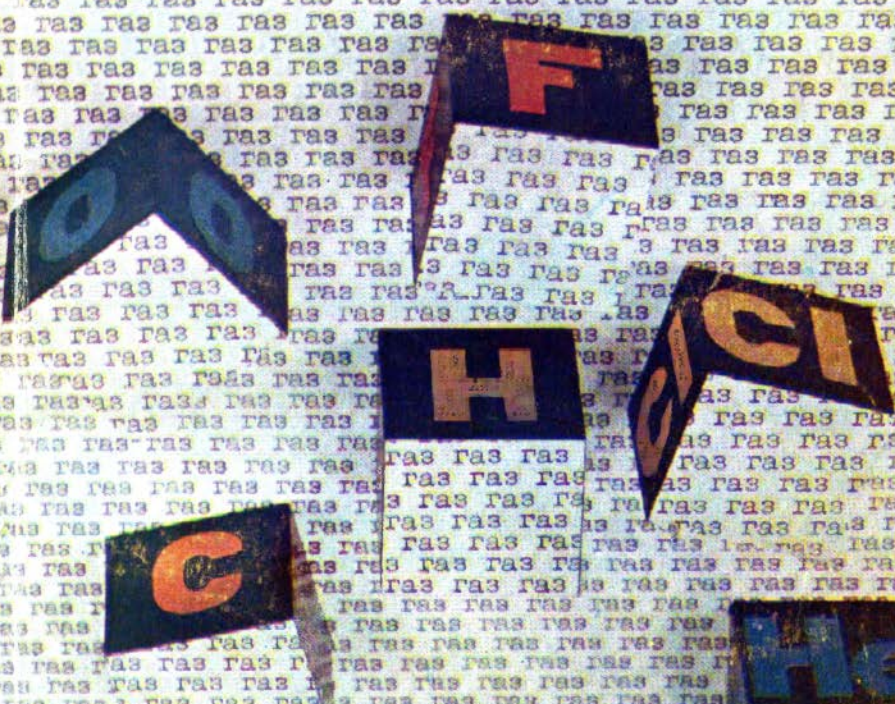




НАУКА
И ПРОГРЕСС

Р. Бахтамов

Фигуры не имеет...



Издательство
«Знание»
Москва
1977



НАУКА И ПРОГРЕСС

Р. Бахтамов

Фигуры не имеет...

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ» Москва 1977

53(09)

Б 30

Бахтамов Р.

Б 30 Фигуры не имеет... М., «Знание», 1977.

160 с. (Наука и прогресс).

В книге рассказывается, как и кем были открыты кислород, водород, азот, фтор, гелий. В числе героев книги — Ван-Гельмонт, основатель пневмохимии, ее творцы Бойль, Ломоносов, Пристли, Лавуазье, Рамзай и многие другие ученые, благодаря которым газы нашли широкое промышленное применение.

Б $\frac{20401-057}{073(02)-77}$ 138—77

53(09)

МИР ПРОСТОЙ И ЗАГАДОЧНЫЙ

С чего начать?

Для автора старинного романа такого вопроса не существовало. Начинать полагалось с самого начала: с рождения героя или, что почти то же, с момента, когда он получалимья.

В нашем случае эти два события роковым образом разделены во времени. Герой родился раньше, чем Адам и Ева; раньше, чем возникла жизнь на Земле; раньше, чем появились Земля, Солнце и Вселенная — по крайней мере в том виде, как мы ее себе представляем.

А имя он получил поздно — в XVII в. «Крестный отец» героя — голландский химик Иоганн Баптист Ван-Гельмонт дал ему имя *gaz* или *gas*, предоставив будущим биографам гадать, откуда оно пошло: от греческого *chaos* (хаос, беспорядок), немецкого *Geist* (дух) или голландского *gisten* (бродить).

Начать с Ван-Гельмонта? Но великий голландец жил, когда совершался переход от алхимии к химии. Поэтому, чтобы хоть как-то понять его идеи и многие другие идеи нового времени, надо вернуться назад, в средние века, и еще дальше — в эпоху, которую называют античностью, или древним миром.

В истории, как во всякой области знания, есть устоявшиеся представления, традиционные формулы, аксиомы, которые надлежит прижимать на веру. Аксиома, вынесенная нами из школы, гласит: античность — «золотое детство» человечества, эпоха расцвета искусства, науки, литературы; напротив, средние века — время застоя и упадка культуры. Искусство, если оно существует, сплошь религиозно. Наука, если она существует, сплошь антинаука: богословие, астрология, алхимия...

Простая и привычная эта схема тоже имеет свою историю. И сам термин «средние века», и противопоставление их «древнему миру» и «новому времени» возникли в XV столетии в кругах ученых-гуманистов Возрождения.

