

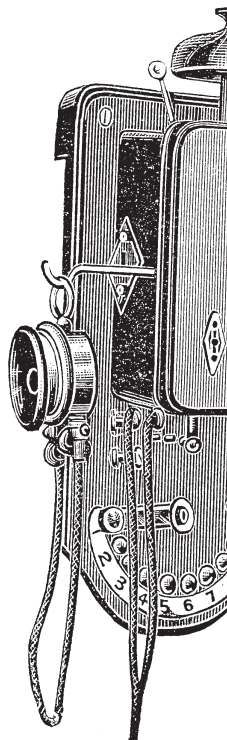
0.0 ПРЕДИСЛОВИЕ

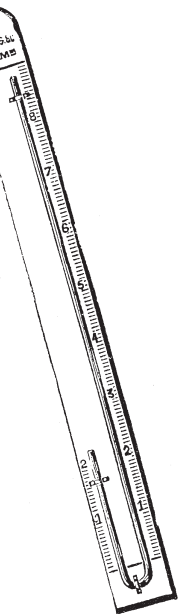
Идея этой книги пришла ко мне в декабре 2017 года, когда я и многие мои коллеги поняли, что в 2019 году шанс вспомнить про Периодический закон, Периодическую систему, Дмитрия Ивановича Менделеева и химию появится у всех жителей планеты Земля.

В декабре 2017 года Организация Объединенных Наций провозгласила 2019 год «Международным годом Периодической системы химических элементов». Как отмечено в Резолюции ООН, такое решение принято: *«... в целях повышения осведомленности мировой общественности о фундаментальных науках и расширения образования в области фундаментальных наук, уделяя особое внимание странам развивающегося мира, для повышения качества повседневной жизни и в том числе для будущих достижений в области научных исследований и разработок...»*.

С предложением сделать 2019 год Годом Периодической системы выступало несколько международных и национальных научных организаций, в том числе Международный союз теоретической и прикладной химии (ИЮПАК), Российская академия наук, Королевское химическое общество Великобритании и Российское химическое общество имени Д.И. Менделеева. Причина такого решения проста – в марте 2019 года исполняется 150 лет со дня, когда на заседании Русского химического общества его председатель – Николай Александрович Меншуткин – от имени Дмитрия Ивановича Менделеева прочитал доклад *«Соотношение свойств с атомным весом элементов»*, и 18 марта официально считается днем рождения Периодического закона.

Чтобы отметить это событие, мне захотелось рассказать обо всех химических элементах, из-



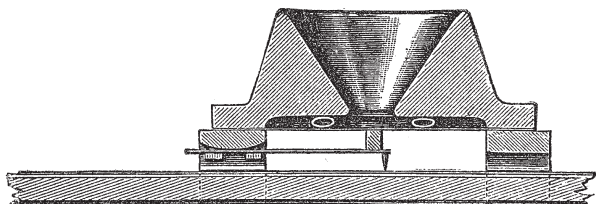


вестных к настоящему времени. Это немного облегчалось тем, что в 2016 году ИЮПАК одобрил названия четырёх элементов, открытых в начале XXI века, и Периодическая система оказалась временно заполненной до конца — последний из известных элементов — элемент №118, оганесон, замыкает седьмой ряд Периодической системы. Насколько я знаю, на момент написания книги не появлялось даже пилотных сообщений о синтезе элемента №119 и последующих за ним. Учитывая, что в наше время от открытия элемента до его появления в Периодической системе под утвержденным названием проходит не менее десяти лет, эта книга может стать попыткой описания всех известных науке химических элементов минимум на десятилетие.

Рассказывая о каждом химическом элементе, я старался приводить о каждом из них как можно больше полезных и интересных фактов. Некоторые из историй, связанных с открытиями и свойствами элементов, появившись они в художественной литературе, могли бы быть раскритикованы читателями как «притянутые за уши» — слишком нереалистичными кажутся иные повороты сюжета. Я старался не рассказывать об общеизвестных вещах, физико-химических свойствах (уверен, что при необходимости пытливым читателем будет найдена информация о температуре плавления, кипения, минералах, из которых добывают элементы, в справочниках или библиотеках), без нужды часто не применять специализированные, понятные только специалисту-химику термины, записывать уравнения химических реакций. Всё это сделано сознательно — издатель в своё время говорил Стивену Хокингу: *«Каждая формула в научно-популярной книге сокращает число читателей вдвое»*. Моя цель была — максимально привлечь и заинтересовать читателя, чтобы он захотел продолжить интересоваться химией и далее, а если будет интерес, то и до формул, и до терминов человек дойдёт

сам, своими силами. Вместе с тем полагаю, что и те, кто уже давно знает и любит химию, найдут в книге что-то интересное и полезное для себя.

