нескольких видах, составляющих переходные формы от металлов к металлоидам».
Д. И. Менделеев. Основы химии

Бор

Арабы словом *bauraq* называли многие соли белого цвета, растворимые в воде. Одна из таких солей — бура, природный тетраборат натрия. Из буры в 1702 г. путем прокаливания с последующей обработкой кислотой была получена борная кислота, а из нее в 1808 г. французские ученые Жозеф Луи Гей-Люссак (1779–1850) и Луи Жак Тенар (1777–1857) независимо друг от друга выделили новый элемент, который получил название бор. Интересно, что Гемфри Дэви, открывший в этом году много новых элементов, опоздал с открытием бора всего на девять дней. Он предложил название boron, которое и закрепилось в английском языке.

Самое известное соединение бора, борная кислота, является дезинфицирующим средством. Раньше ее широко использовали как в чистом виде, так и в составе мазей, спиртового раствора («борного спирта»), полосканий для горла, глазных капель и т. п. А буру применяли как яд для тараканов. Однако с соединениями бора следует быть очень осторожными. потому что бор является так называемым общеклеточным ядом. У маленьких детей борная кислота может вызвать тяжелейшие отравления. В то же время микроколичества бора необходимы растениям. В теле среднего человека содержится около 50 мг бора.

Оксид бора, введенный в стекло, придает ему химическую стойкость, повышает температуру размягчения. У такого стекла очень низкий коэффициент температурного расширения, поэтому оно меньше боится резких перепадов температуры. Перекисные соединения бора (персоль и др.) содержат активный кислород и применяются как отбеливатели.

В 1957 г. впервые был получен кристаллический нитрид бора — соединение бора и углерода. Его твердость приближается к твердости алмаза. Под названием эльбор или боразон его применяют как заменитель алмазов при изготовлении шлифовальных инструментов. Керамические пластины из кристаллического карбида бора (соединение бора и углерода) используют в пуленепробиваемых бронежилетах.

Природный изотоп бора, ^{10}B, хорошо поглощает нейтроны и потому применяется в ядерных реак-

торах. Бораны (соединения бора с водородом), например B_4H_{10}, — эффективные ракетные топлива, выделяющие при сгорании очень большую энергию. Мировое производство соединений бора в 2012 г. составило 4,6 млн тонн.

Алюминий

13 Al
Алюминий
26,98

Кларк, г/т	82 300
Плотность, г/см³	2,70
t плавления, °C	660,3

Среди металлов алюминий — самый распространенный в земной коре элемент. Его вдвое больше, чем железа, в 350 раз больше, чем меди, цинка, хрома, олова и свинца вместе взятых. Алюминий образует более ста минералов. Среди них — аквамарин, александрит, берилл, бирюза, изумруд, лазурит, рубин, сапфир и другие драгоценные и полудрагоценные камни. Соединения алюминия с кремнием и кислородом — алюмосиликаты — являются наиболее распространенными минералами, на их долю приходится до 50% массы земной коры. Алюмосиликаты используются при производстве обычного стекла, фаянса, фарфора и другой керамики, кирпича, цементов.

Название алюминия происходит от латинского alumen (род. падеж aluminis). Так называли квасцы, двойной сульфат калия — алюминия, который использовали как протраву при крашении тканей. Латинское название, вероятно, восходит к греческому alme — «рассол, соляной раствор». Впервые увидел, как выглядит этот металл, датский физик Ханс Кристиан Эрстед (1777–1851) в 1825 г. Он вытеснил алюминий из его соли более активным калием.

Долгое время алюминий был дороже золота. Спустя 30 лет способ его получения был усовершенствован, но он оставался очень редким и дорогим. Когда в 1855 г. на Всемирной выставке в Париже был выставлен большой слиток алюминия, на него смотрели как на редкую драгоценность. Причина в очень прочной связи между атомами алюминия и кислорода, поэтому выделить металл из его руды непросто.

Современный способ получения алюминия был открыт в 1886 г. молодым американским исследователем Чарлзом Мартином Холлом (1863–1914), который в возрасте 16 лет пообещал учителю колледжа, что получит алюминий. И через шесть лет он сумел это сделать электролизом расплава оксида алюминия в криолите — гексафтороалюминате натрия. Метод Холла позволил получать с помощью электричества сравнительно недорогой алюминий в больших масштабах. Если с 1855 до 1890 гг. было

«Между элементами группы алюминий есть самый распространенный в природе; достаточно указать на то, что он входит в состав глины, чтоб ясно было всеобщее распространение алюминия в коре земной. Алюминий, или металл квасцов (alumen), потому и называется иначе глинием, что находится в глине... Металлический алюминий, обладая большою легкостью и прочностью и малою изменчивостью на воздухе, очень пригоден для некоторых изделий».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Боксит — алюминиевая руда

получено лишь 200 тонн алюминия, то за следующее десятилетие по методу Холла во всем мире получили уже 28 000 тонн этого металла, а в 2012 г. мировое производство алюминия составило 60 млн тонн! При этом четвертая часть — результат вторичного использования алюминиевого лома. Получение алюминия из природного сырья требует очень больших затрат электроэнергии: на получение 1 тонны металла затрачивается 15 000 киловатт-часов; такое количество электричества потребляет большой 150-квартирный дом в течение целого месяца.

Из алюминия делают электрические провода и фольгу для пищевых продуктов, кухонную утварь и «серебряную» краску. Этот красивый и легкий металл широко используют в строительстве и авиационной технике.

Чистый алюминий цветом напоминает серебро. Алюминий почти так же хорошо, как и серебро, отражает свет. Поэтому его используют для изготовления зеркал — напылением в вакууме на стекло тонкого слоя алюминия. Он хорошо проводит электрический ток (хотя и значительно уступает меди). Однако алюминий значительно дешевле меди, поэтому из него делают провода.

Чистый алюминий — довольно мягкий металл. В авиа- и машиностроении, при изготовлении строительных конструкций используют значительно более твердые сплавы алюминия.

Один из самых известных — сплав алюминия с медью и магнием (дюралюминий, или просто «дюраль»;

Зеркало в алюминиевой раме

Алюминиевые трубы

название происходит от немецкого города Дюрена). Дюралюминий примерно в семь раз прочнее чистого алюминия. В то же время он почти втрое легче железа.

В настоящее время четвертая часть всего алюминия идет на нужды строительства, столько же потребляет транспортное машиностроение, примерно 17% часть расходуется на упаковочные материалы и консервные банки, 10% — в электротехнике. Большие количества гидроксида алюминия используются для очистки сточных вод.

Алюминий химически очень активен, он легко растворяется в кислотах и щелочах. Поэтому сенсацией стало обнаружение в 1978 г. в породах Сибирской платформы самородного алюминия — в виде нитевидных кристаллов длиной 0,5 мм при толщине несколько микрометров. В лунном грунте, доставленном на Землю, также удалось обнаружить самородный алюминий.

В присутствии воздуха поверхность металла защищена прочной оксидной пленкой, поэтому из алюминия можно делать кухонную посуду. При удалении защитной пленки (например, солями ртути) металл быстро превращается в белый рыхлый порошок оксида, а с водой реагирует с выделением водорода. Поэтому провоз ртути в самолетах строжайше запрещен.

В организме среднего человека содержится примерно 60 мг алюминия. Токсической считается доза 5 г. Чтобы ее получить, нужно съесть за один прием алюминиевую чайную ложку...

Бенгальские огни содержат порошкообразный алюминий

Галлий

Элемент №31 был предсказан Д. И. Менделеевым как эка-алюминий в 1871 г. и вскоре был открыт французским химиком П. Э. Лекоком де Буабодраном, который назвал его в честь своей родины: Gallia — латинское название Франции. Символ Франции — петух (по-французски — le coq), так что в названии элемента его первооткрыватель, как полагали некоторые химики, неявно увековечил и свою фамилию.

В природе галлий обычно сопутствует своему аналогу по Периодической таблице — алюминию.

Уникальность галлия — в очень широком температурном интервале, при котором он существует в жидком состоянии: галлий плавится при 30 °С — его легко расплавить теплом руки, а кипит при 2200 °С! Это его свойство используется в кварцевых термометрах, которыми можно измерять более высокие температуры, чем ртутными.

^{31}Ga
Галлий
69,72

Кларк, г/т	19
Плотность, г/см³	5,91
t плавления, °С	29,77

Галлий может расплавиться в теплой руке

Галлий очень востребован в полупроводниковой промышленности, в которой используются арсенид и нитрид галлия. Для получения полупроводников требуется металл очень высокой степени чистоты — до 99,99999%. Полупроводники на основе галлия работают в светоизлучающих диодах, в лазерах, дающих синее и ультрафиолетовое излучение, в солнечных батареях. Благодаря резко возросшему производству цена на галлий чистотой 99,9999% упала с 3000 долларов за 1 кг в 1959 г. до 320 долларов в апреле 2013 г. Мировое производство галлия составляет около 200 тонн в год.

^{49}In

Индий

114,82

Кларк, г/т	0,25
Плотность, г/см^3	7,30
t плавления, °C	156,6

Индий

В 1863 г. в немецком «Журнале практической химии» появилось сообщение директора Металлургической лаборатории Фрайбергской горной академии Фердинанда Райха (1799–1882) и его ассистента Иеронима Теодора Рихтера (1824–1898) об открытии нового металла.

«При анализе местных полиметаллических руд мы получили в спектроскопе столь яркую, резкую и устойчивую синюю линию, что без колебаний пришли к выводу о существовании неизвестного металла, который мы предлагаем назвать индием». Концентраты солей нового элемента обнаруживались без спектроскопа — по интенсивному синему окрашиванию пламени горелки. Этот цвет был очень похож на цвет красителя индиго, отсюда — название элемента.

Индий — редкий элемент, он не образует своих минералов. Получают его из отходов и промежуточных продуктов производства цинка, свинца и олова. Индий легко плавится при невысокой температуре и используется как компонент легкоплавких припоев и сплавов. Кстати, точная температура его плавления, 156,5985 °C, является одной из опорных точек международной температурной шкалы. Индий очень хорошо отражает свет и не тускнеет на воздухе. Поэтому им покрывают зеркала телескопов и прожекторов. Смесь оксидов индия и олова обладает необычным свойством: она прозрачна и хорошо проводит электрический ток. Это свойство используют в производстве электронных дисплеев — одной из основных областей применения индия.

Тонкой токопроводящей пленкой, содержащей индий покрывают ветровые стекла самолетов: при

«В группе, куда принадлежит алюминий, ему соответствуют его аналоги: галлий, индий и талий. Все три встречаются в природе столь малыми количествами и так редко, что только приемами спектральных исследований была возможность их открыть».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Натуральный краситель индиго дал название химическому элементу

пропускании небольшого тока выделяющееся тепло не дает стеклу обледенеть. Мировое производство индия в 2012 г. составило 670 тонн.

«Индий... получил свое название потому, что придает пламени газовой горелки голубое окрашивание, зависящее от свойственной ему индигово-синей спектральной черты».
Д. И. Менделеев. Основы химии

Таллий

Английский физик и химик У. Крукс, изучая отходы сернокислотного производства, записал 7 марта 1861 г. в своем лабораторном журнале: «Зеленая линия в спектре, даваемая некоторыми порциями селеновых остатков, не обусловлена ни серой, селеном, теллуром; ни кальцием, барием, стронцием; ни калием, натрием, литием». Действительно, это была линия нового элемента, название которого произведено от *греч.* thallos — зеленая ветвь.

Таллий — легкоплавкий металл, а его амальгама (сплав с ртутью) имеет рекордно низкую для сплавов температуру плавления: минус 61 °С. Кристаллы иодида натрия, активированные таллием, дают яркие вспышки при попадании частиц высокой энергии. Такие кристаллы используют в качестве сцинтилляторов, т. е. веществ, излучающих свет при поглощении гамма-квантов, электронов, альфа-частиц, при радиографической диагностике многих заболеваний.

В 1907 г. итальянский геолог Энрико Клеричи (1862–1938) разработал состав очень тяжелой жидкости. Жидкость Клеричи — водный раствор таллиевых солей муравьиной и малоновой кислот. Из водных растворов это самая тяжелая жидкость: ее плотность может достигать 5 г/см^3. В ней плавают гранит, кварц, корунд. Ее применяют для разделения твердых порошкообразных веществ или для определения их плотности. Она высокотоксична, как все соли таллия. Мировое производство таллия в 2012 г. составило 10 тонн. Таллий получают как побочный продукт производства меди и цинка.

81 **Tl**
Таллий
204,38

Кларк, г/т	0,85
Плотность, г/см^3	11,86
t плавления, °С	303,8

Таллий на воздухе быстро окисляется

Группа углерода

6
C
Углерод
12,01

Кларк, г/т	200
Плотность, г/см³:	
алмаз	3,52
графит	2,27
t плавления, °C	3550

«Углерод... есть элемент, общий углю, веществам, которые из него могут быть получаемы, и тем веществам, из которых его можно получить. Углерод может принять форму угля, но является и в форме алмаза и графита».
Д. И. Менделеев. Основы химии

Бриллиантовые серьги Марии-Антуанетты

Углерод

Русское название этого элемента означает «рождающий уголь». Международное название происходит от *лат.* carbo — «уголь», связанного с древним корнем kar — «огонь». Углерода в земной коре лишь сотые доли процента. Но без этого элемента невозможна жизнь.

Углерод входит в состав практически всех органических соединений, которых известно десятки миллионов. При горении атомы углерода соединяются с атомами кислорода и превращаются в углекислый газ. А при нагревании без доступа воздуха многие органические соединения превращаются в уголь, например в древесный. Если облить крепкой серной кислотой сахарную пудру, она тоже превратится в уголь. Углерод — главная составная часть угля, нефти и природного газа. В виде солей угольной кислоты — карбонатов — углерод входит в состав многих минералов, в числе которых мел, известняк, мрамор, доломит, малахит. Около двух триллионов тонн углерода содержится в атмосфере в составе углекислого газа и в десятки раз больше растворено в воде морей и океанов.

Известно много разновидностей углерода. Самые известные — алмаз и графит. В 1772 г. А. Л. Лавуазье доказал, что при сжигании угля и алмаза образуется одно и то же вещество — углекислый газ. Спустя два столетия после опытов Лавуазье ученые смогли в лаборатории создать условия, при которых возможно образование алмазов. Алмаз можно получить искусственно из графита при высоких давлениях и температурах. В 2012 г. мировое производство синтетических алмазов, используемых в технике, достигло 1000 тонн при цене всего лишь около 1 доллара за карат. Эти алмазы имеют невзрачный вид, но по твердости мало отличаются от природных. Разительные отличия свойств алмаза и графита объясняются разным способом соединения атомов углерода друг с другом. У алмаза все связи между атомами одинаковые и прочные, твердым получается и сам кристалл.

Немного отличается от алмаза по строению другая очень твердая разновидность углерода — лонсдейлит. Как показали расчеты, в отсутствие при-

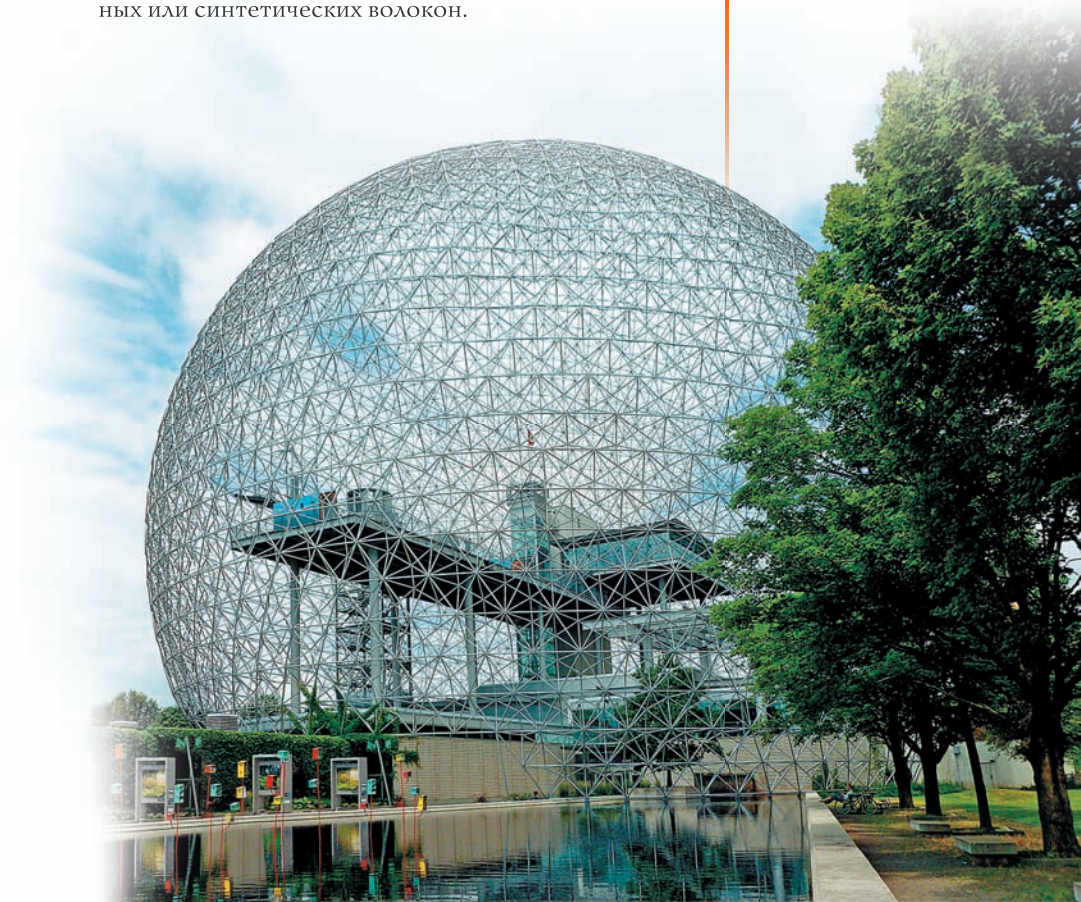
месей лонсдейлит был бы в полтора раза тверже алмаза. У графита слоистое строение, его кристалл похож на стопку бумаги, которая трудно режется, но легко рассыпается на отдельные слои.

Из графита делают не только карандаши, но и электроды для батареек, контакты для электромоторов, тигли для плавки металлов, вкладыши для подшипников, сопла ракетных двигателей и детали конструкций атомных реакторов. Добыча графита приближается к миллиону тонн в год!

В пламени свечи ярко светятся мельчайшие раскаленные частицы углерода. При недостатке воздуха они образуют сажу. Из сажи делают художественные и типографские краски, тонеры для заправки принтеров и ксероксов. В больших количествах сажа используется при производстве резины. Легкий, пористый, как губка, активированный уголь содержит огромное количество мельчайших пор и каналов. Такой уголь используют для очистки воздуха и питьевой воды, сахара и спирта, для извлечения иода из нефтяных вод.

Огнеупорную углеродную ткань (карбон, углеткань) получают термической обработкой природных или синтетических волокон.