«Хорошо известно — и это составляет одну из самых типичных черт эпохи,— пишет академик Н. И. Конрад и книге «Запад и Восток»,— что возрожденцы в Италии, прославлявшие свою классическую древность, тем самым отрицательно относились к тому времени, которое отделяло их эпоху от древности. Это были для них всего только «средние», т. е. промежуточные, века, а поскольку древность — время лучезарное, а их собственное время — пора возрождения этой лучезарности, постольку средние века — мрак, темнота».

Для своего времени эта идейная позиция была оправдана и, несомненно, сыграла прогрессивную роль в той борьбе с засильем церкви, которую вели гуманисты.

С тех пор много воды утекло, но оценка сохранилась, стала исторической аксиомой. Невольно ловишь себя на том, что хочется выпрямить историю, пропустив эти темные средние века, которые только мешают видеть прямую связь между учеными древности и Робертом Бойлем, атомистами Древней Греции и Джоном Дальтоном, четырьмя началами Эмпедокла — Аристотеля и элементами в понимании Лавуазье и Менделеева.

Сделать это тем легче, что многие предвидения философов и ученых древности действительно гениальны, бесчисленные же опыты средневековых алхимиков кажутся современному читателю топтанием на месте, а их сочинения — схоластикой и тарабарщиной.

Однако историк науки должен руководствоваться не эмоциями и впечатлениями, а фактами. «При определении значения всякой эпохи истории,— замечает Н. И. Конрад,— необходимо каждое время оценивать с точки зрения того, что оно, это время, принесло с собой нового в сравнении с предыдущим и каково это новое: содействовало ли дальнейшему движению или нет».

Чтобы судить об этом, попытаемся — пусть грубо, пусть приблизительно — представить себе облик химии древнего мира.

Истоки

Сам термин «химия» возник, видимо, в Древнем Египте, за несколько тысячелетий до нашей эры. Во всяком случае его обычно связывают с египетскими словами «хам»

или «хеми», что переводится как «Египет», «земля», «черный».

Не вполне ясно, какой смысл вкладывался в это понятие тогда. Должно быть, так обозначались какие-то начатки знания о превращении веществ под действием огня, накопленные ремесленниками при изготовлении медных, бронзовых, железных орудий. В ветхом завете (VIII—II вв. до н. э.) упоминается уже шесть металлов: железо, свинец, олово, медь, серебро, золото. Еще за пятнадцать-шестнадцать столетий до нашей эры была открыта ртуть — «жидкое серебро». Глазурь, стекло, мыло, красители, простые лекарства — производство всех этих продуктов требовало определенных знаний и навыков. Отрывочные сведения о них встречаются у Платона (V—IV вв. до н. э.), Аристотеля (IV в. до н. э.), Теофраста (IV—III вв. до н. э.) и особенно в «Естественной истории» Гая Плиния Старшего (I в. н. э.), состоящей из 37 книг (глав). Последние главы посвящены минералогии, металлургии, химии и содержат немало интересного. Плинию известны не только металлы, но и множество минералов (алмаз, сера, кварц, гипс, известь, асбест, стекло и т. п.), соли и оксиды (киноварь, купорос, квасцы, свинцовые белила, сурик и пр.), органические вещества (нефть, смолы, клей, крахмал, сахар, воск).

Таким образом, о химических веществах древний мир знал не так уж мало. Но сведения эти были сугубо эмпирического свойства. Строго говоря, это еще не наука, а практический опыт — те случайные, разрозненные (нередко — неточные и просто фантастические) данные о том, где искать тот или иной минерал, как применять его и обрабатывать.

Но, пожалуй, основные достижения древнего мира не в практике, в теории. Достаточно сказать, что в античной философии берут начало материализм, диалектика, идея атомного строения вещества.

У Пифагора (а еще раньше — у древних китайцев и индийцев) мы находим ясное понимание идеи противоположностей: свет и тьма, покой и движение, правое и левое, чет и нечет. Из этой мысли выросла идея связи всего со всем, исходного пункта всякой диалектики. Все переходит друг в друга, замечает Гераклит: день в ночь, холод в тепло, зима в лето, голод в сытость.

Второй шаг в постижении окружающего мира — познание его материальности и существования первоэлементов.

В VI в. до н. э. Фалес Милетский утверждал, что первооснова всего сущего — вода. Позднее Анаксимен отвел эту роль воздуху, Ксенофан — земле, Гераклит — огню.

Суммируя взгляды предшественников, Эмпедокл (490 — 430 гг. до н. э.) создал учение о четырех началах — стихиях — мира: Воде, Земле, Воздухе и Огне.