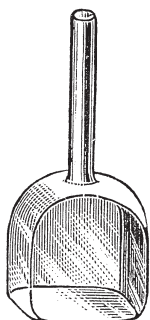
Понятно, что о каждом из известных химических элементов можно написать отдельную книгу, я и сам знаю, что посвящать каждому из них пять-шесть страниц преступно мало. Те читатели, которые хотят узнать больше, всегда могут продолжить свой экскурс в химию, прочитав, например, ту книгу, которой я и сам зачитывался в детстве: «Популярная библиотека химических элементов» В.В. Станцо, М.Б. Черненко. Следует только учитывать, что последнее издание этой книги датируется 1983 годом, в ней описано всего 107 химических элементов, некоторые из них приведены под устаревшими названиями, и за 35 лет некоторые элементы успели найти новые области применения. Кроме «Популярной библиотеки» об элементах и их веществах можно узнать больше в рубрике журнала «Химия и жизнь» под названием «Факты и фактики», других книгах, энциклопедиях и справочниках, а я буду очень рад, если моя книга поможет читателям по-новому посмотреть на удивительный мир химии и её элементов и полюбить его. Приятного чтения!



Н

1. ВОДОРОД

В классическом анекдоте химиков говорится о том, что жена никогда не понимала Дмитрия Ивановича Менделеева и часто выговаривала ему за то, что он, дескать, ставил на первое место не семью, а водород. С точки зрения истории химии и Периодического закона анекдот, увы, неверен — в составленной Менделеевым таблице до водорода стояли короний и ньютоний — формы светозарного эфира, в существование которого верил Дмитрий Иванович. Тем не менее самый простой и самый элегантный химический элемент, в состав которого входит всего один протон и один электрон, в полной мере стоит на первом месте.



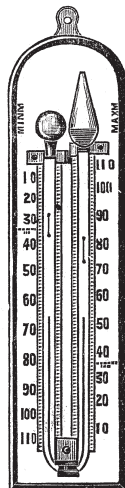
Водород занимает первое место в Периодической системе, водород — первый химический элемент, который появился во Вселенной, водород стал «сырьём», необходимым для появления всех остальных элементов. Несмотря на то что появление водорода можно отсчитывать почти с начала времён нашего мира — согласно модели Большого горячего взрыва, первые атомы водорода появились в нашей Вселенной через 380 000 лет после начала её расширения и за миллиарды лет огромное количество звезд превращали водород в гелий, — водород до сих пор составляет 75% от всего наблюдаемого вещества космоса.

Ещё одно отличие водорода от всех остальных элементов в том, что только его изотопам даны уникальные названия. Простейший атом водорода, состоящий из протона и электрона, называют протием, нуклид, ядро которого состоит из протона и нейтрона (с ядром все так же связан один электрон), называют дейтерием (др.-греч. δειτερος — «второй») или тяжелым водородом,

атом, в ядре которого два нейтрона и протон, — тритием (др.-греч. τρίτος — «третий») или сверхтяжёлым водородом. Никакой другой «квартирант» Периодической системы не заслужил, чтобы его изотопы получили свои собственные имена.