Один из так называемых геодезических куполов, созданных фуллером, состоит из правильных геометрических фигур



Графитовые стержни применяют в электропечах как нагреватели

Неожиданностью стало открытие в 1985 г. новой разновидность углерода — бакминстерфуллерена, названного в честь архитектора Ричарда Бакминстера Фуллера (1895–1983). Это «шарик» из 60 атомов углерода, похожий по строению на футбольный мяч, уменьшенный в 300 миллионов раз (12 пятиугольников и 20 шестиугольников).

Существует множество замкнутых структур с другим числом атомов углерода, до нескольких сотен. Бесконечно разнообразны также построенные из атомов углерода нанотрубки. В последние годы была открыта новая форма углерода — графен, сетка из атомов углерода толщиной всего в один атом. Предполагается, что на его основе можно будет создать суперминиатюрные транзисторы и другие устройства.

Радиоактивный изотоп углерода ^{14}C с периодом полураспада 5730 лет непрерывно образуется в верхних слоях атмосферы под действием космического излучения. По его содержанию в обычном углероде можно, например, определить, когда горел костер первобытного человека или был изготовлен поднятый со дна моря древний корабль.

В теле человека массой 70 кг содержится примерно 15 кг углерода.

Бриллиант — ограненный алмаз

14 **Si**

Кремний

28,09

Кларк, г/т	282000
Плотность, г/см³	2,33
t плавления, °C	1414

Кремний

После кислорода кремний — самый распространенный элемент в земной коре. Он образует множество минералов. В основном это алюмосиликаты, содержащие кремний, алюминий и кислород, а также ряд других элементов, чаще всего натрий, калий и магний. Из алюмосиликатов построена половина земной коры. Самые распространенные из них — полевые шпаты, глины, слюды.

Самородный кремний — геологическая редкость; его микроскопические включения в другие минералы нашли в 1967 г. в Якутии — на северо-востоке Российской Федерации. А в 2012 г. группой российских и австрийских геохимиков самородный кремний был обнаружен в лунном метеорите (он был выбит с поверхности Луны ударом астероида и затем попал на Землю).

Драгоценные камни берилл, аквамарин, гранат, изумруд, топаз, турмалин, циркон — это тоже силикаты. Высушиванием раствора кремниевой кислоты получают силикагель, который служит хорошим

осушителем. Его применяют для осушки воздуха и других газов.

Кварц — это диоксид кремния; горный хрусталь, аметист, цитрин, авантюрин, яшма, тигровый глаз и др. — разновидности кварца, нередко окрашенного примесями. Чистый белый песок на пляже — это чистый кварц. А кварц с примесями — это креме́нь.

Из чистого плавленого кварца изготовляют лабораторную посуду, которая не боится ни жары, ни холода: кварцевую трубку или пробирку можно раскалить добела, а потом опустить в воду, и она не потрескается.

Кварцевое стекло пропускает ультрафиолетовое излучение, поэтому из кварца делают лампы, излучающие ультрафиолетовый свет.

Кремний в свободном виде впервые выделил (в виде аморфного порошка) в 1824 г. шведский химик Й. Я. Берцелиус; он же понял, что кремний — химический элемент. Русское название кремния произошло от старославянского слова «креме́нь» — твердый камень. Таково же происхождение латинского названия элемента silicium (и международного слова «силикат»): silex — «камень, булыжник», а также «утес, скала». Понятно, что скал из мягких камней не бывает. Этот же корень — в таких терминах как «силикагель», «силиконы» и др., т.е. содержащие кремний. От латинского названия произошло и английское silicon — «кремний». Поэтому Silicon Valley следует переводить только как «Кремниевая долина», но никак не «силиконовая»: силикон (*англ.* silicone) — это кремнийорганический поли-

Аметист — розовая или красно-фиолетовая разновидность кварца

Чистый песок состоит из кварца

Дымчатый кварц — раухтопаз

Кристаллический кремний

мер. Силиконы входят в состав масел, смазок, каучуков, смол, герметиков, охлаждающих жидкостей, пеногасителей и др.

Кремний — обязательная составная часть стекла, из которого делают бытовую и лабораторную посуду, аппараты для химических и фармацевтических заводов, художественные изделия, окна в домах и в транспорте. Специальная обработка придает стеклу особую прочность.

Очень высокими эксплуатационными свойствами обладают силиконовые каучуки. В косметике находят применение силиконовые трансплантаты.

Во второй половине XX в. все большее количество кремния высокой степени очистки потребовалось для промышленности полупроводников, солнечных батарей, кварцевых часов.

Мировое производство кремния в 2012 г. составило около 7,6 млн тонн. Но высокочистого кремния получают намного меньше — порядка 30 тысяч тонн в год.

Кремний является жизненно важным элементом для некоторых организмов. Из растений его концентрируют хвощи и злаки, из морских организмов — диатомовые водоросли, радиолярии, губки.

Содержание кремния в организме среднего человека — примерно 1,5 г.

^{32}Ge

Германий

72,59

Кларк, г/т	1,5
Плотность, г/см^3	5,32
t плавления, °C	938,2

Германий занимает промежуточное положение между металлами и неметаллами

Германий

Элемент № 32 был предсказан Д. И. Менделеевым (он назвал его эка-кремнием) и открыт в 1885 г. немецким химиком Клеменсом Александром Винклером (1838–1904).

Сначала металл приобрел свое имя, данное ему в честь родины Винклера. А главное — он превратился в исключительно востребованное вещество. Была уточнена и формула минерала, в котором его впервые обнаружили: Ag_8GeS_6. Хотя германия в земной коре больше, чем, например, молибдена и вольфрама, собственные минералы германия редки, и он относится к так называемым рассеянным элементам. Получают германий как побочный продукт переработки полиметаллических руд. Интересно, что много германия (до 1–2%) содержится в золе от сжигания каменного угля.

По своим свойствам германий занимает промежуточное место между типичными металлами и неметаллами. Например, электропроводность герма-

ния в 300 тысяч раз меньше, чем у меди, и он является типичным полупроводником. Именно поэтому в 1947 г., когда начала развиваться радиоэлектронная промышленность, на основе германия был создан первый транзистор.

Со временем кремний вытеснил германий из транзисторов, но для германия нашлись новые важные применения. Оказалось, что непрозрачные диски из германия хорошо пропускают инфракрасное излучение и потому незаменимы в производстве приборов ночного видения — «тепловизоров».

Диоксид германия имеет очень высокий показатель преломления и используется в производстве волоконной оптики. В ядерной физике германий используют как детектор гамма-излучения. Нужен германий и в производстве солнечных элементов для спутников. Соответственно в послевоенные годы его производство начало быстро расти. Так, с 1945 по 1949 г. получали всего несколько сотен килограммов германия в год, а в 2012 г. его мировое производство составило 128 тонн.

«Непосредственно за кремнием следует тот экасилиций, или германий Ge = 72, свойства которого можно было предугадать по Периодическому закону ранее того (в 1871 г.), как проф. К. Винклер (1886) во Фрейберге (Саксония) открыл этот элемент в особой серебряной руде, названной аргиродитом Ag_6GeS_5».
Д. И. Менделеев. Основы химии

Олово

Олово — один из семи металлов, известных с древних времен. Римляне олово называли plumbum album — «белым свинцом», в отличие от plumbum nigrum — черного, или обыкновенного, свинца. Химический знак для олова, Sn, происходит от *лат.* stannum; это слово связано с санскритским sta, означающим «стойкий», «прочный».

Русское слово «олово», возможно, произошло от *греч.* alophoys — «белый», что указывает на цвет металла. В русский язык оно попало в XI в. и обозначало как олово, так и свинец. Раньше вообще эти два металла плохо различали. И до сих пор в ряде славянских языков (болгарском, сербском, хорватском, чешском, польском) свинец называется оловом.

Сразу заметна возможная путаница не только олова со свинцом (а металлы внешне действительно похожи: оба тяжелые и легкоплавкие), но и с цинком. Кстати, латинские названия этих элементов (stannum, plumbum) четко прослеживаются в современном итальянском языке: «олово» — stagno (читается «станьо»), «свинец» — piombo; то же в испанском: «олово» — estaño («эстаньо»), «свинец» — plomo.

50 **Sn**
Олово
118,69

Кларк, г/т	2,3
Плотность, г/см³	7,29
t плавления, °C	231,9

Сверху — белое олово, снизу — порошок серого

Оловянная коробочка, 1914 г.

Из мягкого легкоплавкого олова раньше делали игрушки

«Олово встречается в природе редко, в жилах древних пород, почти исключительно в виде окиси SnO^2, называемой оловянным камнем... Окись олова восстанавливается весьма легко, чрез нагревание с углем, в металлическое олово. Оттого олово знали еще в древности, и еще финикияне везли [его] из Англии... Олово мягче серебра и золота, и только свинец превосходит его в этом отношении».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Олово изредка встречается в самородном виде, но гораздо чаще — в виде соединений с кислородом и серой. Промышленное значение имеет диоксид олова — минерал касситерит («оловянный камень»). Греки называли олово kassiteros; от этого слова произошло и древнее названию Британских островов — Касситериды: там добывали олово, которое оттуда привозили на материк финикийцы. Оловянные рудники Англии привлекали внимание древних римлян и стали одной из причин захвата ими Британских островов.

Олово — мягкий легкоплавкий металл, обладающий рядом особенностей. Если палочку из олова быстро согнуть, можно услышать характерный треск: это трутся друг о друга кристаллы олова. Ниже 13,2°С более устойчива другая модификация олова — так называемое серое олово. Самопроизвольный переход белого олова в серое сопровождается сильным увеличением (на 25,6%) его объема, и металл рассыпается в порошок. Этот процесс ускоряется с понижением температуры; максимум достигается при –33 °С. Такой переход резко ускоряется в присутствии хотя бы небольшого количества серого олова; оно как бы «заражает» белое. Недаром этот процесс назвали «оловянной чумой». Считают, что он был главной причиной гибели в 1912 г. экспедиции Роберта Скотта к Южному полюсу: оловом были паяны жестяные емкости с топливом, и на морозе они прохудились.

Олово устойчиво к коррозии, не токсично, поэтому оловом покрывают жесть консервных банок («луженая жесть»). Сплав 1/3 свинца и 2/3 олова («третник») плавится при 182 °С — на 50° ниже, чем чистое олово и на 145° ниже, чем свинец. Сплав используют для пайки металлов.

Но больше всего олова расходуется на получение бронзы — сплава олова с медью и баббита — антифрикционного сплава олова с медью, сурьмой, свинцом и др. металлами. Он был назван в честь американского изобретателя Исаака Бэббита (1799–1862). Баббиты используются в производстве подшипников, так как они резко снижают трение. До середины XX в. олово широко использовалось для отлива разнообразных детских игрушек, самые известные из которых — оловянные солдатики. Мировое производство олова в 2012 г. составило 230 тысяч тонн.

Свинец

Свинец относится к семи металлам, известным в древности. И это не удивительно: изредка свинец встречается в самородном виде; выплавить его из свинцовой руды также несложно.

Греки называли этот металл molybdos. Происхождение русского слова «свинец» неясно. Английское название свинца lead и голландское lood, возможно, связаны с нашим «лудить», хотя лудят оловом. Свинец не только тяжелый, но и мягкий, оставляющий серый след на бумаге; по-немецки карандаш — Bleistift, дословно — «свинцовый стержень». Латинское название свинца plumbum дало английское слово plumber — «водопроводчик» (когда-то стыки труб заделывали мягким свинцом).

В земной коре свинца тысячные доли процента, но его гораздо больше, чем ближайших соседей по Периодической таблице — золота, ртути и висмута. Это связано с тем, что изотопы свинца являются конечными продуктами распада урана и тория, так что содержание свинца в земной коре медленно увеличивалось в течение миллиардов лет. А когда Земля только образовалась, в ней из четырех стабильных изотопов свинца был только один, свинец-204; сейчас же его всего 1,4%. По накоплению изотопов ^{206}Pb, ^{207}Pb и ^{208}Pb в минералах, содержащих уран и торий, можно рассчитать, когда данный минерал образовался.

Известно много рудных месторождений, богатых свинцом, причем его легко выделить. Главный минерал свинца — галенит, он же свинцовый блеск, соединение свинца и серы. Если положить куски этого минерала в костер, то сера выгорит и потечет расплавленный свинец (древесный уголь препятствует окислению свинца). Предполагают, что впервые люди выплавили свинец из руд 8 тысяч лет назад. В свинцовых рудах часто находятся также медь, цинк, кадмий, серебро, золото, висмут.

Свинец блестит, как и другие металлы, но на воздухе быстро покрывается темно-серым слоем продуктов окисления. Свинец — один из самых мягких металлов. Он легко царапается ногтем и прокатывается в очень тонкие листы. Его легко расплавить. Эти свойства находили применение с древних времен. За много тысячелетий до новой эры в Месопотамии, Египте из него отливали статуи. Римляне изготовляли из свинца трубы. Тонкими свинцовыми пластинами обшивали деревянные корпуса древних кораблей.

^{82}**Pb**

Свинец

207,2

Кларк, г/т	14
Плотность, г/см^3	11,34
t плавления, °C	327,5

Свинец — тяжелый металл, из него изготовляют свинцовые пули и картечь

«Внешний вид свинца, конечно, известен всякому... синеватый цвет и металлический блеск свежего разреза свинца быстро исчезают при сохранении на воздухе... Его мягкость проявляется в той гибкости, которую имеют свинцовые трубы и листы, в том, что свинец режется ножом, и в том, что он пишет, оставляя серую черту».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Сплавы свинца с оловом и сурьмой когда-то использовали для отливки типографского набора

Свинец тяжелый: он в полтора раза тяжелее железа и вчетверо тяжелее алюминия. В середине XV в. немецкий изобретатель Иоганн Гутенберг (1397/1400–1468) использовал свинец для отливки букв; так появилось книгопечатание; впоследствии Гутенберг использовал сплав свинца, олова и сурьмы. Такой сплав в течение сотен лет применяли во всех типографиях.

Из соединений свинца с древних времен в качестве красной и белой краски использовали оксид свинца — сурик — и основной карбонат свинца.

Почти все картины старых мастеров писаны красками, приготовленными на основе свинцовых белил. В 1673 г. английский стекольный мастер Джордж Равенскрофт (1632–1683), добавив в состав обычного стекла оксид свинца, изобрел искусственный хрусталь, который легко плавится, прекрасно поддается обработке и обладает особым блеском, приближающим его к настоящему горному хрусталю.

Плакат с рекламой свинцовых белил

Один уж тонет,
То захлебнется, то застонет
И как свинец пошел ко дну.

А. Пушкин

Эти пушкинские строки напоминают, что со свинцом неразрывно связано понятие гнета, тяжести. Когда появилось огнестрельное оружие, большие количества свинца пошли на изготовление пуль и дроби. И тогда свинец начал ассоциироваться не только с тяжестью, но и со смертельной опасностью.

Соединения свинца ядовиты. Свинец накапливается в организме и с трудом из него выводится. Он поражает почки, мышцы, нервную систему, мозг. Особенно опасен свинец для детей, так как

вызывает задержку в развитии. Свинец легко может попасть в организм с питьевой водой, если она соприкасалась с металлом: в присутствии углекислого газа в раствор медленно переходит растворимый гидрокарбонат свинца. В Древнем Риме, где для подачи воды использовали свинцовые трубы, такое отравление было весьма распространенным. Достаточно, чтобы в литре воды был всего один миллиграмм свинца — и питье такой воды становится очень опасным. Это количество свинца так мало, что не изменяет ни запаха, ни вкуса воды, и только точные современные приборы могут его обнаружить. Свинцовым отравлением некоторые историки объясняют и болезненность ряда русских царей. Травились в древности не только «свинцовой водой». Свинец широко использовали при изготовлении посуды (свинцовая глазурь), свинцовых белил.

Сейчас такое применение свинца строжайше запрещено. Белила, например, делают на основе оксида цинка или титана. Во многих странах запрещено применение тетраэтилсвинца как добавки к бензину.

Несмотря на ядовитость свинца отказаться от него невозможно. Свинец дешев — вдвое дешевле алюминия, в десять раз дешевле олова. В 1859 г. французский физик Гастон Планте (1834–1889) изобрел свинцовый аккумулятор, а в 1886 г. инженер из Люксембурга Генри Тюдор (1859–1928) значительно его усовершенствовал. С тех пор для изготовления аккумуляторных пластин израсходовали миллионы тонн свинца. Это вызывает многочисленные проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды: свинец дешев, собирание и переработка его отходов нерентабельна.

Мягкий и пластичный свинец, не ржавеющий в присутствии влаги, — незаменимый материал для изготовления оболочек электрических кабелей; на эти цели в мире расходуется до 20% свинца. Малоактивный свинец используют для изготовления кислотоупорной аппаратуры для химической промышленности. Тяжелый свинец хорошо задерживает губительные для человека излучения, и потому свинцовые экраны используются для защиты работников рентгеновских кабинетов. В военной технике — для изготовления шрапнели и сердечников пуль.

В 2012 г. производство металлического свинца в мире составило 5,2138 млн тонн.

Свинцовая пуля для пращи. Греция, IV в. до н. э. На пуле написано: «Лови это»

В свинцовых контейнерах хранят и перевозят радиоактивные препараты

Группа азота

7
N
Азот
14,01

Кларк, г/т	19
Плотность, г/л	1,25
t плавления, °C	–210
t кипения, °C	–196

Азот

Более 200 лет назад ученые установили, что в воздухе есть газ, без которого невозможны дыхание и горение. Его назвали «жизненным воздухом». В 1772 г. шотландский химик, ботаник и врач Даниэль Резерфорд (1749–1819) установил, что при сжигании в стеклянном сосуде фосфора и других горючих веществ объем воздуха уменьшался примерно на 20%. Остаток он назвал «испорченным воздухом».

В том же году английский физик и химик Генри Кавендиш (1731–1810) удалил из воздуха кислород (раскаленным углем) и углекислый газ (щелочью). Оставшийся газ он назвал «удушливым воздухом». Приоритет открытия азота остался за Резерфордом, так как Кавендиш не опубликовал свои наблюдения. В 1787 г. французский химик А.Л. Лавуазье установил, что составные части воздуха — «жизненный воздух» и «удушливый воздух» — это простые вещества, то есть в каждом из них есть атомы только одного сорта. Лавуазье назвал эти газы кислородом и азотом (*франц.* oxygène и azote). Слово azote он произвел от *греч.* zoos — «живой» и отрицательной приставки. Лавуазье имел в виду «не поддерживающий жизни»: в атмосфере азота мышь у Лавуазье погибала, свеча гасла. Но оказалось, что название это неудачное: азот — важнейший элемент жизни, он входит в состав всех белков и ДНК; в организме среднего человека содержится примерно 2 кг азота.

Слово «азот» стало интернациональным, однако в немецком языке азот и сейчас называют «удушливым веществом» (Stickstoff). Латинское название азота nitrogenium происходит от *др.-евр.* neter или от *др.-егип.* niter. Этот термин попал в греческий (nitron) и латинский (nitrum); так в древности называли природную щелочь — соду, а позднее — селитру. Селитра — это соль азотной кислоты.