Аристотель видоизменил учение Эмпедокла. Он отказался от буквального представления о том, что материя состоит из воды, воздуха, огня и земли. Для него они прежде всего носители свойств: тепла и холода, сухости и влажности. Эти элементы входят в состав тел, и их сочетание определяет все разнообразие свойств материи. При этом каждая из четырех стихий обладает двумя признаками: вода — холодная и влажная, воздух — теплый и сухой... Кроме четырех начал Аристотель принимал еще и существование всеобщего пятого — некоего «усия» (сущности), который позднее стали называть эфиром, или квинтэссенцией.

Нелепо критиковать эти воззрения с высоты нашего XX в. Не стоит, например, упрекать древних философов в том, что среди их первоэлементов нет ни одного подлинного элемента, т. е. вещества, составленного исключительно из атомов одного вида.

Но вряд ли имеет смысл, как это порой делают, модернизировать идеи древних, вкладывая в них содержание, которого там не было и не могло быть.

Авторы научно-популярных книг о воде любят цитировать «Историю западной философии» Бертрана Рассела. Излагая идеи Фалеса Милетского о первородстве воды, Б. Рассел замечает: «Это утверждение следует рассматривать как научную гипотезу, и притом отнюдь не бессмысленную. Двадцать лет назад общепризнанным было мнение, что все в мире построено из водорода, составляющего две трети воды» Так-то оно так... Вот только ничего похожего на современные представления о роли воды и водорода у Фалеса все-таки не было.

С помощью модернизации иной раз пытаются придать вполне современный вид и всему учению Аристотеля о четырех началах. Великий философ древности будто бы имел в виду агрегатные состояния вещества: земля — синоним твердого, вода — жидкого, воздух — газообразного и, наконец, огонь — вещества в состоянии плазмы.

Конечно, философы древности ничего не знали ни об агрегатном состоянии, ни о природе первоэлементов. Для

них, замечает известный советский ученый Б. М. Кедров, «важно было выбрать за первоначала такие стихии, которые могли казаться действительно предельно простыми и элементарными». И дальше: «Учение Аристотеля об элементах, так же, как и учение его предшественников, было приспособлено не к тому, чтобы выражать химический состав вещества, а к тому, чтобы в наивной форме выражать взаимную связь и взаимную превращаемость всех веществ вообще, совершенно еще не изученных в отдельности». Поскольку эти стихии Аристотель считал основными, изначальными, он допускал, что они могут переходить друг в друга. Следовательно, вполне возможно и превращение веществ — принцип, который впоследствии стал исходным пунктом, теоретической базой алхимии.

Третий шаг в познании связан с представлением об атоме, мельчайшей частице вещества. Атомистическое учение Левкиппа и Демокрита (V — IV вв. до н. э.) было затем развито Эпикуром (341—270 гг. до н. э.). По Эпикуру, все атомы подобны, неделимы, несжимаемы, не имеют начала и конца. В блестящем стихотворном трактате Тита Лукреция Кара «О природе вещей» мысль о материальной природе мира выражена достаточно четко: «Ничто не способно возникнуть из ничего». Лукреций полагает, что атомы различных веществ различны по форме — этим и объясняется разнообразие свойств. К примеру, горькие вещества составлены из атомов, обладающих острыми, колючими углами.

Философское значение этих работ трудно переоценить. Греческие мыслители сыграли огромную роль в постижении общих закономерностей природы, в становлении материалистического мировоззрения.

Однако с точки зрения химии идеи древних слишком общи, абстрактны, далеки не только от современных представлений, но и от первой атомистической теории Д. Дальтона, появившейся в самом начале XIX в. «Атомная теория Демокрита,— пишет Лайнус Полинг,— была чисто умозрительной и слишком общей... Между тем атомная теория Дальтона уже представляла собой гипотезу, объясняющую многие факты достаточно просто и разумно».

Эти черты — абстрактность, удаленность от практики и опыта — вообще характерны для античной науки. Конечно, тут есть исключения. Знаменитые постулаты Архимеда (наиболее известный: «Всякое тело, погруженное в жидкость...»), его работы в области механики и техники,

геометрия Евклида и сегодня поражают глубиной и тщательностью разработки. Но это именно исключения, как правило, античных ученых интересовали проблемы мировые, глобальные. Потребности «низкой» практики волновали их мало. Даже Пифагора, даже Архимеда. «Не должно думать,— замечает Плутарх,— что сам Архимед придавал собственным изобретениям большую цену. Для него они были большей частью как бы игрушки геометрии».