*Маленькое терминологическое отступление, которое необходимо здесь и далее для понимания. Как человек, придерживающийся строгих правил в терминологии, поясняю. **Нуклид** — вид атомов с определённым массовым числом и определённым атомным номером, часто вместо этого термина в научно-популярной и даже научной литературе можно встретить термин «**изотоп**», но это неправильно — мы можем говорить «**изотопы элемента**», «**радиоактивные изотопы**», термин «**изотоп**» не предполагает применения в единственном числе, только во множественном, поэтому здесь и далее, если нужно сказать о каком-то конкретном типе атомов, будет применяться правильный термин — «нуклид».*

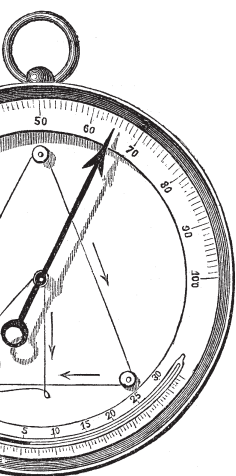
Водород чрезвычайно важен для вселенной, жизни и всего такого прочего. Без водорода не сформировалось бы дающее нам свет и тепло Солнце. Водород входит в состав тех органических соединений, которые мы считаем строительными блоками жизни, и, что не менее важно, без водорода не было бы того вещества, которое столь важно для существования жизни, — воды. Можно сказать, что пользоваться жидкой водой мы можем тоже благодаря «сверхспособностям» водорода, точнее его способности участвовать в образовании водородных связей. Водородные связи — прочные межмолекулярные взаимодействия, которые возникают между молекулами, в которых водород связан с кислородом, азотом или фтором, и являются причиной многих особых свойств веществ, молекулы которых притягиваются друг к другу за счет этих связей. Если бы не существовало водородных связей, температура кипения воды составляла бы $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ и на Земле просто не могло бы существовать жидкой воды.



Невольным первооткрывателем водорода можно считать Парацельса – швейцарского алхимика шестнадцатого века, также известного как Филипп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогенхайм. Парацельс заметил, что при растворении большинства металлов в кислотах выделяются пузырьки воспламеняемого «воздуха», причем чаще всего свойства этих пузырьков не зависели ни от природы металла, ни от взятой для его растворения кислоты. Чуть позже, независимо от Парацельса, выделение горючих пузырьков наблюдал английский химик Роберт Бойль, вполне возможно, что это могли наблюдать и другие алхимики.

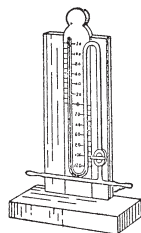
Тем не менее официальным первооткрывателем водорода, человеком, который предположил, что водород является индивидуальным веществом, был Генри Кавендиш. С 1760 по 1780 год Кавендиш выделил водород, назвал его «негорючим воздухом» и обнаружил, что при горении в «дефлогистированном воздухе» (сейчас мы называем его кислородом) образуется вода. Современное название – водород – было предложено Антуаном Лораном Лавуазье.

Высокая горючесть молекулярного водорода и то, что это самый легкий из газов, не дает возможности водороду накапливаться в атмосфере Земли в виде простого вещества – сейчас он, если и появляется в атмосфере, то тут же окисляется кислородом воздуха. Ранее, когда атмосфера Земли еще не была окисляющей, до «большого кислородного события», в ходе которого кислород появился в земной атмосфере и стал вторым газом по содержанию, в четырнадцать раз более легким, чем азот, и в двадцать два раза более легким, чем углекислый газ, водород просто поднимался в верхние слои атмосферы и улетучивался в космическое пространство (сейчас по такой же схеме наша атмосфера теряет гелий, образующийся в земной коре во время процессов распада радиоактивных элементов). Небольшая плотность мо-



лекулярного водорода привела к тому, что прежде всего он начал применяться в воздухоплавании. Первый заполненный водородом воздушный шар был построен в 1783 году французским ученым Жаком Александром Сезаром Шарлем, вскоре после первого полета братьев Монгольфьер. Шарль справедливо рассудил, что замена горячего воздуха на более легкий газ увеличит подъемную силу шара, и создал свое «воздухоплавательное судно» — заполнил водородом оболочку шара из шёлка, для увеличения герметичности пропитанного природным каучуком (с тех пор воздушный шар, наполняемый водородом или другим газом легче воздуха, стали называть «шарльер»).