На Земле основная масса азота находится в атмосфере в свободном виде: воздух на $^4/_5$ состоит из газообразного азота. В молекуле азота N_2 два атома соединены друг с другом так прочно, что разорвать эту связь исключительно трудно. А чтобы азот вошел в состав какого-нибудь химического соединения,

«Правильное представление об азоте воздуха получается только тогда, когда узнаем, что в чистом кислороде животные не могут долго жить, даже умирают, и что азот воздуха, хотя лишь медленно и мало-помалу, образует разнообразные соединения, часть которых играет важнейшую роль в природе, особенно в жизни организмов».

Д. И. Менделеев. Основы химии

эту связь необходимо предварительно разорвать или ослабить. Поэтому газообразный азот очень инертен и при обычных условиях исключительно неохотно вступает в химические реакции. Значительно легче происходит обратный процесс — превращение азота, входящего в состав различных веществ, в газообразный «безжизненный» азот. Свободный азот всегда образуется при горении веществ, содержащих этот элемент.

Предполагают, что и в воздухе азот образовался в результате химической реакции аммиака с кислородом. Произошло это на ранних стадиях развития Земли, когда в атмосфере было много аммиака. Аммиака очень много на Сатурне и Юпитере, но на этих планетах нет кислорода.

Малая химическая активность газообразного азота создает большие проблемы для всего живого. Ведь животные, в том числе и человек, «строят» свой организм из уже готовых веществ, содержащих необходимый им азот в «связанном» виде в составе пищи. Животные питаются другими животными и растениями, а растения получают питательные вещества из воздуха и почвы. Только сельскохозяйственные культуры ежегодно уносят с полей около 30 млн тонн азота. Запасы азотных соединений в почве частично пополняются за счет особых бактерий, умеющих превращать азот воздуха в различные вещества. Некоторое количество азота связывается с кислородом при ударе молний. Но всего этого недостаточно, и азотные удобрения необходимо регулярно вносить на поля: они играют решающую роль в повышении урожая всех сельскохозяйственных культур. Богатейшим источником азота в течение десятков лет являлась чилийская селитра — природный нитрат натрия.

Залежи селитры с целью получения удобрений, а также пороха начали разрабатывать еще в начале XIX в. В 1887 г. экспорт чилийской селитры достиг 500 тысяч тонн в год, а в начале XX в. исчислялся уже миллионами тонн. Запасы чилийской селитры стремительно истощались, тогда как потребность в нитратах росла очень быстро. Постоянно растущему населению Земли грозил голод от снижения урожайности. Ситуация казалась безвыходной, пока немецкий химик Фриц Габер (1868–1934) не разработал в начале XX в. метод связывания атмосферного азота в аммиак. Для этого он использовал высокую

Из сосуда Дьюара, наполненного жидким азотом, вынули пробку. Белый дым — влага воздуха, превратившаяся от холода в туман

Азот необходим растениям

Высокочистый баллон со сжатым азотом

температуру и давление, а также катализатор. Превращать аммиак в нитраты и другие соединения азота химики уже умели. Некоторые историки считают, что без этого изобретения Германия не смогла бы вести войну дольше нескольких месяцев, и вся мировая история пошла бы иначе.

В настоящее время производство аммиака ежегодно забирает из атмосферы примерно 100 млн тонн азота. Получаемый аммиак в значительной степени расходуется на производство удобрений на азотно-туковых заводах.

Неисчерпаемый источник азота — атмосфера: в ней содержится 12,5 млн тонн азота на 1 км^2 поверхности. Азот получают из сжиженного воздуха: он кипит при более низкой температуре, чем жидкий кислород. В 2012 г. было получено 137 млн тонн азота. Газообразный азот применяют, если нужно создать инертную атмосферу, например защитить расплавленный металл от кислорода воздуха. Иногда же, наоборот, поверхность металла специально насыщают азотом, при этом металл становится более прочным.

Инертный азот используют при перекачке горючих жидкостей, чтобы они не воспламенились. Им наполняют непроницаемые для воздуха упаковки с продуктами. Автомобильные подушки безопасности в случае аварии моментально надуваются азотом (он получается при быстром разложении специально подобранных веществ). Жидкий азот, имеющий очень низкую температуру (–196 °C), применяют в холодильных установках.

Жидкий азот, налитый в стакан, быстро википает

Фосфор

Когда в 1669 г. гамбургский алхимик Хенниг Бранд (ок. 1630 — после 1710) в поисках мифического «философского камня» случайно получил белый фосфор, он был поражен его свечением в темноте (на самом деле светится не фосфор, а его пары при их окислении кислородом воздуха). Бранд назвал новое вещество фосфором.

Греки словом phosphoros (дословно «несущий свет») могли назвать факельщика; так же поэтически называли утреннюю Венеру, которая предвещала восход солнца. «Свет» по-гречески — phos (род. падеж photos: отсюда слова «фотон», «фотография» и многие другие); phoros — «несущий». Так что слова «светофор» и «фосфор» этимологически родственны.

В 1769 г. шведский химик Ю. Г. Ган обнаружил, что много фосфора содержится в костях. Вскоре фосфор был обнаружен в природных минералах — фосфорите и апатите. Они содержат фосфат кальция, соль фосфорной кислоты. Именно из этих минералов получают фосфор в настоящее время. Минерал смешивают с углем и песком и нагревают до 1600 °С без доступа воздуха в электрической печи. Выделяющиеся пары фосфора охлаждают и получают бледно-желтое воскообразное вещество, мягкое, как воск. Эту разновидность фосфора назвали белым фосфором. Он более ядовит, чем цианистый калий, и исключительно огнеопасен: на воздухе самовоспламеняется при температуре всего 34 °С. Хранят белый фосфор под водой.

В 1831 г. 19-летний французский студент Шарль Сориа (1812–1895) изобрел первые спички. Он намазывал на деревянные палочки смесь из белого фосфора, бертолетовой соли, растительной камеди и некоторых добавок. Достаточно было чиркнуть такой спичкой о любую шероховатую поверхность, как повышение температуры в результате трения воспламеняло смесь, а от нее загоралась палочка. Массовое производство спичек наладил в 1832 г. немецкий химик Якоб Фридрих Каммерер (1796–1857), который изобрел фосфорные спички самостоятельно. Фосфорные спички стали исключительно популярны, и в результате спрос на белый фосфор резко возрос. В Россию фосфорные спички впервые попали в 1836 г. Однако они были чрезвычайно опасны — производство и потребление этих спичек сопровождались многочисленными пожарами и отравлениями. В конце концов такие спички были запрещены.

15
P
Фосфор
30,97

Кларк, г/т	1050
Плотность, г/см³	1,82
t плавления, °С	44,2

Белый фосфор

«Почти нет ни одного каменистого вещества, составляющего массу земной коры, в состав которого не входило бы хотя немного солей фосфорной кислоты».
Д. И. Менделеев. Основы химии

Более безопасными оказались так называемые бесшумные спички, которые изобрел венгерский химик Янош Ирини (1817–1895). Он заменил бертолетову соль на диоксид свинца, и реакция пошла более спокойно. Но белый фосфор оставался ядовитым. Проблема была решена в 1847 г., когда австрийский химик Антон Шреттер фон Кристелли (1802–1873) обнаружил, что если белый фосфор нагревать без доступа воздуха, он превращается в неизвестную до этого разновидность — красный фосфор, который хорошо горит и неядовит. «Шведские спички» были изобретены в 1848 г. немецким химиком Рудольфом Беттгером (1806–1881). Впервые их массовое производство наладили в 60-е гг. XIX в. братья Лундстрем на юге Швеции, поэтому спички стали называть шведскими.

Янош Ирини на венгерской почтовой марке

Академик А. Е. Ферсман называл фосфор «элементом жизни и мысли». Действительно, без фосфора жизнь невозможна. В человеке в среднем содержится около 0,8 кг этого элемента; он находится в костях, мышцах, нервах и мозге. Ежедневно человек должен получать с продуктами питания примерно 1,2 г фосфора. Необходим фосфор и растениям. Они «вытягивают» фосфор (в виде его растворимых солей) из земли и снабжают им травоядных животных. Ежегодно во всем мире с урожаем уносятся с полей миллионы тонн фосфора, который необходимо возмещать. Почти весь добываемый (в виде минералов) фосфор идет на получение фосфорных удобрений, из которых самое известное — суперфосфат, впервые полученный еще в 1839 г.

33
As
Мышьяк
74,92

Кларк, г/т	1,8
Плотность, г/см³	5,73
t плавления, °C	816,81

Мышьяк

Русское название мышьяка, вероятно, связано с ядом, которым травили мышей; помимо прочего, по цвету серый мышьяк напоминает мышь.

Латинское название (arsenicum) восходит к греческому arsenikon. Так греки называли аурипигмент — минерал яркого золотисто-желтого цвета (от *лат.* aurum — «золото»; auripigmentum — «золотая краска»). По составу это сульфид мышьяка. Раньше соединения мышьяка в очень малых дозах применяли для борьбы с малокровием и другими за-

болеваниями; поэтому не исключено, что греческие слова arsenikon — «минерал» и arsenikos — «мужской», «сильный» связаны друг с другом.

В I в. н. э. аурипигмент описали римский писатель и ученый Плиний Старший и римский врач и ботаник Диоскорид (ок. 40 — ок. 90). Еще один минерал мышьяка (смешанный сульфид серебра и мышьяка, мышьяково-серебряная обманка) получил название прустита — в честь французского химика Жозефа Луи Пруста (1754–1826). В природе мышьяк встречается в самородном виде, но намного чаще в виде соединений. Мышьяк образует множество минералов, их применяли для производства красок и лекарств. В IV в. до н. э. Аристотель описал минерал реальгар; как и аурипигмент, это сульфид мышьяка, но другого состава. При обжиге таких минералов мышьяк легко окисляется и возгоняется в виде оксида. В XI в. алхимики различали три «разновидности» мышьяка: белый мышьяк (оксид мышьяка), желтый мышьяк и красный мышьяк (два сульфида мышьяка). Белый мышьяк использовали с древних времен для уничтожения вредителей, а также... соперников.

Мышьяк, вероятно, можно отнести к одному из самых противоречивых химических элементов. Действительно, с одной стороны, это страшный яд (хотя известны практически неядовитые мышьяковые соединения). С другой — соединения мышьяка с древних времен применяются как лекарственные средства. Ничтожные следы мышьяка в питьевой воде — бедствие для десятков миллионов жителей многих стран, и в то же время мышьяк в значительных количествах содержится в некоторых лечебно-столовых минеральных водах. Соединения мышьяка вызывают рак, и они же используются в онкологии как противоопухолевые препараты. Здесь уместно вспомнить изречение знаменитого средневекового врача Парацельса: «Все есть яд, и ничто не лишено ядовитости; одна лишь доза делает яд безопасным». Недаром алхимический символ мышьяка — змея — вошел составной частью в герб медицины.

В земной коре мышьяк часто встречается в минералах совместно с железом, медью, кобальтом, никелем, золотом и изредка — в виде самородков. Уникален мышьяк тем, что сильно рассеян и встречается повсюду — в горных породах, почве, воде, растениях и животных. Во влажном климате мышьяк вымывается из почвы и уносится грунтовыми водами, а затем — реками. Среднее содержание мышьяка в реках и морях 1–3 мкг/л, в почвах от 0,1 до 40 мг/кг. Но в области залегания мышьяковых руд, а также в вул-

Прустит — минерал мышьяка

«Ближайший аналог фосфора есть мышьяк, металлическим видом и, что гораздо важнее, — характером своих соединений... уже напоминающий металлы… Мышьяковистый водород при накаливании... легко разлагается на металлический мышьяк и водород... Металлический мышьяк отлагается в виде зеркального блестящего слоя вслед за тем местом трубки, которое было накалено. Эта реакция настолько чувствительна, что дает возможность открывать малейшее количество мышьяка, чем и пользуются в судебно-медицинских исследованиях в случае отравы мышьяком».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Термальные воды на территории Национального парка Йеллоустон богаты мышьяком

канических районах мышьяка в почве может быть в сотни раз больше — до 8 г/кг.

В организм человека мышьяк попадает в микродозах со многими продуктами питания. Так, в морепродуктах его содержится в среднем около 5 мг/кг, в мясе и зерновых — 0,5 мг/кг, а вот в овощах и фруктах мышьяка почти нет. В живом веществе мышьяка в среднем содержится $6 \cdot 10^{-6}$ %, т. е. 6 мкг/кг. Некоторые морские водоросли способны концентрировать мышьяк в такой степени, что становятся опасными для людей. Содержание мышьяка в организме взрослого человека — около 20 мг. Он находится в мозговой ткани и в мышцах, накапливается в волосах и ногтях. Присутствуя в организме в очень малых количествах, мышьяк благотворно влияет на процессы кроветворения обмен веществ, скорость роста тканей, толщину костей; предполагают, что микродозы мышьяка повышают иммунитет. Мышьяк — сырье для производства полупроводника арсенида галлия.

Криминалисты научились безошибочно распознавать отравления мышьяковистыми соединениями. Очень чувствительную реакцию на мышьяк открыл английский химик Джеймс Марш (1794–1846), который работал в Королевской военной академии и был ассистентом знаменитого физика Майкла Фарадея. Марш мог обнаруживать мышьяк в количествах до 0,001 мг.

Сурьма

В русском языке у этого элемента три разных названия! Химический элемент и простое вещество мы называем сурьмой. В формулах химики произносят Sb как «стибиум». А соединения сурьмы с металлами называются антимонидами (соли же сурьмяной кислоты — антимонаты). Происхождение всех этих терминов разное.

Русское слово «сурьма» происходит от турецкого sürme — натирание или чернение бровей: в древности краской для этой цели служил тонко размолотый природный сульфид сурьмы.

Латинское название элемента (stibium) происходит от греческого stimmi, которое в свою очередь восходит к древнеегипетскому stm — косметическому средству для подведения глаз и лечения глазных болезней. Происхождение же термина «антимоний» в точности неизвестно. Вероятно, название связано с греческим anthemonion — «маленький цветок»: сростки игольчатых кристаллов минерала антимонита (стибнита, сурьмяного блеска) похожи на цветы.

Есть и шуточная версия, основанная на народной этимологии и изложенная в рассказе Ярослава Гашека «Камень жизни». Согласно ей, в 1460 г. некий игумен Леонардус так экономил на пропитании монахов, что они не брезговали даже кашей из отрубей, предназначенной монастырским свиньям, которые из-за этого сильно отощали. Игумен в поисках «эликсира жизни» в ходе своих алхимических занятий случайно получил какой-то зернистый порошок, который выбросил во двор. Но вскоре он заметил, что свиньи стали быстро набирать жир. Оказалось, что они подлизывают выброшенный порошок. Отсюда Леонардус заключил, что он открыл чудодейственное питательное средство. На основании своей гипотезы игумен велел добавить в предназначенную для монахов кашу истолченный в порошок «камень жизни». К утру все сорок монахов скончались. Тогда Леонардус и назвал якобы открытое им вещество «антимонием», то есть средством «против монахов». И действительно, сурьма и ее сое-

^{22}Sb
Сурьма
121,75

Кларк, г/т	0,2
Плотность, г/см^3	6,69
t плавления, °C	630,8

Слиток особо чистой сурьмы

Дама с котиком. Каджарский Иран. Неизвестный художник. Ок. 1840 г.

«Другой аналог фосфора есть сурьма (Stibium) (антимоний)… Она по внешнему виду и по свойству своих соединений еще более и совершеннее, чем мышьяк, подходит к металлам».

Д. И. Менделеев. Основы химии

динения токсичны. Сурьма накапливается в щитовидной железе и угнетает ее функцию. В среднем человеке содержится менее 1 мг сурьмы. В природе сурьма изредка встречается в самородном виде, но обычно — в виде ее соединений с серой и кислородом, а также с железом, свинцом и другими металлами. Сурьма используется в сплавах со свинцом (придает свинцу прочность), а также в производстве спичек.

83 Bi

Висмут

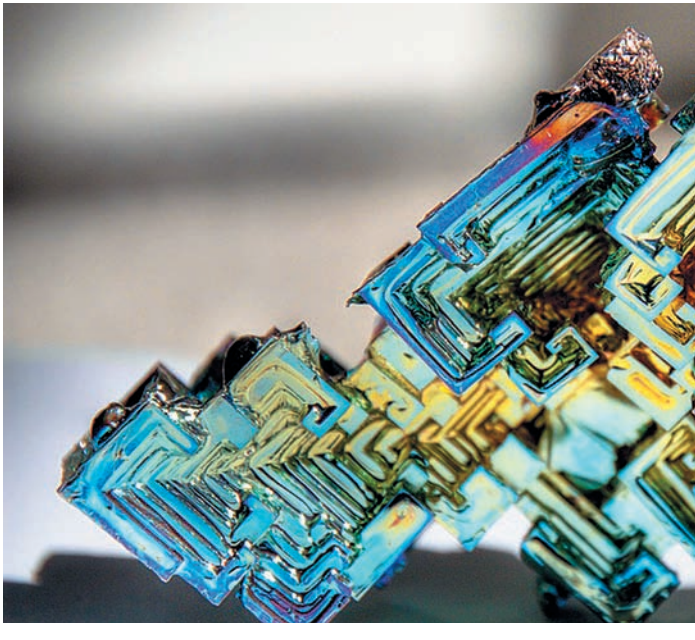
208,98

Кларк, г/т	0,0085
Плотность, г/см^3	9,72
t плавления, °C	271,4

Висмут

По одной из версий, русское название элемента — это искаженное немецкое weiße Masse — «белая масса» (в средневековом немецком wiss — «белый», Matte — пустая порода). По другой версии, название висмута произошло от арабского bi ismid — «обладающий свойствами сурьмы» (*араб.* al-ithmid — «сурьма»).

В Средние века висмут называли plumbum cinereum, в переводе — «пепельный свинец, свинцовая зола»: предполагали, что это не самостоятельный металл, а разновидность свинца. Висмут — последний стабильный химический элемент; все следующие за ним радиоактивны. Это малоактив-



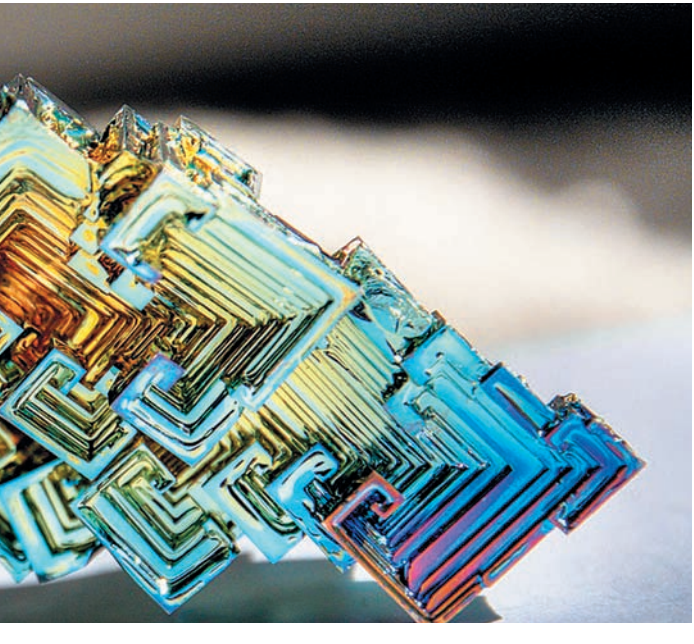
Синтезированные кристаллы висмута

ный металл, и потому иногда он встречается в природе в самородном виде. Масса некоторых самородков достигает 15 кг. В основном висмут получают одновременно со свинцом, медью и оловом при переработке их руд (такая руда может содержать лишь десятые, а иногда и сотые процента висмута).