И для доказательства истинности своих идей античные ученые вовсе не нуждались в проверке опытом. Доводы и контрдоводы относились к сфере «чистого» разума: остроумный ответ ценился ничуть не меньше правильного, авторитет значил больше, чем ссылка на опыт — к таким ссылкам вообще прибегали чрезвычайно редко. Потому-то самые наивные и странные идеи нередко жили сотни лет: их никто не проверял, не подвергал сомнению, не пытался развить или опровергнуть. Даже великий скептик Лавуазье не сразу поверил, что вода не первоэлемент, а обычное химическое соединение водорода с кислородом.

Нелюбовь к практике, к опыту имела, конечно, свои причины. Практическими делами, производством занимались рабы. Уже по одному этому порядочный («свободный») человек не мог интересоваться подобными вещами.

Да и особой нужды в науке практика не ощущала. Те ограниченные сведения, которыми люди к тому времени располагали, были достаточны для примитивного производства. А новые не требовались: зачем нужна была паровая турбина Герона Александрийского, если имелись рабы?

Не удивительно, что в античном мире существовало довольно странное соседство. С одной стороны, практика, располагавшая известным запасом конкретных сведений о минералах и веществах, рецептами приготовления простейших сплавов, смесей и соединений, примитивным оборудованием и кое-какими приемами работы. И теория, витавшая в сферах столь высоких, столь абстрактных, что использовать ее рекомендации на практике было чрезвычайно трудно. Естественно, что обе эти линии почти не пересекались...

Не прямолинейное, но целенаправленное

Спор об алхимии и алхимиках идет с переменным успехом уже не одно столетие. Противником алхимии был Леонардо да Винчи, окрестивший ее искусством, основанным на обмане. Современный историк химии Н. А. Фигуровский осторожнее в оценках, но вывод его тоже категоричен: «Вклад алхимии в сокровищницу химических знаний незначителен, по сравнению с гигантским трудом, затраченным многими тысячами иногда талантливых и изобретательных людей на поиски философского камня».

Можно, однако, привести и прямо противоположные мнения. «Алхимики в поисках философского камня,— пишет крупнейший итальянский историк химии М. Джуа,— заложили фундамент для создания химии... Те исследователи, которых мы представляем себе запертыми в лабораториях, полных реторт и перегонных кубов... были бессознательно настоящими тружениками на ниве знания». Еще решительнее знаменитый Юстус Либих: «Алхимия никогда не была чем-либо другим, как химией; смешивая ее постоянно с искусством приготовления золота в XVI и XVII столетиях, мы делаем величайшую несправедливость».

Эта полярность оценок, разумеется, не случайна. Перед нами явление сложное, противоречивое и во многом уникальное.

Увлечение алхимией напоминает сразу и тягу в неведомые страны, охватившую мир времен великих географических открытий, и безумную страсть к поискам кладов, и «золотую лихорадку» в Клондайке.

Но все это — лишь слабые копии того большого и сложного явления, которое называется алхимией. Обычно пишут, что история алхимии насчитывает более 1000 лет. Однако, не рискуя ошибиться, мы можем назвать и 1500, и 2000 лет. Алхимия возникла почти одновременно в Китае, Индии, Египте за несколько веков до нашей эры. Затем перекинулась на Ближний Восток. В III — IV вв. н. э. она достигла Европы. А конец? Что ж, концом алхимии принято считать XVI—XVII вв., хотя некоторые идеи алхимиков жили и в XVIII столетии. Даже позже.

Но дело не только во времени и в пространстве. Среди алхимиков — врачи и ремесленники, бароны и епископы, ученые и короли. Трудно назвать сколь-нибудь выдающе-

гося человека (Леонардо да Винчи — все-таки исключение), который не платил бы дань этому всеобщему увлечению. Арабы Джабир ибн Гайян и ар-Рази (Абу Бакр), Авиценна (Ибн-Сина); испанцы Раймунд Луллий и Арпальдо да Валланова, немцы Альбрехт фон Болыптедт (Альберт Великий) и Василий Валентин, англичанин Роджер Бэкон...

Конечно, тут надо сделать поправку на время: эти выдающиеся ученые жили в IX—XV вв. Но в числе тех, кто испытал влияние алхимических идей, и Теофраст Парацельс (XVI в.), и Иоганн Рудольф Глаубер (XVII в.), и Ван-Гельмонт, и Лейбниц, и сам сэр Исаак Ньютон...

Неужто всех этих столь разных людей объединяло только одно: страсть к наживе, неумемная любовь к золоту? Если верить византийскому лексикографу XI в. Свиде, дело обстоит именно так. В его энциклопедии задача химии (или алхимии) — «искусственное приготовление золота и серебра». Вслед за Свидой это утверждение повторили почти все, кто писал об алхимии.