Казалось, благодаря водороду воздухоплавание и летательные аппараты легче воздуха ждет большое будущее. Особые надежды на такие аппараты стали возлагаться с заменой мягких оболочек воздушных шаров на оболочки, усиленные внутренними каркасами. Изобретателем и энтузиастом создания воздухоплавательного парка из таких машин был немецкий граф Фердинанд фон Цеппелин, в честь которого такие воздушные суда стали называть цеппелинами (нам они известны как дирижабли). Золотой век дирижаблей пришелся на 1920–1930-е годы, когда они использовались и для перевозки грузов, и людей, в том числе и через Атлантический океан. Тем не менее водород обеспечил не только расцвет эры управляемых шарльеров, но и их закат — главной проблемой водорода является его реакционная способность и высокая горючесть. Из-за того, что наполнявший оболочки воздушных шаров водород загорался, часто случались аварии, а после 6 мая 1937 года, когда возгорание цеппелина «Гинденбург», унесшее жизни 36 человек, было заснято на киноплёнку (справедливости ради, были аварии дирижаблей и с большим количеством жертв, но они не попадали в кинохронику), люди всерьез задумались о безопасности перемещения по воздуху



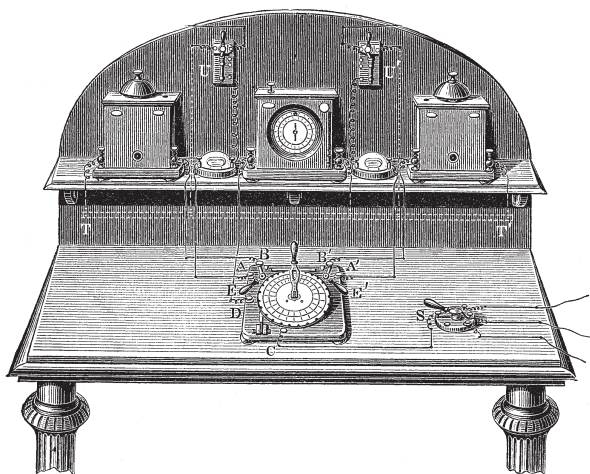
на шаре, наполненном водородом. К счастью, дальнейший прогресс авиации позволил безболезненно прекратить использование дирижаблей. Тем не менее водород и сейчас не теряет своего значения для средств передвижения. Правда, в наши дни водород привлекает инженеров уже не из-за небольшой плотности, а из-за того, что он сгорает с выделением большого количества энергии. В двигателях многих ракет НАСА топливом является сжиженный водород, который сгорает в чистом кислороде.



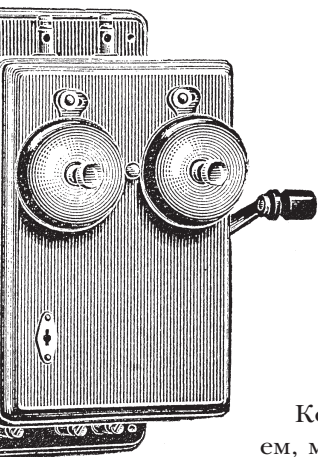
Ещё одна тенденция нашего времени — попытка рассматривать водород как альтернативу другим видам топлива, в первую очередь получаемым с помощью переработки нефти. Конечно, с точки зрения экологии водород выглядит более привлекательным, чем бензин или дизельное топливо, хотя бы потому, что он сгорает только с образованием воды, не давая парниковых газов. Однако с точки зрения инженера или логиста переход на водородное топливо не так прост. Наиболее вероятный способ использовать водород — не сжигать его (это может привести к взрыву), а применять как топливо для электрохимической реакции, в результате которой выделяющийся электрический ток и будет приводить в действие двигатель автомобиля. Несмотря на то, что уже сообщается о создании работающих прототипов водородных автомобилей, есть сомнения в том, что в будущем их производство станет массовым. Во-первых, для обеспечения работы таких машин потребуются сеть «водородных заправок», а со времен аварии «Гинденбурга» водород не стал ни менее взрывчатым, ни менее огнеопасным. Ещё одна проблема в том, что из литра бензина можно получить в три раза больше полезной энергии, чем из литра сжиженного водорода, и, очевидно, понятно, что для сжижения легкого газообразного водорода энергию нужно потратить. Нельзя не упомянуть и то, что в настоящее время у нас нет и достаточно эф-

фективных способов получения водорода — его получают либо из углеводов (попутно при этом образуются парниковые газы), либо электролизом воды, а электричество для процесса тоже может быть получено с помощью «грязных технологий».