Самое известное применение висмута — изготовление на его основе легкоплавких сплавов. Чаще других применяют сплав Вуда, который изобрел в 1860 г. американский зубной врач Барнабас Вуд (1819–1875). Сплав содержит 50% висмута, 25% свинца и по 12,5% олова и кадмия. Плавится он при 68,5 °С, хотя каждый из исходных металлов имеет значительно более высокую температуру плавления. Рассказывают о шутнике, который изготовлял из сплава Вуда чайные ложки; в руках ничего не подозревающего приятеля такая ложка неожиданно стекала на дно стакана... Подобные сплавы используются в электрических предохранителях, в качестве легкоплавких припоев. Висмут используют при изготовлении полупроводниковых приборов. Теллурид висмута преобразует тепловую энергию в электрическую; он используется в термоэлектрических холодильниках (например автомобильных). Соединения висмута используются для регистрации частиц высокой энергии. Облучением висмута нейтронами в ядерных реакциях получают полоний-210.

«Тяжелейший аналог азота и фосфора есть висмут... В природе висмут встречается в немногих местностях и в малых количествах, чаще в самородном состоянии, реже в виде окиси и в виде сернистого соединения висмута с другими сернистыми металлами... Во многих своих свойствах он напоминает сурьму и свинец».

Д. И. Менделеев. Основы химии



Группа кислорода

8
O
Кислород
16

Кларк, г/т	461 000
Плотность, г/л	3,51
t плавления, °C	–218,8
t кипения, °C	–183,0

«На земной поверхности нет другого яэлемента столь распространенного, как кислород в его разнообразных соединениях... Будучи столь распространенным в природе, кислород играет в ней весьма важную роль, потому что множество явлений, совершающихся перед нами, от него главным образом зависят».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Медицинская кислородная маска

Кислород

Впервые кислород в свободном виде получили в конце XVIII в. почти одновременно несколько ученых из разных стран. В 1774 г. английский химик Джозеф Пристли (1733–1804) получил кислород нагреванием оксида ртути. Шведский химик К. В. Шееле получил кислород из селитры в 1771 г., но опубликовал свой эксперимент только в 1777 г. Первым роль кислорода в процессах дыхания и горения правильно объяснил французский химик А. Л. Лавуазье.

Латинское название кислорода (oxygenium) означает в точности то же, что и русское — рождающий кислоты (от *лат.* oxys — «кислый»). Это название (как и многие другие) придумали в 1787 г. разработчики рациональной химической номенклатуры, французские химики А. Л. Лавуазье, Луи Бернар Гитон де Морво (1737–1816), Клод Луи Бертолле (1748–1822) и Антуан Франсуа де Фуркруа (1755–1809). Они ошибочно полагали, что кислород «рождает» все кислоты. На самом деле известно немало кислот, не содержащих кислород, например соляная. Поэтому логичнее было бы поступить наоборот — назвать кислород водородом (этот элемент ведь «рождает» также воду), а вот водород назвать кислородом, так как он входит в состав всех кислот. Как написал в 1808 г. английский химик Г. Дэви, «то тело, которое французская номенклатура характеризует как носитель кислотности, одинаково могло бы быть признано носителем щелочности». Действительно, кислород входит в состав щелочей во всех без исключения случаях. Кислород составляет более 46% массы земной коры, его атомы входят в состав почти всех горных пород и минералов.

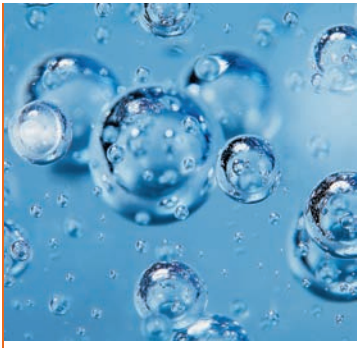
Трудно найти органическое соединение в живом организме, в котором не было бы кислорода. Этот элемент — обязательный компонент белков, углеводов и жиров. В человеческом организме около 65% кислорода по массе. Примерно пятая часть сухого воздуха (точнее, 20,95%) — газообразный кислород. Без него не было бы жизни на Земле. В процессе дыхания в каждой клетке кислород, реагируя с органическими веществами, выделяет энергию. Благодаря этой энергии поддерживается постоянная темпе-

ратура тела человека, бьется сердце, сокращаются мышцы. Недаром при тяжелой физической работе дыхание учащается: человеку требуется больше кислорода. Взрослый человек за сутки потребляет в среднем 100 л кислорода. При некоторых заболеваниях больным дают дышать кислородом.

Кислород в атмосфере Земли, с одной стороны, поддерживает жизнь, с другой — само присутствие кислорода в атмосфере обязано живым организмам. С использованием энергии солнечного света в клетках зеленых растений, планктона и некоторых бактерий осуществляется фотосинтез: образование органических веществ из углекислого газа и воды с выделением свободного кислорода. Этот процесс продолжался миллиарды лет. Одновременно огромные количества кислорода расходуются на дыхание животных и растений, на сжигание топлива и лесные пожары, на различные процессы окисления и разложения органических остатков. В результате кислород на Земле совершает непрерывный круговорот. Его содержание в воздухе постоянно и составляет квадриллион (10^{15}) тонн. Но в древней атмосфере кислорода не было, а когда он начал появляться (около 3 млрд лет назад), то в течение нескольких сотен миллионов лет расходовался на окисление солей железа в мировом океане. Оксиды железа выпадали в осадок: так образовались крупнейшие залежи железных руд. Когда все железо оказалось окисленным, кислород стал накапливаться в растворенном виде в воде и поступать в атмосферу.

В верхних слоях атмосферы, на высоте от 20 до 30 км, кислород под действием солнечного ультрафиолета превращается в озон. Озон, в свою очередь, сам поглощает более короткое («жесткое») ультрафиолетовое излучение Солнца, предохраняя все живое на поверхности от его губительного действия. Озон в небольших количествах присутствует и в приземной части атмосферы, и здесь он является вредным и ядовитым ее загрязнителем. Его образованию способствуют метеорологические условия, выхлопы автотранспорта и промышленные выбросы. Велика концентрация ядовитого озона в фотохимическом смоге.

Кислород довольно хорошо растворяется в воде: примерно 5 л в 100 л холодной воды. Благодаря растворенному кислороду могут дышать рыбы. С повышением температуры растворимость кислорода в воде снижается. Это может привести к «замору» некоторых видов рыб, которым кислорода в теплой воде недостаточно. Именно поэтому фо-



Жидкий кислород имеет голубой цвет

рель может жить только в воде, температура которой не выше 15 °С.

Чистый кислород проявляет высокую химическую активность. Недаром этот газ когда-то называли «огненным воздухом». Еле тлеющая лучинка в кислороде ярко вспыхивает. Даже стальная проволока горит в чистом кислороде. Дышать одним кислородом можно только непродолжительное время, чтобы не «сжечь» организм. Еще более активен озон — разновидность кислорода: в молекуле кислорода два атома, в молекуле озона — три. В переводе с греческого «озон» означает «пахнущий». Этот газ образуется из кислорода под действием электрических разрядов или ультрафиолетовых лучей. Поэтому озоном всегда пахнет около работающих электрических машин, кварцевых ламп, некоторых копировальных приборов. Озон ядовит, поэтому помещения, где он образуется, необходимо проветривать.

Образованию озона способствуют метеорологические условия, выхлопы автотранспорта и промышленные выбросы

Кислород получают из жидкого воздуха, используя разницу в температурах кипения кислорода

и азота. Мировое производство жидкого кислорода превышает 100 млн тонн. Кислород в чистом виде, а также обогащенный кислородом воздух широко используются для обжига руд; кислородное дутье помогает выплавлять сталь. Высокую температуру кислородного пламени используют для сварки и резки металлов, для плавления кварца и других тугоплавких веществ. Жидкий кислород используют в качестве компонента ракетного топлива.

В среднем человеке содержится около 45 кг кислорода, в основном в составе воды.

Сера

16
S
Сера
32,06

Кларк, г/т	350
Плотность, г/см³	2,00
t плавления, °C	115,2

С древних времен люди находили изредка странные «камни» желтого или желто-коричневого цвета. Странность заключалась в том, что уже при легких ударах эти «камни» раскалывались на мелкие кусочки, их легко было растереть даже в мелкий порошок. Более того, эти «камни» могли уже при небольшом нагревании расплавляться, а при поджигании они горели, распространяя резкий запах. Это была самородная сера. Она встречается обычно около вулканов и горячих источников. Особенно много серы находили в Сицилии, поэтому с этим веществом были хорошо знакомы древние римляне и греки.

Русское название серы иногда производят от санскритского «сира» — светло-желтый; если это так, то «сера» — родственник «серому». По другой версии, название происходит от *ст.-слав.* сѣра — «смола», а также «жир» и вообще горючее вещество.

Запах горящей серы часто сопровождал извержения вулканов, поэтому думали, что сера связана с «преисподней». Не удивительно, что в Библии рассказывается о «геенне огненной», в которой грешников мучили горящей серой. В «Одиссее» Гомера рассказывается, что герой, возвратившись домой после многолетних странствий, велел окурить свое жилище горящей серой. Так можно было убить сразу двух зайцев: изгнать злых духов и освободить помещение от насекомых и других паразитов. Способность сернистого газа (именно он выделяется при горении серы) убивать микробов до сих пор используется для дезинфекции, в частности для консервирования ягод, фруктов и сухих вин.

Сера содержится в белках, так как входит в состав аминокислот цистеина и метионина. В среднем человеке содержится примерно 150 г серы. В яичном

«Сера принадлежит к числу элементов, значительно распространенных в природе, и является как свободною, так и соединенною в разнообразных видах... При вулканических извержениях выделяется из земли сернистый газ, а в воздухе городов... он происходит из дыма печей... Сернокислые соли, содержащиеся в почве, дают начало сере, содержащейся в растениях и для их развития вполне необходимой».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Расплавленная и затвердевшая сера, выделившаяся при извержении вулкана

В вулканических районах чувствуется неприятный запах сернистого газа — диоксида серы

белке, например, 2% серы. Когда белок портится, сера соединяется с водородом и выделяется в воздух в виде отвратительно пахнущего газа — сероводорода. Сероводород в 60 раз более ядовит, чем сернистый газ; присутствие в воздухе всего 0,1% сероводорода приводит к тяжелому отравлению, а один вдох этого газа в чистом виде смертелен. К счастью, человек способен почувствовать наличие этого газа, если в 1 л воздуха содержится всего 0,00003 мг сероводорода. Содержащие серу органические соединения — меркаптаны имеют отвратительный запах. Их добавляют к магистральному бытовому газу, что позволяет обнаружить по запаху его утечку.

Серу издавна широко использовали не только для окуривания. Ее в чистом виде или в соединении с другими элементами добавляли в косметику, в лечебные мази. Добыча серы значительно увеличилась после изобретения черного пороха, в состав которого она входит (в современном «бездымном» порохе серы нет). Сейчас серу используют в основном для получения серной кислоты, для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур (особенно винограда и хлопка), при производстве резины, красителей, взрывчатых веществ, спичек, светящихся составов, мазей для лечения кожных заболеваний.

Богатейшие месторождения серы были открыты в конце XIX в. на юге США. Но подобраться к ней было трудно: в шахты просачивался ядовитый сероводород. И тогда нашли оригинальный выход.

От поверхности до залежи серы пробурили небольшую скважину, в которую вставили стальную трубу, а в нее — другую трубу, меньшего диаметра. В пространство между трубами начали насосами нагнетать под давлением нагретую воду при температуре более 100 °С. Сера расплавлялась и по внутренней трубе, которая обогревалась кипятком, поднималась на поверхность. В современном варианте в скважину опускают еще одну, самую узкую трубу. Через нее на глубину закачивают сжатый воздух, который помогает расплавленной сере подняться на поверхность. Много серы получают из ископаемого топлива, в котором она является вредной примесью. Содержание сероводорода в природном газе некоторых месторождений может превышать 5%.

Сера содержится также в угле и в некоторых сортах нефти. Поэтому во всех случаях, когда сжигают уголь, нефть или мазут, происходит выделение в атмосферу сернистого газа. Его в огромных количествах выделяют трубы тепловых электростанций, фабрик и заводов, тепловозов и котельных.

В воздухе сернистый газ окисляется и превращается в серную кислоту.

Серная кислота, хотя и сильно разбавленная, с атмосферными осадками выпадает на землю в виде кислотных дождей, разрушая растительность и постройки. Подкисляя водоемы, кислота губит рыб. Для того чтобы уменьшить загрязнение окружающей среды соединениями серы, надо либо извлекать из дыма сернистый газ (это трудно и дорого), либо использовать вместо угля нефтепродукты с малым содержанием серы или такой природный газ, в котором серы практически нет.

В 2012 г. мировое производство серы составило 70 млн тонн.

Кристаллы самородной серы

Селен

Селен открыл Й. Я. Берцелиус в 1817 г.; он выделил его из красно-коричневого осадка в серной кислоте (селен — аналог серы). Серную кислоту получали на заводе из сернистого газа, а газ — путем обжига пирита.

Последующие исследования показали, что в природе селен обычно сопутствует сере в ее минералах, в том числе в пирите. Изредка он встречается и в самородном виде. Новый элемент оказался похож на теллур, и по аналогии Берцелиус назвал его селеном:

^{34}Se
Селен
78,96

Кларк, г/т	0,05
Плотность, г/см^3	4,5
t плавления, °С	220,8

Персики содержат много витаминов и полезных людям микроэлементов, в том числе и селен

в природе селен — спутник теллура, как Луна — спутник Земли. Известно множество минералов селена (в виде селенидов тяжелых металлов), но они редки, как и самородный селен. Поэтому селен получают как побочный продукт при переработке сульфидных руд, например медного колчедана.

Селен при обычных условиях существует в двух формах — менее стабильной (красного цвета) и стабильной (серого цвета). Серый селен является полупроводником. Его электрическое сопротивление сильно зависит от освещенности, поэтому на основе селена изготавливают фотоэлектрические экспонометры. Такой прибор, не требующий питания, выдает ток, пропорциональный освещенности. Селеновые выпрямители используются для выпрямления переменного тока. Раньше селеном покрывали фотобарабаны — важнейшие детали лазерных принтеров и копировальных аппаратов. Селен работает также в цифровых камерах, в которых изображение преобразуется в электрический заряд. В последние годы селен постепенно заменяется полупроводниками с лучшими характеристиками.

В стекольном производстве селен используется для обесцвечивания стекла и изготовления цветного (красного и розового) стекла. Смеси сульфида и селенида кадмия позволяют получить пигменты от желтого до темно-бордового. Мировое производство селена в 2012 г. составило 2000 тонн.

Селен и его соединения ядовиты и по действию сходны с мышьяком. Если в меркаптане (спирт, в котором на месте кислорода находится сера) заменить атом серы на селен, запах станет еще более отвратительным. В Книге рекордов Гиннесса бутилселеномеркаптан C_4H_9SeH отнесен к самым зловонным химическим соединениям. В то же время в микроколичествах селен необходим для человека, так как участвует в обмене веществ, входит в состав ферментов, защищающих клетки организма от свободных радикалов. При недостатке селена щитовидная железа хуже вырабатывает иодсодержащие гормоны, понижается зрение. В теле среднего человека содержится около 15 мг селена. В медицине селен применяют для профилактики и лечения онкологических заболеваний. В дерматологии применяют дисульфид селена — сульсен.

«В аморфном виде сплавленный селен представляет бурую массу, слабо просвечивающую и с стеклянным изломом, а в кристаллическом состоянии он имеет вид серого металла, с слабым блеском и кристаллическим сложением в изломе».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Теллур

Теллур открыл в 1782 г. в золотоносной руде венгерский горный инженер Ференц Йожеф Мюллер, впоследствии барон фон Райхенштейн (1740–1825). Название «теллур» (в честь римской богини земли-кормилицы Теллус) предложил в 1798 г. М. Г. Клапрот, который выделил из руды чистый теллур. Теллур нередко сопровождает золото. Известно семь минералов, содержащих оба эти элемента.

Как и селен, теллур обладает полупроводниковыми свойствами. Теллурид кадмия используется в некоторых конструкциях солнечных батарей.

Диоксид теллура добавляют в специальные сорта стекла. Много теллура расходуется на получение сплавов. Добавки теллура повышают прочность свинца, что используется в производстве кабелей и пластин свинцовых аккумуляторов. Теллуриды ряда металлов перспективны в производстве термоэлектрогенераторов. Обратный процесс — охлаждение при пропускании тока позволил с помощью сплава теллура, висмута и цезия получить очень низкие температуры. Такие сплавы используются в производстве полупроводниковых холодильников. Теллур получают при очистке меди. Мировое производство теллура — около 200 тонн в год. Водорастворимые соединения теллура очень ядовиты. При попадании в организм теллур превращается в летучий диметилтеллур и выводится через легкие; в результате от человека очень неприятно пахнет чесноком.

Металл теллур

^{52}Te

Теллур

127,60

Кларк, г/т	0,001
Плотность, г/см^3	6,24
t плавления, °C	449,5

«Теллур встречается еще реже селена (в Саксонии) в соединении с золотом, серебром, свинцом и сурьмою... Теллур в свободном состоянии имеет вполне металлический вид: он серебристо-белого цвета, весьма легко кристаллизуется в длинных блестящих иглах, очень хрупок, так что легко измельчается, но плохо проводит теплоту и электричество, так что в этом отношении, как и во многих других, представляет переход от металлов к металлоидам».

Д. И. Менделеев. Основы химии

84 Po

Полоний

[209]

Кларк, г/т	следы
Плотность, г/см^3	9,2
t плавления, °C	253,8

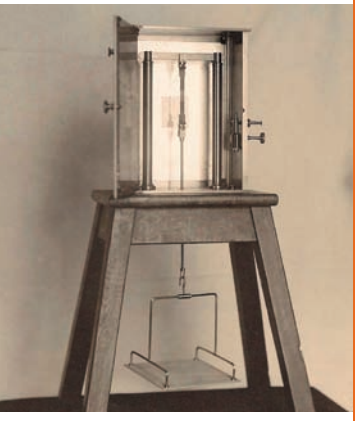
Полоний

Полоний открыли в 1898 г. Мария и Пьер Кюри в поисках источника сильной радиоактивности некоторых минералов. Переработав большое количество урановой руды, они смогли получить лишь невесомый налет на стекле. Но он был сильно радиоактивным, что позволило наряду со способом выделения из руды отнести его к новому элементу.

«Мы думаем, — написали супруги Кюри в своей статье, — что вещество, выделенное нами из урановой смолки, содержит не известный пока металл, являющийся по аналитическим свойствам аналогом висмута. Если существование нового металла будет подтверждено, мы предлагаем назвать его полонием, по родине одного из нас» (Polonia на латыни — Польша). Первый образец чистого полония был получен только в марте 1944 г. в США.