Между тем это исходное положение не точно. Разумеется, поиски философского камня (он же — великий эликсир, или магистерий), способного превращать обычные металлы в благородные, всегда были основной целью алхимии. Однако, как отмечает М. Джуа, алхимики занимались по крайней мере, еще двумя проблемами первостепенной важности: поисками эликсира долголетия и универсального растворителя. Легко заметить, что первая из этих задач — медицинская, вторая — собственно химическая. Уже здесь таилась возможность выбора. И действительно, на разных этапах истории преимущественное развитие получали разные направления, в том числе и весьма далекие от поисков философского камня.

Дело, однако, не только в этом. Как справедливо отмечает академик Б. М. Кедров, внутри алхимии довольно рано сложились и оформились два различных направления. В первом — «золотоискательском» — зачатки химических знаний были тесно переплетены со средневековой схоластикой и теологией. Второе — «практическое», — формально выступая в форме алхимии, решало, по существу, химические задачи: совершенствовало аппаратуру, разрабатывало химические приемы, изучало природные минералы и вещества, полученные в лаборатории.

Конечно, алхимики нередко топтались на месте, открывая давно открытое, бесконечно повторяя одно и то же. Но вряд ли этому стоит удивляться. Метод, которым они пользовались, современные психологи называют методом «проб и ошибок» и считают единственно возможным в тех случаях, когда в распоряжении исследователя нет теории.

Путеводной звездой алхимиков были слова Аристотеля: «Все металлы могут переходить друг в друга, будучи по составу близки один другому». Имелось еще указание на то, что чем благороднее металл, тем меньше в нем «земли», а в золоте ее нет совсем. Но алхимики, при всей своей вере в Аристотеля, смутно представляли себе, что такое «земля» и как ее удалить из неблагородного металла.

Вообще, вне конкретного исторического подхода нельзя понять ни особенности развития алхимии, ни относительно малую ее продуктивность. Алхимия, как и ее покровительница астрология, считалась тайной наукой, наукой для посвященных. Это объяснялось множеством причин. И традициями древней магии, и стремлением поразить воображение полуграмотных правителей, которые «финансировали» работы, и боязнью конкуренции. Скажем, в книге китайского алхимика II в. Вэй По-яиа «Шу-и цзан-ту-ши» способ приготовления «пилюль бессмертия» изложен так: «Форма печи похожа на луну, лежащую на спине. Белый тигр нагревается на горне. Туда же добавляют голубого дракона, а ртутное солнце представляется растопленной жемчужиной; восток и запад исчезают вместе, и так хунь и пио контролируют друг друга. Красная птица — дух огня, и она справедливо распределяет победу и поражение. И вот поднимается вода, и огонь низвергнут».

Сделав поправку на время, мы не станем удивляться и тому, что алхимики верили в пользу молитв и постов, в то, что алхимик, как утверждал Альберт Великий, «должен быть молчаливым и скромным и никому не сообщать результатов своих операций... Он должен правильно выбирать погоду и часы для работы... Он должен быть терпеливым, прилежным и выносливым до конца...»

Даже самый беглый очерк тысячелетней истории алхимии получился бы слишком длинным. Поэтому ограничимся схемой. Начало алхимического периода в Европе обычно относят к III—IV вв. Но широкое распространение алхимия получила позднее. В VII в. арабы, объеди-

нения последователями Мухаммеда Омаром и Абу Бакром, захватили огромные территории, в том числе такие центры культуры, как Александрия и Джунди-Шарпур (Южная Персия).

Сначала они только разрушали. «Если науки учат тому, что написано в коране,— утверждал один из пророков,— они излишни, если же они учат другому, они безбожны и преступны».

Однако уже к 750 г. отношение к наукам коренным образом меняется: «Мудрость мира — заблудшая овца, потерянная верующими; возврати ее хотя бы из рук неверующих».

В этот период основан не только Багдад, крупнейший по тем временам центр науки и ремесла, но и Испанский халифат — эти ворота, через которые усвоенная арабами греко-восточная культура стала проникать в Европу.

Особенно большое влияние на развитие алхимии (и золотоискательской, и практической) оказали сочинения трех арабских алхимиков: «Книга семидесяти», которую приписывают Джабиру ибн Гайяну, «Книга тайн» и «Книга тайны тайн» ар-Рази, «Канон врачебной науки» и «Книга исцеляющих средств» Авиценны.

Пусть нас не смущает обилие «тайн». Уже в этих достаточно ранних работах отчетливо видно, насколько далеко — по направлению к практике — продвинулась средневековая наука в сравнении с античной. В последних главах «Книги семидесяти» содержится немало новых сведений о металлах и минералах; в работах Авиценны — довольно подробный перечень лекарств. Ар-Рази в «Книге тайн» делит весь излагаемый материал на три части: 1) познание вещества; 2) познание приборов; 3) познание операций. Не правда ли, это напоминает уже вполне современное деление: собственно химия; приборы и аппараты химических производств; химические процессы, т. е. технология?..