Но, даже если в будущем нас не ждёт эра водородных автомобилей, водород может стать топливом для более энергоёмкого процесса — управляемого термоядерного синтеза. Скорее всего, разработки промышленных термоядерных реакторов для получения электроэнергии придётся ждать еще десятилетия, но термоядерные процессы — процессы слияния атомов водорода в гелий, точно такие же, которые протекают в звезде по имени Солнце и в других звездах, с именами и без, — позволят добиться получения наиболее чистой и безотходной электроэнергии. И, какое бы применение мы уже ни нашли водороду и какое применение мы еще найдем для него, он навсегда останется элементом №1, тем элементом, с которого начинается и Периодическая система, и началась Вселенная.



НЕ 2. ГЕЛИЙ



С гелием, по крайней мере с шариками, наполненными гелием, знакомы практически все. Правда, всякий раз, когда я вижу, как на мероприятиях или праздниках пускают в небо шары, надутые гелием, я чувствую себя слегка опечаленным. Это происходит не из-за того, что я не люблю веселиться (веселиться я даже очень люблю), и даже не из-за того, что меня волнует судьба оболочки шара. Когда-нибудь гелий «сдуется», оболочка упадет и пополнит и без того немалое количество полимерного мусора, накапливающегося в окружающей среде (хотя людям, запускающим шарики в небеса, стоило бы задумываться и об этом).

Когда я вижу летящие шарики, надутые гелием, меня, как химика, заботит то, что с ними мы практически навсегда теряем ценный ресурс — гелий. Вероятно, корни чувств, которые я испытываю при этом, лежат в прошлом — в 1992–1995 годах в аспирантуре я с помощью газожидкостной хроматографии изучал кинетику реакций, газомносителем для хроматографа был гелий. Когда баллоны с гелием заканчивались, работа прекращалась на длительный срок до появления средств на новую порцию гелия — с тех пор я привык бережно относиться к этому инертному газу.

Гелий — второй по распространенности элемент во Вселенной, но здесь, на Земле, он редкий гость. Многие предполагают, что гелий получают переработкой воздуха, но на самом деле этот инертный газ добывают из пробуренных в земле скважин. Гелий в следовых количествах входит в состав природного газа, в некоторых месторождениях его больше, в некоторых меньше, но в любом случае гелий добывают из природного газа

с помощью низкотемпературной фракционной перегонки (разделения при низкой температуре). Возникает вопрос — как же гелий мог оказаться под землей и смешаться с природным газом? Ответ в том, что в отличие практически от всех остальных химических элементов Периодической системы, которые мы можем найти в земной коре, гелий на Земле появился много позже образования нашей планеты.

Гелий образуется в ходе естественного радиоактивного распада таких элементов, как уран и торий. Эти тяжёлые элементы образовались до формирования земной коры, их ядра нестабильны и очень медленно распадаются. Оба изотопа урана — уран-235 и уран-238 — подвергаются α -распаду — при самопроизвольном разрушении их ядер выделяется α -частица, которая представляет не что иное, как ядро атома гелия. Сам атом гелия рождается после того, как ядро захватывает электроны.

Распад изотопов урана протекает исключительно медленно, период полураспада (время, за которое распадается половина радиоактивных атомов) для урана-238 составляет 4,4 миллиарда лет, а для урана-235 — 0,7 миллиарда лет. Геологический возраст Земли составляет 4,54 миллиарда лет, и можно сказать, что гелий непрерывно образуется в земной коре с момента образования нашей планеты. Большая часть гелия просачивается через поры земной коры в атмосферу, медленно покидая ее, но, к счастью, часть гелия в подземных резервуарах смешивается с природным газом и может быть выделена из него.

В космосе все совсем иначе. Солнце состоит на 73,5% из водорода, 24,9% из гелия, оставшаяся масса приходится на более тяжёлые элементы. Солнце, как и другие звезды, представляет собой естественный термоядерный реактор, в котором при высоких температурах протоны, представляющие собой ядра водорода, сливаются с образованием гелия. В результате слияния более легких