Полоний — радиоактивный химический элемент, он не имеет стабильных изотопов. Существование этого элемента было предсказано Д. И. Менделеевым в 1889 г.; он назвал его двителлуром (на санскрите — «второй теллур»). Некоторые изотопы полония встречаются в земной коре в очень малых количествах в минералах урана и тория, являясь промежуточным продуктом их распада. Самый долгоживущий из них — полоний-210 с периодом полураспада 138 суток. В 1 тонне природного урана содержатся доли миллиграмма ^{210}Po. Наиболее долгоживущий изотоп полония, ^{209}Po, с периодом полураспада 102 года, получен искусственно.

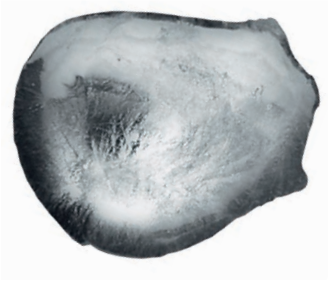
Полоний — мягкий серебристо-белый металл. Из-за сильной радиоактивности он светится в темноте и сильно нагревается: 1 см^3 полония-210 выделяет мощность 1,32 кВт! Поэтому нужен непрерывный отвод от него теплоты. Если этого не делать, металлический полоний быстро расплавится, а затем испарится. Из-за этого его плотность определена не непосредственным измерением, а расчетом. Практическое значение имеет полоний-210, который синтезируют путем облучения нейтронами природного висмута в ядерном реакторе. Даже при очень высокой интенсивности нейтронного потока — 500 млрд за 1 с на 1 см^2 — в 100 г висмута за месяц образуется всего лишь 0,4 мг полония-210, который еще нужно выделить. Полоний-210 применяют как источник энергии в атомных батареях космических кораблей: для получения мощности 1 кВт достаточно всего 7,5 г полония. В этом отношении он превосходит другие компактные «атомные» источ-



Этот пьезоэлектрический аппарат Пьер Кюри сконструировал около 1889 г. Супруги Кюри использовали его в исследованиях, приведших к открытию радия и полония. Это предтеча современных дозиметров и одно из первых устройств, помогавших замерять радиоактивность. Долгое время прибор выставлялся в Физическом колледже в Филадельфии, пока в 1988 г. не обружили, что он радиоактивен, и не приняли мер

ники энергии. Полониевый источник энергии работал, например, на «Луноходе-2», обогревая аппаратуру во время долгой лунной ночи.

Полоний — одно из самых ядовитых веществ. Для ^{210}Po предельно допустимая концентрация в воздухе составляет $6 \cdot 10^{-14}$ г на 1 м^3 воздуха. Это означает, что полоний почти в 170 млн раз токсичнее синильной кислоты: 1 г полония (0,1 см^3), распыленный в воздухе, эквивалентен 8 полным железнодорожным цистернам жидкой синильной кислоты! Это мизерное количество полония способно превысить допустимый уровень радиации примерно в 10 тысяч км^3 (!) воздуха (слой атмосферы высотой 100 м и площадью 100 тысяч км^2, что намного больше площади Московской области). Вред наносит радиоактивное излучение полония, которое разрушает ткани и вызывает злокачественные опухоли. С поверхности металлического полония непрерывно выделяются мельчайшие частицы аэрозоля, которые легко вдохнуть. Поэтому любые эксперименты с полонием требуют соблюдения строжайших мер безопасности.



Полоний — серебристо-белый мягкий металл

Памятник Марии Склодовской-Кюри в Варшаве (скульптор: Бронислав Кшиштоф). Лауреат Нобелевской премии по химии и физике держит в руках модель атома полония

Галогены

9
F
Фтор
18,998

Кларк, г/т	585
Плотность, г/л	1,70
t плавления, °C	–219,6
t кипения, °C	–188,1

«Фтор имеет столь большое сродство к водороду, что воду разлагает при обыкновенной температуре... Так как фтор разлагает воду с выделением кислорода (в виде озона) $3F_2 + 3H_2O = 6HF + O_3$, то долгое время были напрасны все попытки получить его в свободном состоянии при помощи обычных способов получения хлора».
Д. И. Менделеев. Основы химии

Французский химик Анри Муассан впервые выделил фтор в чистом виде

Фтор

Выделить фтор в чистом виде удалось в 1886 г. французскому химику Анри Муассану (1852–1907). Он получил его электролизом жидкого безводного фтороводорода, в котором растворил немного гидрофторида калия. При проведении опытов пострадал один глаз Муассана. До этого были известны только производные фтора, в том числе фтороводородная (плавиковая) кислота, растворяющая стекло и оставляющая на коже очень тяжелые ожоги.

Природу плавиковой кислоты установил в 1810 г. французский физик, математик и химик Андре Мари Ампер (1775–1836); он и предложил название для соответствующего элемента, произведя его от *греч.* phthoros — «разрушение», «гибель». Однако в западноевропейских языках утвердилось другое название этого элемента: fluorine — в английском, fluor — во французском и голландском, Fluor — в немецком, flúor — в испанском, fluoro — в итальянском. Эти термины происходят от названия минерала флюорита (плавикового шпата), фторида кальция. В свою очередь, название этого минерала связано с *лат.* fluo — «течь»: флюорит с XVI в. использовали в качестве флюса (плавня) в металлургии; он облегчал выплавку металла. От корня fluo в русском языке произошли, помимо «флюса», такие термины, как «флюорография» и «флуоресценция». Последний термин также связан с минералом флюоритом, который ярко светится (флуоресцирует) под действием ультрафиолета.

Чистый фтор — светло-желтый газ, химически исключительно активный. В атмосфере фтора горят практически все органические соединения, даже вода и платина. Смесь фтора с водородом самопроизвольно взрывается даже при очень низких температурах. Однако никель, медь и их сплавы устойчивы к фтору из-за образования на их поверхности защитной пленки фторидов. В год в мире производится около 20 тысяч тонн фтора.

Фтор используют как окислитель в ракетном топливе. Он применяется также для получения фторидов ряда элементов. Гексафторид урана нужен для разделения его изотопов. Неядовитый га-

Кристаллы флюорита

зообразный гексафторид серы (элегаз) — прекрасный изолятор, используется в высоковольтных трансформаторах и переключателях. Широко используются фторированные углеводороды: низкомолекулярные (фреоны) — хладагенты в холодильниках; со средней молекулярной массой (перфторан, «голубая кровь») — заменители плазмы крови; высокомолекулярные (фторопласты, тефлоны) — химически инертные полимеры. Фторопласты используются при изготовлении посуды с тефлоновым покрытием.

Элементарный фтор, фтороводород и растворимые фториды сильно ядовиты. Отравление вызывает попадание в организм 20 мг фторида натрия, а 2 г является смертельной дозой. В то же время в микроколичествах фтор необходим человеку, так как участвует в построении эмали зубов.

В питьевой воде фтора должно быть от 0,5 до 1 мг/л. Фториды в очень малых количествах добавляют в зубные пасты.

Содержание фтора в организме среднего человека — 2,5 г, суточная потребность — 3 мг.

17 Cl
Хлор
35,45

Кларк, г/т	145
Плотность, г/л	3,20
t плавления, °C	–101,5
t кипения, °C	–34,1

«Хлор есть газ желтовато-зеленого цвета, с запахом чрезвычайно удушливым и характерным».
Д. И. Менделеев. Основы химии

Хлор

В свободном виде хлор впервые получил шведский химик К.В. Шееле в 1774 г., нагревая черный минерал пиролюзит (диоксид марганца) с соляной кислотой. При этом выделился тяжелый (в 2,5 раза тяжелее воздуха) желто-зеленый газ с очень неприятным запахом. По цвету этот газ назвали хлором (от *греч.* chloros — «желто-зеленый»); тот же корень — в слове «хлорофилл» (от *греч.* phyllon — «лист»).

Современное название этого газа придумал Гемфри Дэви, а до него хлор считался оксидом неизвестного элемента «мурия» (от *лат.* muria — «рассол»), а соляная кислота называлась «муриевой». Изобретенный Дэви термин (chlorine) остался в английском языке, тогда как французский химик и физик Ж. Л. Гей-Люссак сократил этот термин до chlore. А «хлорин» в русском языке — это сложное органическое соединение, основа молекулы хлорофилла.

В 1811 г. немецкий физик Иоганн Швейгер (1779–1857) предложил для хлора название «галоген» (в переводе с греческого — «рождающий соль»). Впоследствии этот термин закрепился не только за хлором, но и за всеми его аналогами — фтором, бромом, иодом, астатом.

Хлора в земной коре не очень много — по распространенности он находится среди других элементов в конце второго десятка. При этом хлор очень сильно распылен: он образует около ста минералов; главным образом это хлориды легких металлов — щелочных и щелочноземельных. Самый распространенный среди них — галит (хлорид натрия), образующий мощные залежи каменной соли. Реже встречаются хлориды калия, кальция, магния. Много хлора содержится в морской воде — в среднем 1,9%. В свободном состоянии хлор в природе встречается лишь в небольших количествах в вулканических газах.

Галит, поваренная соль — минерал, содержащий хлор

Химически хлор очень активен. Он реагирует почти со всеми веществами, даже с платиной. В хлорной воде растворяется золото. В хлоре воспламеняются порошок сурьмы и оловянная фольга. В присутствии влаги хлор обесцвечивает зеленые листья растений, многие красители. Этим пользовались еще в XVIII в. для отбеливания тканей. Под действием хлора влажные желтоватые ткани из льна или хлопка приобретали замечательную белизну. Но так как иметь

Британские солдаты — жертвы химической атаки времен Первой мировой войны

дело с ядовитым газом неудобно, для беления тканей стали использовать хлорную (белильную) известь, которую получали действием хлора на гашеную известь.

Хлорирование оказалось самым простым и дешевым способом обеззараживания питьевой воды. Этот газ легко растворяется в воде, убивая в ней все живое. Обычно на 1 л воды требуется примерно 2 мг хлора. Из кипящей воды хлор улетучится быстро и без остатка.

Хлор получают, пропуская постоянный электрический ток через раствор поваренной соли. Хлор выделяется на аноде, тогда как на катоде также образуются ценные вещества — водород и гидроксид натрия.

Жидкий хлор хранят в стальных баллонах (сухой хлор не действует на железо). Температуру сжижения хлора легко повысить, если увеличить давление; так, при давлении 10 атм хлор остается жидким до температуры +35,6 °С. Производство хлора энергоемко. Сейчас во всем мире ежегодно получают около 50 млн тонн хлора. Около 50% хлора расходуется для получения растворителей, хлоропренового каучука, поливинилхлорида и других пластмасс, пестицидов, лекарственных средств, ряда других веществ. Остальное потребляется для обеззаражи-

Хлор сильно ядовит и перевозить его опасно

вания воды, для синтеза неорганических хлоридов, в целлюлозно-бумажной промышленности. Сжиганием водорода в хлоре получают хлороводород, а из него — соляную кислоту.

Хлор уже в ничтожных количествах сильно раздражает дыхательные пути и вызывает кашель. Человек чувствует запах хлора при содержании в воздухе всего лишь 0,005 мг/л. И при этом хлор уже разрушает клетки слизистой оболочки дыхательных путей и легких. Концентрация 0,012 мг/л переносится с трудом, а если хлора в воздухе больше 0,1 мг/л, он опасен для жизни.

В 1915 г. немцы применили хлор в качестве химического оружия: на небольшом участке фронта были открыты вентили 6000 баллонов, каждый из которых содержал 30 кг хлора. В течение пяти минут образовалось огромное желто-зеленое облако, которое отравило 15 тысяч солдат союзников, из них 5 тысяч — насмерть. Через два месяца немцы повторили хлорную атаку на Восточном фронте — против русских войск. Применяли химическое оружие и армии Антанты. В 1915 г. французская армия использовала бесцветный очень ядовитый газ фосген — хлороксид углерода. К счастью, «хлорные атаки» остались лишь трагическим эпизодом в истории.

35 **Br**

Бром

79,90

Кларк, г/т	2,4
Плотность, г/л	3,10
t плавления, °C	–7,2
t кипения, °C	59,2

Бром

Бром — единственный неметаллический элемент, жидкий при обычных условиях. По-гречески bromos — «зловонный». Удушающий запах брома похож на запах хлора.

Впервые бром был выделен в 1825 г. из содержащих этот элемент природных рассолов действием хлора. Первооткрывателем брома считается французский химик Антуан Жером Балар (1802–1876). Однако немецкий химик Карл Левиг (1803–1890), который был тогда студентом, получил это вещество раньше, выделив его из воды минерального источника. Но Балар первым опубликовал свое открытие. Бром был в руках и у знаменитого Юстуса Либиха, но он принял эту жидкость за известный хлорид иода (в присутствии примесей это вещество жидкое). Рассказывают, что узнав об открытии Балара, раздосадованный Либих воскликнул: «Это не Балар открыл бром, а бром открыл Балара». По другой версии, это произнес известный французский

Мурексы (багрянки) — моллюски, накапливающие бром из морской воды

химик Шарль Фредерик Жерар (1816–1856) — после того, как заведующим кафедрой химии в парижском Коллеж де Франс назначили Балара; дело в том, что на ту же должность претендовал коллега и друг Жерара, химик-органик Огюст Лоран (1807–1853).

В земной коре брома мало; по распространенности среди элементов он находится в конце пятого десятка. При этом бром сильно рассеян: его соли щелочных и щелочноземельных элементов очень хорошо растворяются в воде и легко вымываются из горных пород подземными водами. Нерастворимые минералы брома (соли серебра) исключительно редки. Бром находится в основном в морской воде, где его содержание составляет в среднем 65 мг/л. Некоторые морские моллюски — например багрянки — накапливают бром. В древности из них получали красивую и очень дорогую краску — пурпур (диброминдиго).

«Бром представляет темно-бурую жидкость, дающую бурые пары с вредным, тяжелым, удушливым запахом, откуда дано брому его название (от греческого слова — зловонный)... Бром и иод находятся в морской воде в соединении с металлами, как и хлор. Однако количество бромистых, а особенно иодистых металлов в морской воде столь невелико, что только чувствительными реакциями можно открыть их присутствие».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Бром добывают так же, как это делал Балар, из рассолов соляных озер, из сопутствующих вод нефтяных и газовых месторождений. Для этого через раствор пропускают хлор, который, будучи более активным, вытесняет бром из его солей. Мировое производство брома в 2012 г. составило 580 тысяч тонн.

Жидкий бром — очень активное вещество. В нем растворяется золото, самовоспламеняется алюминий, в парах брома горит медь. Пары брома очень ядовиты, поражают органы дыхания.

Поэтому чистый бром в отличие от его соединений находит очень ограниченное применение. Бромид серебра — светочувствительный материал в фотографии; его используют при производстве стекла, обратимо темнеющего на ярком свету. Некоторые органические производные брома используют в огнетушащих составах; их вводят в изделия из пластиков, дерева, тканей, чтобы предохранить их от огня. Бром используется для синтеза пестицидов и инсектицидов. Растворимые соли брома (бромиды) обладают успокаивающим и снотворным действием.

53
I
Иод
126,90

Кларк, г/т	0,45
Плотность, г/см³	4,94
t плавления, °C	113,7

Иод

Для человека, далекого от химии, слово «иод» ассоциируется с пузырьком, который стоит в аптечке. На самом деле в нем находится не иод, а иодная настойка, 5%-ный раствор иода в смеси спирта и воды (для повышения растворимости иода в настойку добавляют иодид калия).

Чистый иод — твердое вещество со специфическим запахом. Вот как описал его французский химик Бернар Куртуа (1777–1838), который в 1811 г. впервые получил иод из золы морских водорослей: «Новое вещество осаждается в виде черного порошка, превращающегося при нагревании в пары великолепного фиолетового цвета. Эти пары конденсируются в форме блестящих кристаллических пластинок, имеющих блеск... Удивительная окраска паров нового вещества позволяет отличить его от всех доныне известных веществ». По окраске паров иод и получил свое название (его предложил французский физик и химик Ж. Л. Гей-Люссак): от *греч.* iodes — «цвета фиалки, фиолетовый». Однако иод не всегда фиолетовый: цвет его растворов зависит

от растворителя: в воде иод желтый, в бензине — фиолетовый, в спирте — буро-коричневый, а в водном растворе поливинилового спирта иод имеет ярко-синий цвет (это раствор применяется в медицине в качестве дезинфицирующего средства под названием «иодинол»).

Куртуа наблюдал еще одно необычное явление: твердый иод при нагревании не плавился, а сразу превращался в пар; такой процесс называется возгонкой. Если кристаллы иода нагревать в закрытом сосуде, они расплавятся, превратившись в черную жидкость. Если капнуть иодной настойкой в крахмальный клейстер, тотчас появится сине-фиолетовая окраска. Реакция эта настолько чувствительна, что с помощью иода легко обнаружить крахмал на свежем срезе картофелины или в муке.

Иод — элемент довольно редкий, причем в природе он находится в рассеянном состоянии, и собственные минералы иода — чрезвычайная редкость. В то же время иод в породах находится обычно в виде легкорастворимых неорганических солей и потому может выщелачиваться из них подземными водами. Далее он попадает в реки, моря и океаны. В морской соли всегда есть немного иода, потому ветры, переносящие воздушные массы с частицами солей с океана на материк, переносят и иод. Именно поэтому у морского воздуха особый запах. В приморских областях количество иода в 1 м^3 воздуха может достигать 50 мкг, тогда как в континентальном и тем более горном воздухе его значительно меньше — всего 1 или даже 0,2 мкг. Иод в небольших количествах присутствует и в питьевой воде, и в почве, и в живых организмах.

Некоторые растения способны его накапливать. Например, в 1 кг высушенной морской капусты (ламинарии) содержится 5 г иода, тогда как в 1 кг морской воды — всего лишь 0,05 мг, т. е. в 100 тысяч раз меньше. Недаром ламинария много десятилетий была единственным источником промышленной добычи иода, а кое-где иод и сейчас добывают из этой водоросли. Иод выделяют также из нефтяных буровых

Пары иода имеют темно-фиолетовый цвет

«Чтобы очистить иод, его возгоняют... Иод прямо из паров переходит в кристаллическое состояние и садится в охлаждаемых частях аппарата в виде пластинчатых кристаллов, имеющих черновато-серый цвет и металлический блеск... Пары его... имеют фиолетовый цвет, отчего иод и получил свое название».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Водоросль ламинария накапливает иод

вод. Мировое производство иода в 2012 г. составило 28 тысяч тонн.

Как правило, в биохимических процессах участвуют только «легкие» элементы, находящиеся в первой трети периодической таблицы. Чуть ли не единственным исключением из этого правила является иод. В человеке может содержаться от 10 до 50 мг иода, значительная часть которого сконцентрирована в щитовидной железе. Она накапливает иод и использует его для синтеза гормонов — веществ, регулирующих все жизненные процессы у человека. При недостатке иода человек заболевает базедовой болезнью (в просторечии «зоб»). Иод специально вводят (в виде калиевой соли) в поваренную соль. Но и избыток иода в организме вреден. Иод ядовит. Даже привычная иодная настойка при вдыхании ее паров поражает верхние дыхательные пути, а при попадании внутрь вызывает тяжелые ожоги пищеварительного тракта. Смертельная доза иода — 3 г.