В Европе широкий интерес к алхимии возник позднее, на рубеже XI — XII вв. В какой-то мере это связано с ростом городов, развитием торговли и ремесел (особенно металлургии, металлообработки и ткачества). Создаются первые университеты, объединения учителей и учащихся: в 1119 г. — старейший в Европе Болонский университет, в 1200 г. — Парижский. Крестовые походы (XI—XIII вв.) познакомили Европу с наукой и культурой Византии;

ь середине XII в. появились переводы рукописей арабских алхимиков.

С этого времени увлечение алхимией становится всеместным. Как всегда в таких случаях, большинство искателей философского камня были дилетантами, которые верили, что секрет этот описан в древних алхимических книгах, но доступен лишь людям глубоко религиозным. Поэтому они не столько работали, сколько молились, гадали, творили заклинания, призывая на помощь добрых и злых духов.

Но не эти случайные люди определяют лицо алхимии. «Несмотря на незрелость и фантастичность многих их представлений,— пишут Г. Сиборг и Э. Вэлэнс,— лучшие из алхимиков все же были учеными».

В самом деле, в сочинениях того же Альберта Великого (XIII в.) мы находим не только наивные советы, когда вставать и в какую погоду работать, но и описание пороха, компаса, довольно сложных автоматических устройств.

Знаменитым алхимиком был и другой крупнейший ученый средневековья Роджер Бэкон. По подозрению в ереси (а может быть, в том, что скрывает секрет философского камня) он десять лет отсидел в парижской тюрьме и еще четырнадцать — в английской. Его основной труд «Зеркало алхимии» стал настольной книгой многих поколений алхимиков. «Я говорю,— писал он,— что природа всегда имеет своей целью и беспрестанно стремится достичь совершенства, т. е. золота. Но вследствие различных случайностей, мешающих ее работе, происходят разновидности металлов...»

В XV в. в Европе появилось книгопечатание. Казалось бы, распространение знания должно привести к краху алхимии. Но происходит нечто противоположное: книгопечатание способствует утверждению и широчайшей популяризации алхимических идей.

Тут, однако, нужны уточнения. Именно в эти годы получает развитие химическая практика: совершенствуются способы добычи и переработки руд, получения металлов и сплавов, начинает применяться доменный процесс, вырабатываются простейшие приемы пробирного искусства, растет производство красок и стекла, пороха и огнестрельного оружия. Развиваются и другие области науки и техники: уточняется календарь, вводится десятичный счет, возникают алгебра и тригонометрия,

получают распространение бумага и часы, компас и очки, телескоп и водяная мельница...

Утверждают, что к этим достижениям ремесленников алхимия никак не причастна. Вряд ли это правильно. И уж во всяком случае бесспорно, что эти успехи практики оказали самое серьезное воздействие на алхимию, значительно расширив сферу ее действия.

Идет очень интересный процесс. Оставаясь формально в кругу своих привычных целей (главная — поиски философского камня), алхимия постоянно расширяет круг поисков, охватывая области, которые, в сущности, прямого отношения к ней не имеют.

Из среды алхимиков вышли первые ученые-технологи средних веков — Ванноччо Бирингуччо, автор «Пиротехники» (1540 г.), содержащей описание литья и других процессов, связанных с использованием огня, и Георгий Агрикола, создатель капитального труда «Двенадцать книг о металлах», в котором обобщен многовековой опыт металлургии.

Наибольшую роль в повороте алхимии к нуждам практики сыграл знаменитый врач и реформатор медицины Теофраст Парацельс (1493 — 1541).

Вслед за полулегендарным средневековым алхимиком Василием Валентином Парацельс считал основными началами металлов ртуть, серу и соль. Болезни же, по его мнению, объяснялись нарушением в организме соответствия между этими началами. Следовательно, и лечить их можно было только химическим путем, вводя лекарства, которые способствовали бы восстановлению равновесия.

Работы его полны алхимической мистики. Главное лекарство — квинтэссенция, некое чудодейственное средство, которое он извлекал из растений и минералов. При тяжелых заболеваниях особенно полезна золотая тинктура, красный коллоидный раствор золота. Многие средства требуют соблюдения особых (магических) предосторожностей и тайны, связаны с положением небесных светил и т. п. В то же время Парацельс четко определил новую цель химии — приготовление лекарств.

С этого времени ученые-химики выходят преимущественно из среды аптекарей и врачей, а сам этот период получает название натрохимического*. Отсюда вовсе не

* От *iatreia* (греч.) — лечение; этот корень сохранился в таких словах, как «педиатрия», «психиатрия».