Если в щитовидную железу попадет радиоактивный иод, он начнет ее разрушать. Большие количества радиоактивного иода-131 были выброшены в воздух во время чернобыльской аварии. К счастью, ^{131}I живет недолго (период полураспада 8 суток) и через несколько месяцев полностью распадается.

Кристаллы иода

Иод в малых количествах вводят в галогенные лампы: он переносит испарившийся вольфрам обратно на спираль, значительно увеличивая срок службы лампы и позволяя поднять температуру нити. При этом резко возрастает и яркость свечения. На этом же принципе основано применение иода для очистки металлов, например титана или циркония. При повышенной температуре пары иода образуют с металлом летучее соединение, которое в другой части аппаратуры, при более высокой температуре, разлагается с выделением очень чистого металла.

Искусственные радиоактивные изотопы иода — ^{125}I, ^{131}I, ^{132}I — широко используются в биологии, а также в медицине для диагностики и лечения заболеваний щитовидной железы.

Астат

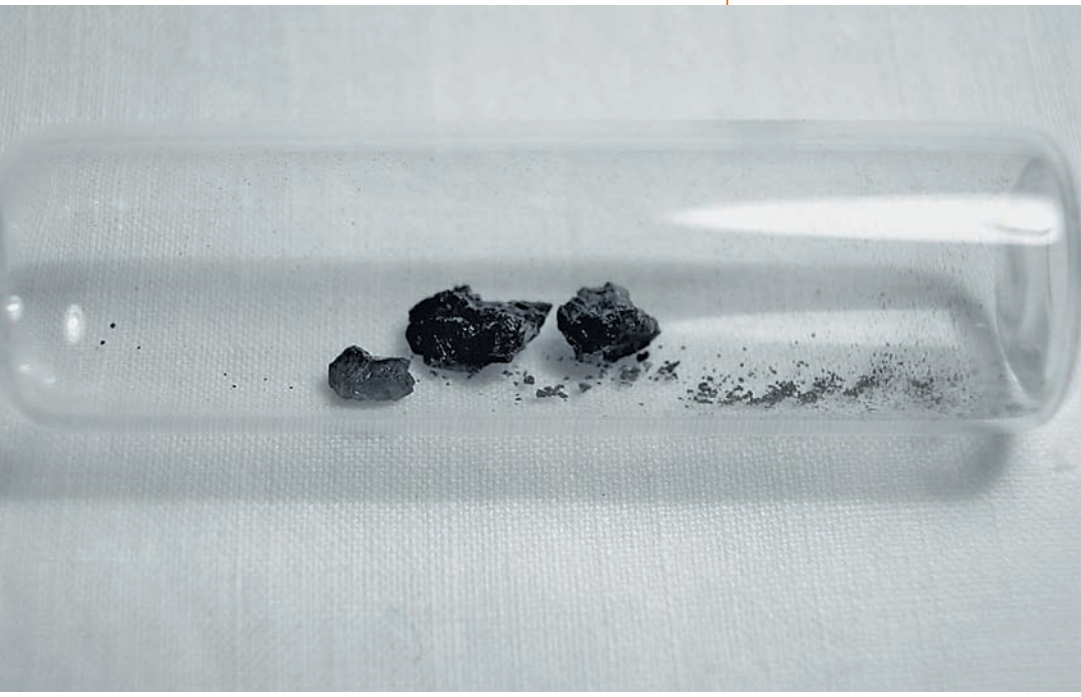
Астат — аналог иода и был предсказан Д. И. Менделеевым как «эка-иод». Этот последний галоген был получен в 1940 г. искусственно — облучением на циклотроне висмута альфа-частицами.

Но лишь через семь лет авторы открытия — группа американских физиков под руководством Э. Д. Сегре — дали этому элементу название, произведенное от греческого слова astatos — неустойчивый, шаткий, которое, в свою очередь, произведено от отрицательной приставки и *греч.* statos — «стоящий» (того же корня слово «статика» и множество его производных). Действительно, самый долгоживущий изотоп этого элемента, ^{210}At, имеет период полураспада всего 8,3 часа. Поэтому в земной коре астата практически нет (оценка дает его общее количество на Земле около 30 г). Ряд короткоживущих изотопов астата присутствуют в ничтожных количествах в урановых рудах как промежуточные продукты. Так, в ряду радия (он начинается с урана-238) на 1 тонну урана приходятся лишь миллиардные доли ($8{,}4 \cdot 10^{-9}$) млг астата-218, период полураспада которого 1,3 с.

85
At
Астат
210

Кларк, г/т	следы
Плотность, г/см^3	6,4
t плавления, °C	301,8

В этом образце уранового минерала содержатся ничтожные количества астата



Благородные газы

2
He
Гелий
4,00

Кларк, г/т	$4{,}3 \cdot 10^{-4}$
Плотность, г/л	0,18
t плавления, °C	–272,21*
t кипения, °C	–268,9

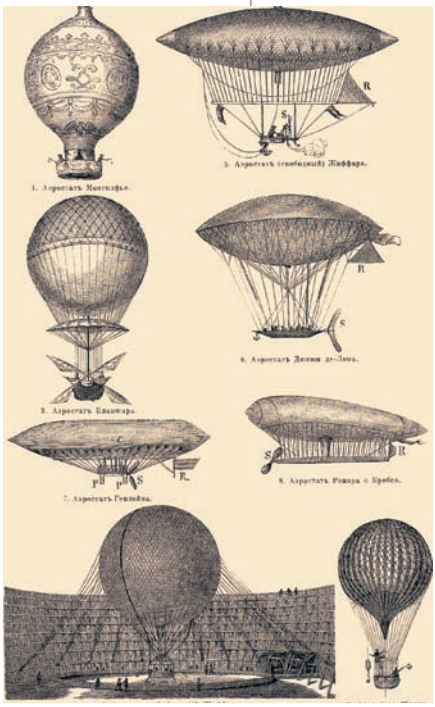
* Под давлением 26 атм

Для заполнения оболочки некоторых аэростатов используется гелий

Гелий

Название этот элемент получил по имени древнегреческого бога Солнца Гелиоса. История открытия гелия была непростой и растянулась на много лет.

Французский физик Пьер-Жюль Жансен (1824–1907), находясь в Индии для наблюдения полного солнечного затмения, впервые наблюдал 18 августа 1868 г. с помощью спектроскопа спектр солнечных выбросов — протуберанцев. Аналогичные наблюдения провел английский астроном Джозеф Норман Локьер (1836—1920) 20 октября того же года в Лондоне, причем в отсутствие затмения. Отчеты Жансена и Локьера поступили в Парижскую академию наук одновременно и были зачитаны в один день. Новые исследования солнечной атмосферы произвели большое впечатление: в честь этого события Парижская академия вынесла постановление о чеканке золотой медали с профилями ученых. Ни о каком новом элементе тогда речи не было. Прошло меньше месяца, и итальянский астроном Пьетро Анджело Секки (1818–1878) 13 ноября обратил внимание на «замечательную линию» в солнечном спектре вблизи известной желтой D-линии натрия. Секки решил, что эту линию испускает водород, находящийся в экстремальных условиях Солнца.



И только через два с лишним года, в январе 1871 г., Локьер предположил, что эта линия может свидетельствовать о существовании на Солнце нового элемента. Впервые слово «helium» публично произнес в своей речи знаменитый английский физик Уильям Томсон, лорд Кельвин (1824–1907), — в июле 1871 г. При этом он сослался на Локьера и английского химика Эдуарда Франкленда (1813–1891), которые предложили это название. Наконец в 1895 г., спустя более четверти века, британский химик

Гелий — один из основных элементов Солнца

Уильям Рамзай (1852–1916) подействовал кислотой на урановый минерал клевеит и собрал выделившийся при этом газ. С помощью Локьера он исследовал его спектральным методом и увидел ту же линию. В результате «солнечный» элемент был обнаружен и на Земле.

Гелий — второй по распространенности элемент во Вселенной. Он непрерывно образуется в гигантских количествах из водорода на Солнце. Но на Земле гелия мало; он образуется в земной коре в результате радиоактивного распада радионуклидов, испускающих α-частицы (ядра гелия-4). Вылетев из радия, они тут же превращаются в атомы гелия, отрывая электроны от любых атомов, с которыми они сталкиваются. Например, 1 г радия каждые сутки выделяет 0,107 мм^3 гелия; это показали в 1911 г. Э. Резерфорд и его стажер из США Бертрам Болтвуд (1870–1927).

Ежегодно в земной коре за счет распада радионуклидов образуются тысячи тонн гелия. Но несмотря на непрерывное поступление в атмосферу, гелий в ней не накапливается. Атомы этого легкого газа, двигаясь с высокой скоростью (1350 м/с при 20 °С), постепенно, непрерывно сталкиваясь с молекулами воздуха, поднимаются в стратосферу и, как и молекулы водорода, уходят в космическое пространство. Сила тяжести на гигантском Юпитере значительно выше, и в его атмосфере содержится 24% гелия (по массе).

«Мы имеем право образовать особую группу — аргоновых элементов, причисляя к ней: гелий He, неон Ne, аргон Ar, криптон Kr и ксенон Xe не только потому, что они друг друга сопровождают при азоте воздуха и представляют полное между собою сходство — по своей инертности и неспособности вступать известными нам способами в соединения... но также и потому, что эта группа аргоновых элементов совершенно сходна (даже по величине атомных весов) с другими наиболее характерными группами элементов... Ныне, когда известна целая их группа: He, Ne, Ar, Kr и Xe, и когда стало очевидным, что у них столь же много общего, как в группе щелочных металлов или у галоидов, надо было признать, что они так же между собою близки, как эти последние. Это было своего рода испытанием теоретической стороны периодического закона».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Чистый гелий — редкий и дорогой газ. Его получают из гелийсодержащих природных газов. Рентабельным считается его содержание более 0,5%, однако изредка в природном газе может быть более 10% гелия. Для очистки гелия используется то свойство, что при глубоком охлаждении все остальные вещества, кроме гелия, становятся жидкими или твердыми.

Мировая добыча гелия превышает 150 млн м^3 в год. Очень много гелия запасено в недрах России. Однако три четверти всего гелия в настоящее время добывается в США, где стоимость 1 м^3 в 2013 г. составила 3 доллара (в других странах гелий может быть значительно дороже, например в Японии 1 м^3 стоит 22 доллара). Гелий в 7,2 раза легче воздуха. Газообразным гелием наполняют аэростаты, дирижабли, метеорологические зонды, детские шарики. Баллоны для глубоководного погружения заполняют сжатой смесью кислорода и гелия: гелий в отличие от азота значительно хуже растворяется в крови и не вызывает при подъеме кессонную болезнь. Однако тембр голоса человека, дышащего такой смесью, сильно искажается: низкий голос становится писклявым.

Гелий обладает высокой теплопроводностью, с его помощью отводят теплоту от ядерных реакторов. Инертность гелия используют для создания особо чистой атмосферы при получении кристаллов сверхчистого кремния, жидкокристаллических дисплеев, оптического волокна. Большие количества жидкого гелия используют для получения очень низких («гелиевых») температур. При таких температурах работают обмотки сверхпроводящих электромагнитов. Они выдерживают большие токи и потому создают очень сильные магнитные поля. Сверхпроводящие магниты работают в научных приборах ядерного магнитного резонанса, в адронном суперколлайдере Европейского центра ядерных исследований (ЦЕРН). Жидкий гелий дорог: в Европе в 2012 г. 1 литр жидкого гелия стоил 23 евро.

Воздушные шарики, заполненные гелием, легче воздуха, поэтому улетают высоко в небо

Неон

Неона в земной атмосфере очень мало, но он, как и гелий, — один из самых распространенных элементов во Вселенной. Как и гелий, неон абсолютно инертен и не образует химических соединений.

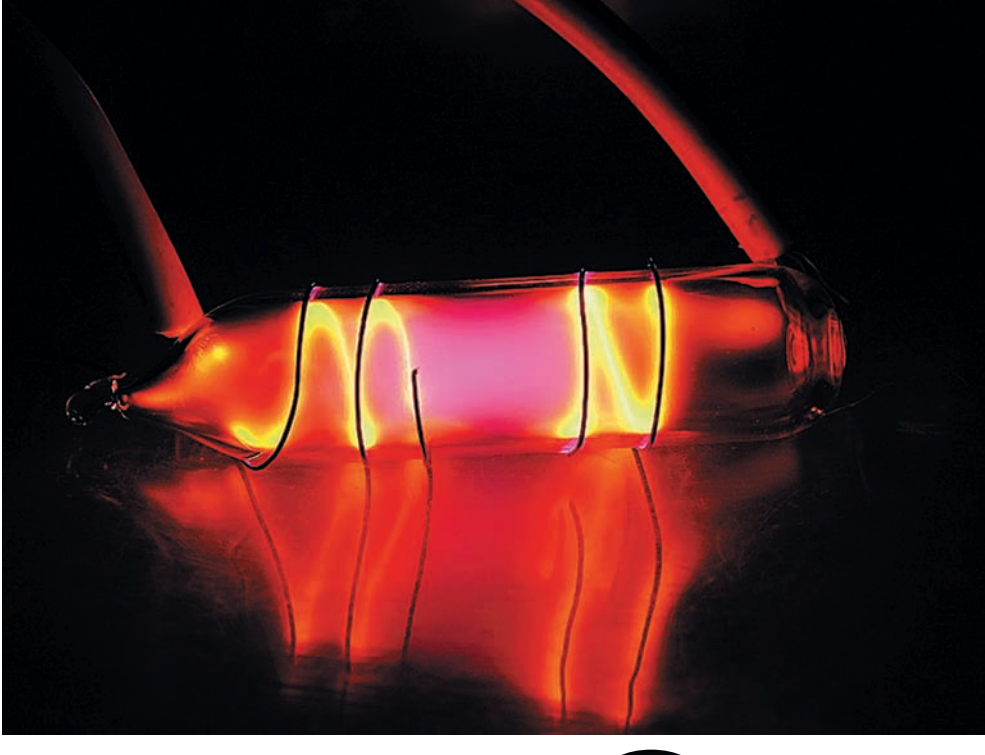
Неон впервые был обнаружен в 1898 г. в сжиженном воздухе английскими химиками У. Рамзаем и Морисом Уильямом Траверсом (1872–1961). По мере испарения из воздуха компонентов, которые кипят при более низкой температуре (азот, кислород, аргон), жидкость обогащалась криптоном. Испарив остаток и пропустив через полученный газ электрический разряд, исследователи обнаружили в нем яркое красно-оранжевое свечение.

Спектральный анализ показал присутствие линий, принадлежавших не известному ранее элементу. Его назвали неоном (от *греч.* neos — «новый»). В 1910 г. французский изобретатель Жорж Клод (1870–1960) создал газоразрядную лампу, в которой светился неон, находящийся в стеклянной трубке при пониженном давлении.

^{10}Ne
Неон
20,18

Кларк, г/т	$1{,}8 \cdot 10^{-3}$
Плотность, г/л	0,90
t плавления, °C	–248,6
t кипения, °C	–245,1

В разряде неон светится оранжевым



Неоновая реклама быстро распространилась по всему миру.

Большое распространение получили маленькие индикаторные лампочки — «неонки», работающие по тому же принципу. Неон используется также в производстве плазменных панелей. Они состоят из миллионов крошечных капсул, заполненных неоном (и другими газами). При подаче напряжения они испускают ультрафиолетовое излучение, под действием которого светится красным, зеленым или синим светом особый люминофор. Три таких капсулы образуют один пиксель.

18
Ar
Аргон
39,94

Кларк, г/т	0,93
Плотность, г/л	1,78
t плавления, °C	–189,4
t кипения, °C	–185,8

Аргон

История аргона началась в 1785 г., когда английский химик и физик Генри Кавендиш удалил из воздуха все известные тогда компоненты.

Углекислый газ он устранил раствором щелочи. Азот — пропуская электрические искры через смесь азота с избытком кислорода; в результате реакции образовался диоксид азота (то же происходит во время грозы), который также был удален щелочью. Кислород был удален раскаленным порошком меди, который связал кислород в оксид меди. В конечном счете от воздуха остался небольшой пузырек газа ($^1/_{120}$ первоначального объема), который с кислородом не реагировал. Кавендиш не мог объяснить, почему так получается и что представляет собой этот газ.

Прошло более 100 лет. В 1892 г. английский физик Джон Уильям Стретт (1842–1919), в 1873 г. унаследовавший от отца титул лорда Рэлея, уточнял физические константы газов. Он выделил максимально чистый азот из воздуха и определил его плотность с очень высокой точностью. У него получилось 1,2572 г/л при нормальных условиях. Он измерил также плотность азота, полученного чисто химически из нитрита аммония. Результат был примерно тем же: 1 л этого азота весил 1,2505 г. Результат вполне удовлетворил бы и физиков, и химиков, так что можно было просто взять среднее значение. Но Рэлей был уверен, что это не ошибка эксперимента; погрешность измерения могла быть в четвертом знаке после запятой, но не в третьем! Однако, как и Кавендиш, Рэлей не мог объяснить эти результаты. Он опубликовал письмо в журнале Nature, в котором приглашал химиков дать разумное объяснение своим измерениям.

Твердый аргон плавится, вытекает из пробирки и быстро испаряется

Проблема привлекла внимание химика Уильяма Рамзая, который знал об опытах Кавендиша. Он предложил Рэлею провести совместные исследования. В результате двухлетней работы они установили, что в атмосферном азоте содержится не известный ранее газ, немного тяжелее химически чистого азота. Именно его примесь в азоте из воздуха увеличивала плотность. Новый газ оказался химически инертным, он не реагировал ни с какими веществами. За это его назвали аргоном, от *греч.* argos — «ленивый», «недеятельный». Это название предложил химик Генри Джордж Мадан (1838–1901). 13 августа 1894 г. Рэлей и Рамзай выступили с совместным сообщением об открытии ими нового газа. Стал понятен результат, полученный когда-то Кавендишем: оставшийся у него пузырек был аргоном. В 1904 г. химик Рамзай за открытие в атмосфере аргона и других благородных газов получил Нобелевскую премию по химии, тогда как физик Рэлей в том же году и по сути за то же открытие получил Нобелевскую премию по физике. Известно только одно крайне нестойкое соединение аргона — его гидрофторид (открыт в 2000 г.), который существует только при температурах ниже –256 °С.

«Аргон в химическом смысле отличается такою недеятельностью и неизменностью, что представляет примечательнейшее в этом отношении вещество».

Д. И. Менделеев. Основы химии

Рамзай и Рэлей не знали, что практически весь земной аргон попал в атмосферу в результате радиоактивного превращения калия-40 в составе горных пород, период полураспада которого равен 1,23 млрд лет. По уточненным данным, в сухом воздухе 0,934% аргона, а во всей атмосфере его 66 трлн тонн. Аргон довольно дешев и нашел широкое применение. Десятилетиями им наполняли лампы накаливания; он присутствует под небольшим давлением в люминесцентных лампах.

С помощью аргона создается защитная атмосфера при дуговой сварке, что препятствует окислению металлов. Инертным аргоном заполняют упаковки с продуктами. Аргон, в отличие от гелия, обладает низкой теплопроводностью, что используется для заполнения стеклопакетов в пластиковых окнах. Аргоновый лазер заменяет скальпель при глазных операциях. Мировое производство аргона — около 1 млн тонн в год.

Разряд тока в заполненной аргоном сфере

^{36}Kr

Криптон

83,80

Кларк, г/т	$1{,}1 \cdot 10^{-4}$
Плотность, г/л	3,75
t плавления, °C	–157,4
t кипения, °C	–153,2

Криптон

Криптон, как и ряд других благородных газов, был открыт в 1898 г. У. Рамзаем вместе со своим ассистентом М. Траверсом.

После того как из жидкого воздуха азот, аргон и кислород последовательно выкипели, объем образца сильно уменьшился. После его испарения газ был исследован спектральным методом.

В спектре обнаружились новые линии, принадлежащие ранее не известному элементу. Его назвали криптоном, от *греч.* kryptos — «секретный», «скрытный». В том же образце газа и тем же методом были открыты также неон и ксенон.

Известно несколько соединений криптона, в которых его атомы соединены с атомами фтора, кислорода и ряда других элементов. Некоторые из них устойчивы только при очень низких температурах.

Криптон получают из сжиженного воздуха путем его ректификации. Ежегодно в мире получают около 100 000 м^3 криптона.

Криптоном заполняют колбы электрических лампочек (они имеют грибовидную форму), что позволяет уменьшить испарение вольфрама, поднять температуру нити и увеличить светимость. В «неоновой» рекламе часто светится криптон, яркий белый свет которого, проходя через цветное стекло, окрашивается в нужный цвет. Заполненные криптоном стеклопакеты позволяют уменьшить потери тепла в жилищах. В смеси с фтором криптон работает в мощных лазерах.

Криптон светится в электрическом разряде

Ксенон

Ксенон, как и ряд других благородных газов, был открыт в 1898 г. методом спектрального анализа У. Рамзаем и М. Траверсом. Его название происходит от *греч.* xenos — «чужой, странный, необычный».

«Странность» ксенона ярко проявилась 23 марта 1962 г., когда совершенно неожиданно для химиков всего мира работавший в канадском университете Нил Бартлетт (1932–2008) получил химическое соединение ксенона и гексафторида платины. До этого во всех учебниках писали, что элементы группы гелия не могут образовывать никаких химических соединений. Недаром их называли инертными газами. С тех пор были получены сотни соединений ксенона с другими элементами (в основном с фтором и кислородом). Поэтому элементы этой группы стали называть благородными газами.

Сжатым ксеноном заполняют мощные разрядные лампы, дающие исключительно яркий свет. Как и криптон, ксенон используют при изготовлении плазменных панелей. Ксеноном заполняют фотографические лампы-вспышки. Ксенон можно использовать в качестве средства для наркоза. Английский ученый Дэвид Джоунс как-то подсчитал, что при давлении 50 атм плотность ксенона равна плотности воды, так что человек вполне может в нем плавать. При этом давлении содержание кислорода в ксеноне, необходимое для дыхания, составляет всего 0,5% — ощущения человека в такой среде одновременно напоминают погружение на глубину и свободное падение! Причем такой смесью будет дышать не труднее, чем обычной дыхательной смесью для глубоководного погружения. А поскольку скорость звука в ксеноне в два раза меньше, чем в воздухе, голос человека в ксеноне станет ниже на целую октаву. Пока эксперименты по «плаванию в ксеноне» не проводились... Радиоактивные изотопы ксенона применяют в медицинской диагностике.

Ионный ракетный двигатель на ксеноне использован на космическом зонде *Deep Space* 1, запущенном НАСА в октябре 1998 г. На нем было 81,5 кг ксенона, которые обеспечивали очень малую тягу (около 9 г), но в отличие от мощных ракетных двигателей ксеноновый двигатель непрерывно работал в общей сложности в течение 677 суток.

^{54}Xe
Ксенон
131,29

Кларк, г/т	$87 \cdot 10^{-6}$
Плотность, г/л	5,89
t плавления, °C	–111,8
t кипения, °C	–108,1

Мощная разрядная лампа, заполненная ксеноном, дает очень яркий свет

Лампы вспышек современных фотоаппаратов заполняют ксеноном.

Станция, в частности, выполнила съемку ядра кометы Боррелли.

Ксенона в воздухе очень мало. Для получения 1 м^3 ксенона нужно переработать 11 млн м^3 воздуха. Мировое производство ксенона составляет 11 тысяч м^3 в год.

86 Rn

Радон

[222]

Кларк, г/т	$6 \cdot 10^{-20}$
Плотность, г/л	9,73
t плавления, °C	–71,2
t кипения, °C	–61,9

Радон

В конце XIX в. Э. Резерфорд обнаружил, что воздух около тория и его соединений становится радиоактивным. Впоследствии выяснилось, что это объясняется выделением газа радона, точнее, его изотопа ^{220}Rn с периодом полураспада 55,6 с. Более долгоживущий ^{222}Rn с периодом полураспада 3,82 сут. выделяется ^{226}Ra, который присутствует во всех минералах, содержащих уран. Выделяющийся газ Резерфорд назвал эманацией радия (от *лат.* emanatio — «истечение»).

Спустя 10 лет У. Рамзай доказал, что эманация радия — химический элемент. Он получил название радон — по аналогии с названиями ряда других благородных газов (неон, аргон, криптон, ксенон), а может быть, просто по начальным и конечным буквам английского названия radium emanation.

Радон в 7,5 раз тяжелее воздуха и обладает очень сильной радиоактивностью. Этот благородный газ постепенно, не вступая в химические реакции, просачивается из глубин земного шара к поверхности (в разных географических районах — в разных количествах) и попадает в воздух, а оттуда — в легкие человека. И хотя радона в атмосфере очень мало, на него приходится значительная часть (иногда — более половины) дозы облучения, которую получает в среднем человек в течение жизни. Основная часть радона, попавшая при вдохе в трахею, бронхи и легкие, при выдохе выделяется обратно.

Однако радон хорошо растворяется в воде: при 0 °С в 100 г воды растворяется 51 мл радона — в 22 раза больше, чем азота, и в 10 раз больше, чем кислорода. Таким образом, часть радона, попавшая в легкие при вдохе, может проникнуть через стенки легочных альвеол и раствориться в крови. Значительному риску подвергаются работающие в урановых шахтах, в которых концентрация радона в воздухе особенно велика. Опасность вызывает не только сам радон, но и радиоактивные продукты его распада, среди которых — полоний-210.

Радон применяют в медицине — больных лечат, погружая их в радоновые ванны.

По содержанию радона в воздухе геологи ведут поиск месторождений урана и тория. Увеличение содержания радона в подземных водах может свидетельствовать об усилении сейсмической активности земной коры и недр планеты в данном районе.

Вход в шахту, где проводится лечение радоном, США

Источник богатой радоном воды и белые водоросли

Трансурановые элементы

К трансурановым (от *лат.* trans — «за, по ту сторону») относятся элементы тяжелее урана, то есть с атомными номерами больше 92. Во времена Д. И. Менделеева и несколько десятилетий после него уран считался самым тяжелым элементом; он замыкал Периодическую таблицу. Однако достижения ядерной физики позволили создать (синтезировать) 26 трансурановых элементов, причем четыре из них не имеют пока своего названия. Элементы с атомными номерами от 93 до 103 по строению атомов и химическим свойствам принадлежат к актиноидам; при этом они являются аналогами лантаноидов. Следующие 15 элементов, которые находятся в периодической таблице в группах от 4-й до 18-й, называются трансактиноидами.

Первые трансурановые элементы синтезировали облучением предыдущих элементов нейтронами. Захваченный ядром нейтрон превращается в протон, электрон и антинейтрино; последние два вылетают из ядра, а протон в нем остается, увеличивая заряд ядра на единицу. Так последовательно можно получать один элемент за другим. Однако для этого нужно иметь достаточно «предыдущего» элемента и более мощные потоки нейтронов. Когда этот метод исчерпали, начали облучать синтезированные элементы с большим временем жизни все более тяжелыми ионами.

Несколько элементов, непосредственно следующих за ураном, были уже после их синтеза обнаружены в следовых количествах в урановых минералах.

Не так давно некоторые ученые считали, что элементы, намного более тяжелые, чем уран, должны иметь исключительно малое время жизни, поэтому получить их, а главное — доказать, что получены именно они, считалось весьма проблематичным. В то же время ряд теоретиков предсказывали существование так называемого «острова стабильности» — большого времени жизни для некоторых сверхтяжелых элементов (среди них назывался элемент № 126). Практика показала, что некоторые изотопы последних известных элементов действительно имеют ано-

93
Np
Нептуний
234,048

Открытие — 1940 г.

мально большое время жизни, хотя стабильные среди них не обнаружены.

В 1846 г. астрономы открыли предсказанную незадолго до этого французским астрономом Урбеном Жаном Жозефом Леверье (1811–1877) новую планету. Ее назвали Нептуном — по имени древнегреческого бога подводного царства.

Когда в 1850 г. в минерале, привезенном в Европу из США, обнаружили, как полагали, новый металл, его под впечатлением открытия астрономов предложили назвать **нептунием**. Однако вскоре выяснилось, что это был уже открытый ранее ниобий. О «нептунии» забыли почти на целое столетие, пока в 1940 г. американские физики Эдвин Макмиллан (1907—1991) и Филип Абельсон (1913–2004) не обнаружили новый элемент в продуктах облучения урана нейтронами. И как в Солнечной системе за Ураном следует Нептун, так и в таблице элементов за ураном (№ 92) появился нептуний (№ 93).

Самый долгоживущий изотоп нептуния, ^{237}Np, имеет период полураспада 2,2 млн лет. В очень малых количествах нептуний встречается в урановых минералах. Его можно выделить из продуктов длительного облучения урана нейтронами в ядерных реакторах. Нептуний — очень тяжелый (плотность 20,4 г/см^3) хрупкий металл с низкой температурой плавления (639 °C). Его используют для получения плутония.

В 1930 г. была открыта девятая планета Солнечной системы, предсказанная американским астрономом Персивалем Ловеллом (Лоуэллом; 1855–1916). Новое небесное тело назвали Плутоном — по имени древнегреческого бога подземного царства (в августе 2006 г. Плутон из-за малого размера и особенностей его орбиты был исключен астрономами из списка «больших» планет).

Поэтому было логично назвать следующий за нептунием элемент **плутонием**; он был обнаружен в 1940 г. в продуктах радиоактивного превращения (бета-распада) только что открытого нептуния. Это был плутоний-238. И в том же году плутоний-238 был синтезирован в микрограммовых количествах путем бомбардировки урана ядрами дейтерия. В последующие годы в больших количествах стали получать плутоний-239. Он образуется при работе урановых реакторов: ^{238}U захватывает нейтрон и в результате двух бета-распадов превращается сначала в ^{239}Np, а затем в ^{239}Pu. К настоящему времени так получены тысячи тонн плутония-239.

Плутоний — тяжелый (плотность 19,9 г/см^3) хрупкий радиоактивный металл, плавящийся при

94
Pu
Плутоний
[244]

Открытие — 1940 г.

95
Am
Америций
[243]

Открытие — 1944 г.

97
Bk
Берклий
[247]

Открытие — 1949 г.

96
Cm
Кюрий
[247]

Открытие — 1944 г.

98
Cf
Калифорний
[251]

Открытие — 1949 г.

99
Es
Эйнштейний
[252]

Открытие — 1952 г.

640 °С. Период полураспада самого долгоживущего изотопа, ^{244}Pu, равен 80,8 млн лет. В очень малых количествах он найден в природе. Плутоний-239, как и уран-235, — делящийся материал, его называют оружейным плутонием. Впервые взорванная в июле 1945 г. атомная бомба, а также сброшенная через месяц на Нагасаки и испытанная в СССР в 1949 г. — все они были плутониевыми. Плутоний-239 служит также топливом для ядерных реакторов. Плутоний-238 (период полураспада 87,7 лет) служит источником энергии в космических аппаратах.

Элемент № 95 был получен в 1944 г. в Металлургической лаборатории Чикагского университета. Его синтезировали облучением плутония-239 альфа-частицами, ускоренными на циклотроне. Внешняя электронная оболочка нового элемента оказалась аналогичной европию. Соответственно новый элемент назвали в честь Америки, как европий — в честь Европы. **Америций** — пластичный радиоактивный металл; его плотность 13,7 г/см^3, температура плавления 994 °С. Самый долгоживущий изотоп, ^{243}Am, имеет период полураспада 7370 лет; его используют для синтеза более тяжелых элементов. Америций-241 (период полураспада 432 года) находится в количестве сотых долей микрограмма в некоторых детекторах дыма. В таком детекторе излучение америция создает небольшой ток, который уменьшается при попадании внутрь дымовых частиц, в результате срабатывает аварийный сигнал.

Элемент № 96 был получен в 1944 г. путем бомбардировки плутония ядрами гелия. Его назвали в честь Пьера и Марии Кюри. В Периодической таблице актиноиду **кюрию** соответствует лантаноид гадолиний, в названии которого фигурирует фамилия ученого. Так что физики, придумывая название новому элементу, вероятно, имели в виду и эту аналогию.

Плотность кюрия 13,5 г/см^3, температура плавления 1340 °С.

Известно более 20 изотопов кюрия, самый долгоживущий — кюрий-246 с периодом полураспада 15,6 млн лет. Кюрий-242 (период полураспада 162,8 сут.) применяется для производства компактных и очень мощных источников энергии: 1 г кюрия выделяет мощность 120 Вт.

Берклий получен искусственно в 1949 г. группой Сиборга в Калифорнийском университете в городе Беркли, откуда и получил название. Для синтеза нового элемента бомбардировали альфа-частицами мишень из америция, который с этой целью накап-

ливали несколько лет. Плотность берклия 13,2 г/см^3, температура плавления 986 °С. Известно два десятка изотопов берклия; период полураспада самого долгоживущего, ^{247}Bk, равен 1380 годам.

Третий «американский» элемент **калифорний** получен искусственно в 1950 г. группой Сиборга в Калифорнийском университете, в честь которого он был назван. Авторы писали, что этим названием они хотели также подчеркнуть, что открыть новый элемент им было так же трудно, как век назад пионерам Америки достичь Калифорнии. Синтез был осуществлен бомбардировкой альфа-частицами мишени, содержащей кюрий.

Калифорний — металл с плотностью 15,1 г/см^3, его температура плавления 900 °С.

Известно два десятка изотопов калифорния; период полураспада самого долгоживущего, ^{249}Cf, составляет 351 год. Практическое значение имеет калифорний-252 с периодом полураспада 2,65 лет.

При этом 97% распадающихся атомов испускают альфа-частицы, а остальные самопроизвольно расщепляются, испуская по четыре нейтрона. Это позволяет использовать ^{252}Cf как мощный источник нейтронов: 1 мг его испускает три миллиарда нейтронов в секунду. Это свойство используется для точечного разрушения раковых опухолей. Слухи же о мифической «калифорниевой пуле» не имеют под собой никакой реальной основы.

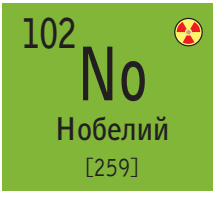
В ноябре 1952 г. в США произвели в Тихом океане испытание термоядерного заряда. Через некоторое время с расположенных неподалеку от взрыва островов были взяты для изучения сотни килограммов почвы, которые подвергли химической переработке для поисков неизвестных элементов. В этих образцах были обнаружены изотопы двух новых элементов: **эйнштейния** и **фермия**.

В 1954 г. группа американских физиков под руководством Альберта Гиорсо (1915–2010) синтезировала эти же элементы путем бомбардировки урана ионами азота. Результаты экспериментов были опубликованы в 1955 г. Ее авторы (их было 16) предложили назвать новые элементы эйнштейнием и фермием — в честь скончавшихся незадолго до этого Альберта Эйнштейна (1879–1955) и итальянского физика Энрико Ферми (1901–1954).

Эйнштейний получают облучением мишеней, содержащих уран, берклий или калифорний, ускоренными ионами соответственно азота, гелия и дейтерия. Фермий получают аналогично, облучением мишеней из тория, урана или плутония ускоренными ионами неона, кислорода или угле-

Открытие — 1952 г.

Открытие — 1955 г.



Открытие — 1956 г.

103
Lr
Лоуренсий
[262]

Открытие — 1961 г.

104
Rf
Резерфордий
[264]

Открытие — 1969 (1966) г.

105
Db
Дубний
[268]

Открытие — 1960 (1967) г.

рода. О трудоемкости таких синтезов свидетельствует такой факт: в результате облучения в секунду образуется всего лишь 30 атомов фермия или примерно миллиард атомов в год, которые даже невозможно накопить из-за их непрерывного распада. Известно около 20 изотопов эйнштейния и столько же фермия. Периоды полураспада самых долгоживущих из них — ^{252}Es и ^{257}Fm — составляют соответственно 471,7 и 100,5 сут. Мишени из эйнштейния и фермия используют для получения более тяжелых элементов.

Вторую сотню химических элементов в Периодической таблице открывает элемент **менделевий**, названный в честь ее создателя. Вот выдержка из книги Эрла Хайда, Исидора Перлмана и Гленна Сиборга «Трансурановые элементы»:

«Для нового элемента было предложено наименование “менделевий”... в знак признания заслуг великого русского химика Д. И. Менделеева, который первый использовал для предсказания химических свойств неоткрытых элементов Периодическую систему элементов, принципы которой явились ключом для открытия большинства трансурановых элементов».

Впервые о получении нового элемента группа Сиборга заявила в 1955 г., но лишь в 1958 г. в Беркли были получены надежные данные. Известно около 20 изотопов менделевия, самый долгоживущий из которых, ^{258}Md, имеет период полураспада 51,5 сут.

История открытия элемента № 102 была непростой. Впервые о синтезе **нобелия** сообщила в 1957 г. международная группа ученых из США, Англии и Швеции, работавших в Стокгольме в Физико-химическом институте имени Нобеля. Они предложили назвать элемент в честь шведского инженера-химика, изобретателя и промышленника Альфреда Бернхарда Нобеля (1833–1896). Позднее выяснилась ошибочность полученных в Стокгольме результатов. В 1958 г. американские физики начали использовать для ускорения ионов не циклотрон, а линейный ускоритель. Бомбардируя таким образом ранее синтезированный кюрий (96 протонов) ионами углерода (6 протонов), они получили тот же элемент. Однако первые надежные данные об элементе № 102 были получены еще раньше, в 1966 г., в СССР группой под руководством Георгия Николаевича Флерова (1913–1990), будущего академика. Новый элемент был синтезирован бомбардировкой плутония (94 протона) ядрами кислорода (8 протонов). Когда скончался французский физик Фредерик Жолио-Кюри

(1900–1958), ученые предложили переименовать нобелий в его честь и назвать жолиотием. Вопрос оставался открытым, и в течение нескольких десятилетий символ нобелия помещали в скобках. Однако со временем споры утихли, и символ No так и остался в таблице уже без скобок.

Известно 17 изотопов нобелия (не считая изомеров — возбужденных состояний ядер, они обозначаются буквой m); период полураспада самого долгоживущего, ^{259}No, составляет 58 мин.