следует, что увлечение алхимией кончилось. Видный ученый XVI — XVII столетий Андреас Либавий, много сделавший для развития натрохимии, горячо поддерживает все основные идеи алхимии. И знаменитый Ван-Гельмонт, крестный отец газов и основоположник нового направления — пневмохимии (от греческого *пнеума* — дух, дуновение, ветер), был не только новатором, но и ярким мистиком, верящим в чертей и духов, нимф и серфид.

Но к личности и работам Ван-Гельмонта мы еще вернемся. А пока попробуем понять, какие же новые знания принесла с собой алхимия.

Как будто немного. К тем шести металлам, что знали древние, алхимики прибавили еще мышьяк, сурьму, висмут, цинк, а также фосфор. Число известных химических соединений увеличилось примерно в десять раз (правда, среди них такие важные, как серная, соляная и азотная кислоты, щелочи и т. п.). Появилось простейшее химическое оборудование и примитивные приемы пробирного искусства. К четырем началам Аристотеля были добавлены еще три — ртуть, сера, соль.

И все? Почти все. Итоги как будто скромные. И не только по нашим сегодняшним масштабам, но и по меркам той эпохи. За те же несколько столетий астрономия и физика благодаря работам Коперника и Галилея, Торричелли и Паскаля, Гюйгенса и Гука, Лейбница и Ньютона достигли гораздо большего. Заметим, однако, и другое. Ньютон, столько сделавший в физике, был, как и Лейбниц, ортодоксальным алхимиком. Такова, очевидно, логика познания: механические формы движения раньше и легче поддаются пониманию, чем более сложные — химические.

Если иметь в виду это — немаловажное! — обстоятельство, то успехи алхимии окажутся не такими уж скромными. Тем более что достигнуты они в ранний, самый сложный период развития, когда поиски велись на основе туманных и просто ошибочных представлений и каждый шаг давался с трудом. К алхимии вполне применимо то, что говорит о средневековье академик Н. И. Конрад: «Четырнадцать столетий Средних веков были не неподвижностью, а движением; движением великим, разносторонним; конечно, далеко не прямолинейным, но все же движением, имеющим целенаправленное содержание».

Вопреки логике

Джон Бернал считает, что сделать открытие иной раз проще, чем понять, что оно сделано. История открытия газов — убедительное тому доказательство.

Как ни странно, но и раньше и позже других был открыт один и тот же газ — кислород. Первые сведения о нем мы встречаем уже в VIII в. в трактате китайского алхимика Мао Хоа. Поразительно: китайцы представляли себе, что кислород («йын») — составная часть воздуха, и называли его «деятельным началом». Им было известно и то, что кислород соединяется с древесным углем, горящей серой, некоторыми металлами. Его умели и получать, используя соединения типа селитры.

Все эти довольно полные и достоверные сведения постепенно забылись. Лишь в XV в. о кислороде мимоходом упоминает Леонардо да Винчи.

Вновь его открывает в XVII в. голландец Дреббель. Мы мало знаем о нем, но, судя по тому что знаем, Дреббель — великий изобретатель и крупный ученый. Он создал подводную лодку. Объем лодки ограничен. Брать с собой воздух, состоящий на $\frac{1}{3}$ из азота, невыгодно. Лучше использовать кислород. И Дреббель, не мудрствуя лукаво, получает его из селитры. Это произошло в 1620 г., более чем за сто пятьдесят лет до «официального» открытия кислорода.

По крайней мере еще один газ — хлор — получил в XV в. алхимик Василий Валентин, прокаливая поваренную соль с медным купоросом и квасцами. Сохранилось описание этого газа, достаточно точное: прозрачный желто-зеленый дым с едким, удушливым запахом, от которого слезятся глаза и першит в горле. Валентин собрал его в стеклянный сосуд, дал остыть и добавил воды. Образовалась бесцветная жидкость, на вид вполне безопасная. Это была «хлорная вода» — смесь растворенного хлора с соляной и хлорноватистой кислотами.

Надо полагать, алхимики так или иначе сталкивались и с CO, двуокисью углерода, водородом и другими газами. Просто не могли не сталкиваться: в редком алхимическом описании не упоминается какой-нибудь дым: белый, бурый, зеленый...

Почему же газы открыты так поздно — в XVII в.? Тому есть множество причин: и технических (отсутствие аппаратуры, измерительных приборов, опыта обращения с такой тонкой материей, как газы), и психологических. Прежде всего, психологических. Мысли правоверных алхимиков были целиком поглощены золотом, все остальное их не интересовало. К тому же они свято верили неизвестно кем и когда установленным истинам. Первая истина гласила, что все газы суть воздух, вторая — что уловить, выделить, изучить воздух невозможно, а значит, нет смысла и пытаться...