О получении различных изотопов элемента № 103 сообщалось в 1961 и в 1971 гг. (группа в Беркли) и независимо — в 1965, 1967 и 1970 гг. (работы в Дубне). Первый синтез, проведенный под руководством А. Гиорсо, заключался в бомбардировке мишени, содержащей калифорний (98 протонов), ионами бора (5 протонов). Новый элемент **лоуренсий** был назван в честь Э. О. Лоуренса, американского физика, изобретателя циклотрона. Известно 16 изотопов лоуренсия; период полураспада самого долгоживущего, ^{261}Lr, составляет 39 мин.

Лоуренсий — последний элемент-актиноид. Элементы с номерами со 104-го (резерфордий) по 118-й унуноктий (оганессон) замыкают седьмой период в таблице элементов. При этом резерфордий является аналогом гафния, дубний — аналогом тантала и т. д. Элемент № 118 должен быть аналогом инертного газа радона.

Следует отметить, что самые тяжелые элементы получают буквально поштучно в результате сложнейших экспериментов, к которым готовятся годами. И многие их изотопы почти сразу же после синтеза распадаются, так что об их существовании приходится судить лишь по косвенным данным. Тем не менее каждый такой синтез представляет большой интерес для науки и является предметом гордости коллектива и страны, в которой он был получен.

Трансурановые элементы и множество их изотопов синтезировали (и продолжают синтезировать) в лабораториях ряда стран: США, ФРГ, Японии и в Объединенном институте ядерных исследований (ОИЯИ в Дубне Московской области — для работы в нем приехали специалисты из 12 стран). Такие открытия — результат работы многих исследователей. По вопросу о приоритете в открытии первых трансактиноидных элементов долгие годы шли острейшие споры. Для названий элементов с 102-го по 109-й окончательное решение было принято 30 августа 1997 г. по предложению Номенклатурной комиссии Международного союза теоретической и прикладной химии (ИЮПАК).

106
Sg
Сиборгий
[269]

Открытие — 1974 г.

107
Bh
Борий
[270]

Открытие — 1981 г.

108
Hs
Хассий
[269]

Открытие — 1984 г.

В 1973 г. Комиссия по номенклатуре ИЮПАК предложила временные названия для вновь открываемых элементов (начиная со 104-го) — до официального утверждения постоянных названий, а также для гипотетических сверхтяжелых элементов. Такое временное название строится в соответствии с порядковым номером элемента с использованием латинских и греческих корней количественных и порядковых числительных: 0 — nil, 1 — un, 2 — bi, 3 — tri, 4 — quad, 5 — pent и т. д. При этом символы новых элементов в отличие от уже существующих состоят из трех букв. Вот примеры таких названий элементов и их символов: 104 — Unnilquadium — Unq, 105 — Unnilpentium — Unp, 118 — Ununoctium — Uuo. С тех пор прошло 40 лет. Открыты практически все указанные элементы (но не все открытия утверждены), и большинство из них получили свои постоянные названия.

Первые опыты по получению элемента № 104 были предприняты в Дубне в начале 1960-х гг. группой ученых под руководством Г. Н. Флерова. В 1964 г. они сообщили об успешном синтезе и предложили назвать новый элемент курчатовием (символ Ku) — в честь руководителя атомного проекта в СССР Игоря Васильевича Курчатова (1903–1960). Американские исследователи, синтезировавшие этот элемент в 1969 г., использовали новую методику идентификации, считая, что полученные ранее результаты нельзя считать однозначными. Они предложили название **резерфордий** — в честь выдающегося английского физика Эрнеста Резерфорда. ИЮПАК предлагал для этого элемента название дубний, но окончательно решено было остановиться на резерфордии, чтобы отметить выдающийся вклад этого ученого в ядерную физику. Известно 16 изотопов резерфордия; период полураспада самого долгоживущего, ^{265}Rf, составляет 10 ч.

Элемент № 105 был впервые получен на ускорителе Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) в Дубне в 1970 г. группой Г. Н. Флерова и независимо в Беркли (США). Советские исследователи предложили назвать его нильсборием (Ns) в честь датского физика Нильса Бора. Американцы — ганием (он же ханий, Hn) в честь Отто Гана (Otto Hahn, 1879–1968), одного из авторов открытия спонтанного деления урана. Комиссия по номенклатуре Международного союза теоретической и прикладной химии предложила компромиссное название жолиотий (Jl), в честь французского физика и радиохимика Фредерика Жолио-Кюри.

109
Mt
Мейтнерий
[278]

Открытие — 1987 г.

Символы Ns, Hn, Jl можно было видеть в таблицах элементов, изданных в разные годы. Сейчас этот элемент носит название **дубний**. Известно 15 изотопов дубния (не считая трех изомеров); период полураспада самого долгоживущего, ^{268}Db, составляет чуть больше 32 ч.

Элемент № 106 был получен в СССР Г. Н. Флеровым с сотрудниками в 1974 г. и практически одновременно в США группой Сиборга. В 1997 г. ИЮПАК утвердил для этого элемента название **сиборгий** в честь патриарха американских исследователей-ядерщиков Гленна Сиборга, который принимал участие в открытии плутония, америция, кюрия, берклия, калифорния, эйнштейния, фермия, менделевия и которому к тому времени исполнилось 85 лет. Это первый и, очевидно, последний случай, когда химический элемент был назван в честь живущего исследователя. Известно 16 изотопов сиборгия; период полураспада самого долгоживущего, ^{272}Sg, составляет 1 ч.

Первые надежные сведения о свойствах элемента № 107 получены в ФРГ в 1981 г. группой ученых под руководством Петера Армбрустера (род. 1931). Эта же группа участвовала в открытии ряда следующих элементов. Предыдущие данные, полученные в 1976 г. в Дубне, оказались противоречивыми. Исследователи из Дармштадта и Дубны в 1992 г. договорились о названии «нильсборий» (символ Ns), в честь Нильса Бора. Однако в комиссии ИЮПАК возразили: в названии элемента может быть только фамилия ученого. В результате в 1997 г. было утверждено название **борий**, символ Bh (от датского написания фамилии Bohr).

Известно 16 изотопов бория (и один изомер); период полураспада самых долгоживущих, ^{273}Bh и ^{274}Bh, составляет 1,5 ч.

Первые надежные данные об элементе № 108 были получены в 1984 г. в Дубне и независимо и одновременно на ускорителе Центра по изучению тяжелых ионов вблизи Дармштадта — города в федеральной земле Гессен. Латинское название этого старинного немецкого княжества, а затем великого герцогства Гессен-Дармштадт — Hassia, отсюда и название элемента **хассий**. Известно 16 изотопов хассия (и один изомер); период полураспада самого долгоживущего, ^{277}Hs, составляет 40 мин.

Элемент № 109 **мейтнерий** впервые был синтезирован в ФРГ в 1987 г. Назван в честь Лизы Мейтнер (Meitner, 1878–1968), австрийского физика и радиохимика, которая была соавтором открытия протактиния и обосновала в 1939 г. представление

110 Ds
Дармштадтий
[281]

Открытие — 1994 г.

111 Rg
Рентгений
[281]

Открытие — 1984 г.

112 Cn
Коперниций
[285]

Открытие — 1996 г.

113 Nh
Нихоний
[286]

Открытие — 2003 г.

114 Fl
Флеровий
[289]

Открытие — 1998/99 г.

115 Mc
Московий
[289]

Открытие — 2003 г.

о делении ядер урана под действием нейтронов на крупные осколки. Известно 15 изотопов мейтнерия (и два изомера); период полураспада самого долгоживущего, ^{278}Mt, составляет 30 мин.

Первые изотопы элемента № 110 **дармштадтия** были синтезированы в 1994 г. в Центре по изучению тяжелых ионов в Дармштадте. Несколько изотопов этого элемента синтезировали также в Дубне. Известно 15 изотопов дармштадтия (не считая изомеров); период полураспада самого долгоживущего, ^{280}Ds, составляет 11 с.

Элемент № 111 **рентгений** был впервые синтезирован в ФРГ в 1994 г., спустя всего месяц после открытия дармштадтия. Элемент назвали в честь немецкого физика Вильгельма Конрада Рентгена (1845–1923), получившего в 1901 г. первую Нобелевскую премию по физике за открытие «Х-лучей». Известно 12 изотопов рентгения; период полураспада самого долгоживущего, ^{281}Rg, составляет 26 с. Расчеты показывают, что период полураспада ^{283}Rg должен составлять 10 мин.

Элемент № 112 **коперниций (коперникий)** был впервые синтезирован в ФРГ в 1996 г. и назван в честь польского астронома Николая Коперника (1473–1543).

Интересно, что ИЮПАК утвердил название нового элемента 19 февраля 2010 г., в день рождения Коперника.

Известно шесть изотопов коперниция, не читая изомеров; период полураспада самого долгоживущего (предполагается, что это изомер ^{285m}Cn) составляет 8,9 мин.

Исследователи из Дубны и Ливерморской национальной лаборатории (США) в 2004 г. сообщили о совместном открытии элементов № 113 **нихония** и № 115 **московия**. Мишень, содержащая америций (95 протонов в ядре), была подвергнута бомбардировке ускоренными ионами кальция (20 протонов). В результате было получено четыре ядра элемента со 115 протонами: три с массой 288 и один с массой 287 в зависимости от числа выделившихся нейтронов. Все эти ядра в результате альфа-распада (выброс ядра гелия) превратились в три ядра ^{284}Nh и одно ядро ^{283}Nh. Результаты были подтверждены японскими химиками, которые непосредственно получили элемент 113, используя реакцию слияния ядер цинка (30 протонов) и висмута (83 протона).

Известно семь изотопов элемента 113 (по расчетам, период полураспада самого долгоживущего, ^{287}Nh, должен быть равен 10 мин) и не менее четырех

изотопов элемента 115 (период полураспада самого долгоживущего, ^{291}Mc, составляет предположительно 1 мин).

Российские ученые предложили назвать элемент 113 в честь А. Беккереля, японские — в честь своей страны. Для элемента 115 предлагали название в честь французского физика Поля Ланжевена (1872–1946).

В начале XXI в. российскими учеными в Дубне были синтезированы первые сверхтяжелые нуклиды элемента № 114 и, в сотрудничестве с Ливерморской национальной лабораторией (США), № 116. Исследователи предлагали для этих элементов несколько названий. **Флеровий** — в честь российского физика академика Г. Н. Флерова, основателя Объединенного института ядерных исследований в Дубне и руководителя группы, синтезировавшей элементы с номерами от 102 до 110. **Ливерморий** — в честь Ливерморской национальной лаборатории имени Эрнеста Лоуренса (она является частью огромного Калифорнийского университета). В июне 2011 г. открытие новых элементов было официально признано ИЮПАК, а спустя год были утверждены окончательно названия флеровий (символ Fl) и ливерморий (символ Lv) соответственно для элементов 116 и 118.

Известно пять изотопов флеровия, не читая изомеров; период полураспада самого долгоживущего (предполагается, что это изомер ^{289m}Fl) составляет 1,1 мин. Для ливермория известно четыре изотопа, период полураспада самого долгоживущего, ^{293}Lv, составляет около 0,05 с.

Несколько ядер элемента 117 **теннессина** было синтезировано в Дубне в 2009, 2010 и 2012 гг. в результате бомбардировки ионами кальция мишени, содержащей берклий (его предоставили американские физики). Известно два изотопа этого элемента с периодами полураспада 0,014 и 0,078 с.

Первое сообщение об открытии в 1999 г. в США элемента 118 **оганесона** не подтвердилось в России, ФРГ, Японии, а затем и в самих США. Синтез нескольких ядер элемента № 118 был осуществлен в совместных экспериментах российских и американских физиков в 2002 и 2006 гг. Известен только один нуклид ^{294}Og с периодом полураспада 0,00089 с. В результате альфа-распада это ядро превращается в ядро ^{290}Lv. Элемент 118 завершает седьмой период периодической таблицы элементов.

Следующий (если его откроют), должен стать аналогом щелочных металлов.

116 Lv
Ливерморий
[293]

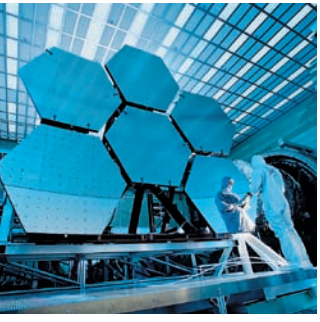
Открытие — 2000 г.

117 Ts
Теннессин
[294]

Открытие — 2010 г.

118 Og
Оганесон
[294]

Открытие — 2002 г.



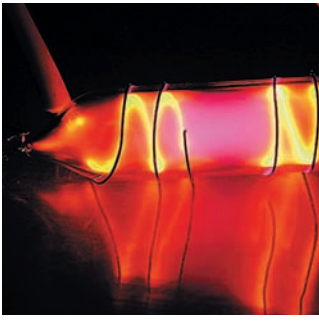
Содержание

ВВЕДЕНИЕ . . . 3
Что такое химический элемент . . . 3
Периодическая таблица химических элементов Д. И. Менделеева . . . 20
Водород . . . 22
МЕТАЛЛЫ . . . 26
ЩЕЛОЧНЫЕ МЕТАЛЛЫ . . . 28
Литий . . . 28
Натрий . . . 29
Калий . . . 31
Рубидий и цезий . . . 32
Франций . . . 34
ЩЕЛОЧНОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ . . . 36
Бериллий . . . 36
Магний . . . 37
Кальций . . . 38
Стронций . . . 40
Барий . . . 41
Радий . . . 42
ГРУППА СКАНДИЯ . . . 44
Скандий . . . 46
Иттрий . . . 47
ЛАНТАН И ЛАНТАНОИДЫ . . . 48
Лантан . . . 50
Церий . . . 50
Празеодим и неодим . . . 52
Прометий . . . 52
Самарий . . . 53
Европий . . . 54
Гадолиний . . . 54
Тербий . . . 55
Диспрозий . . . 56
Гольмий . . . 56
Эрбий . . . 57
Тулий . . . 57
Иттербий . . . 58
Лютеций . . . 59
АКТИНИЙ И АКТИНОИДЫ . . . 60
Актиний и протактиний . . . 62
Торий . . . 63
Уран . . . 64
ГРУППА ТИТАНА . . . 66
Титан . . . 66
Цирконий . . . 68
Гафний . . . 69
ГРУППА ВАНАДИЯ . . . 70
Ванадий . . . 70
Ниобий и тантал . . . 72
ГРУППА ХРОМА . . . 74
Хром . . . 74
Молибден . . . 76
Вольфрам . . . 77
ГРУППА МАРГАНЦА . . . 78
Марганец . . . 78
Технеций . . . 81
Рений . . . 84

ТРИАДА ЖЕЛЕЗО—КОБАЛЬТ—НИКЕЛЬ..... 86
Железо 86
Кобальт 90
Никель..... 92
ТРИАДА РУТЕНИЙ—РОДИЙ—ПАЛЛАДИЙ 96
Рутений..... 96
Родий 98
Палладий 99
ТРИАДА ОСМИЙ — ИРИДИЙ — ПЛАТИНА ... 100
Осмий 100
Иридий 102
Платина..... 103
ГРУППА МЕДИ 108
Медь..... 108
Серебро 110
Золото..... 112
ГРУППА ЦИНКА 116
Цинк..... 116
Кадмий 118
Ртуть..... 119
ГРУППА БОРА..... 124
Бор 124
Алюминий 125
Галлий 127
Индий 128
Таллий 129
ГРУППА УГЛЕРОДА 130
Углерод 130
Кремний 132
Германий 134
Олово..... 135
Свинец 137
ГРУППА АЗОТА 140
Азот 140
Фосфор..... 143
Мышьяк..... 144
Сурьма..... 147
Висмут..... 148
ГРУППА КИСЛОРОДА 150
Кислород 150
Сера 153
Селен 155
Теллур 157
Полоний..... 158
ГАЛОГЕНЫ 160
Фтор..... 160
Хлор 162
Бром..... 164
Иод..... 166
Астат..... 169

БЛАГОРОДНЫЕ ГАЗЫ..... 170
Гелий 170
Неон..... 173
Аргон 174
Криптон 176
Ксенон..... 177
Радон 178

ТРАНСУРАНОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ..... 180



Серия «Популярный иллюстрированный гид»

12+

Илья Леенсон

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ.
Популярный иллюстрированный гид

Заведующая редакцией *Юлия Данник*
Ответственный редактор *Ольга Лазуткина, Павел Здешнев*
Оформление обложки *Алексей Закопайко*
Компьютерная верстка *Анны Грених*
Технический редактор *Наталья Чернышева*
Корректор *Екатерина Никулина*

Общероссийский классификатор продукции
ОК-034-2014 (КПЕС 2008): 58.11.1 — книги и брошюры печатные

Произведено в 2021 году в Российской Федерации
Подписано в печать 08.09.2021. Формат 60x90 1/16. Усл. печ. л. 12
Печать офсетная. Бумага мелованная. Гарнитура Bannikova
Тираж 2000 экз. Заказ

ООО «Издательство АСТ»
129085, РФ, г. Москва, Звездный бульвар, дом 21, стр. 1,
комната 705, пом. I
Адрес нашего сайта: www.ast.ru. E-mail: ask@ast.ru

«Баспа Аста» деген ООО
129085, Мәскеу қ., Звёздный бульвары, 21-үй, 1-құрылыс, 705-бөлме,
I жай, 7-қабат.
Біздің электрондық мекенжайымыз: www.ast.ru
Интернет-магазин: www.book24.kz. Интернет-дукен: www.book24.kz
Импортер в Республику Казахстан ТОО «РДЦ-Алматы».
Қазақстан Республикасындағы импорттаушы «РДЦ-Алматы» ЖШС.
Дистрибьютор и представитель по приему претензий на продукцию
в республике Казахстан: ТОО «РДЦ-Алматы»
Қазақстан Республикасында дистрибьютор және өнім бойынша
арыз-талаптарды қабылдаушының өкілі
«РДЦ-Алматы» ЖШС, Алматы қ., Домбровский көш., 3«а»,
литер Б, офис 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
Өнімнің жарамдылық мерзімі шектелмеген.
Өндірген мемлекет: Ресей

Атомы железа в крови человека синтезированы в недрах звезд, твердый водород — самое легкое твердое вещество, а в одной клетке образуется 3500 белков. За 4000 лет до н.э. в Древнем Китае применяли индиго и кермес, а в Египте — медь. В периодической таблице 7 периодов, 18 групп и 118 элементов, из которых, как известно, состоит все на свете.

Биографии и характеры химических элементов описал Илья Абрамович Леенсон (1945–2019) — кандидат химических наук, в прошлом старший научный сотрудник химического факультета МГУ, доцент Высшего химического колледжа РАН, автор научных и научно-популярных статей, книг и учебных пособий.

книги для любого настроения здесь

ИЗДАТЕЛЬСКАЯ ГРУППА АСТ

www.ast.ru | www.book24.ru

vk.com/izdatelstvoast
instagram.com/izdatelstvoast
facebook.com/izdatelstvoast
ok.ru/izdatelstvoast

ISBN 978-5-17-136594-3

9 785171 365943

ОГИЗ