В том-то и суть, однако, что алхимия — при всех издержках и противоречиях — постепенно освобождалась от мистики, переходя от поисков абстракций (типа философского камня) к изучению реальных процессов и явлений, к решению задач, поставленных практикой.

Мы уже говорили, что основоположник пневмохимии Ван-Гельмонт был отнюдь не свободен от влияния мистики. И тем не менее он занимался исследованием реальных вещей, ставил опыты, давал полученным результатам вполне реалистическое истолкование.

Его знаменитые опыты, начатые в 1620 г., были поставлены по тем временам поразительно умело. Достаточно сказать (факт почти беспримерный), что Ван-Гельмонт работал не с веществом вообще, а с точно отмеренными количествами. Он сжег 62 фунта дубовых углей и получил около 1 фунта золы. Мало того: с помощью несложных опытов Ван-Гельмонт убедился, что «воздух», который при этом образовался, резко отличается от обычного.

И тогда он сделал вывод — для той эпохи очень смелый, даже рискованный. «Следовательно,— записал, он,— остальные 61 фунт превратились в «лесной дух»... Этот дух, до сих пор не известный... я называю новым именем — газ».

Обратил он внимание и на то, что при испарении воды образуется какой-то новый продукт. «По особенностям дела за отсутствием имени я называл это испарение газом, что близко к хаосу древних».

Это последнее наблюдение сделано, впрочем, попутно. А вот «лесным духом» Ван-Гельмонт занимался основательно. Он специально искал этот «дух» и обнаружил, что он образуется не только при сжигании дерева или угля, но и при действии кислот на известняк, при брожении молодого вина и приготовлении пива... Важно, однако,

другое. Ван-Гельмонт открыл не просто новое вещество, а новое состояние вещества.

Перед нами, несомненно, открытие крупное и чрезвычайно интересное, позволяющее подвести некоторые итоги. Оказывается, алхимия — при всей своей слабости и медлительности — все-таки развивалась и чего-то достигла. Необычна уже сама постановка задачи. Раньше алхимики считали, что цель превращения — золото; Парацельс видел их смысл в приготовлении лекарств. Ван-Гельмонта «лесной дух» интересует сам по себе — первый признак того, что у химии есть свои собственные цели, не связанные ни с приготовлением лекарств, ни с получением золота.

Дальше. Опыты Ван-Гельмонта сейчас кажутся элементарными. По они стали возможны потому, что алхимики создали простейшие приборы, накопили опыт работы с химическими веществами, знания, которые позволили отличить «лесной дух» от воздуха. И сам воздух, еще долгие годы сохранявший свое положение первоэлемента, видимо, уже не рассматривается как нечто исключительное — Ван-Гельмонт спокойно сравнивает его с углекислым газом.

Но и успехи алхимии, конечно, не следует преувеличивать. Тот же Ван-Гельмонт, описал получение «лесного духа», спешит оговориться, что его «нельзя собрать ни в какой сосуд и нельзя сделать видимым телом».

Почему? Неизвестно. Вообще на время нам придется привыкнуть к отсутствию логики. Дутье применялось с давних пор, было известно (об этом в XV в. писал, например, Леонардо да Винчи), что воздух необходим для «питания» огня. Понимали алхимики и то, что обжиг металла («кальцинация») имеет нечто общее с горением дерева или угля — процессом, в результате которого остается «земля» — зола.

Но дальше начинаются странности. Горение рассматривалось как разрушение, распад вещества с выделением «воздуха». Значит, и кальцинация есть «распад» металла, следствием чего должно быть образование золы и тех же летучих продуктов.

В 1630 г. химик и врач Жан Рей опубликовал свои «Опыты изыскания причин увеличения веса олова и свинца при прокаливании», где дал достаточно точное и убедительное объяснение фактам. «Увеличение веса,— писал он,— может происходить только посредством прибавления

материи, а уменьшение — только посредством ее отнятия, настолько нераздельно связаны материя и тяжесть».

Объяснение это, однако, никого не заинтересовало, а сам факт увеличения веса металла при прокаливании алхимиков не смутил: они знали об этом и раньше. Знали — и никак на это не реагировали, упорно продолжая утверждать, что при обжиге металл «распадается».

Следующий этап развития пневмохимии связан с работами трех английских ученых — Роберта Гука, Джона Майова и Роберта Бойля.

Гук (1635—1703) известен своими трудами в механике и оптике и той острой, болезненной враждой с Исааком Ньютоном, которая длилась всю жизнь. В обширном наследии ученого есть интересное сочинение — «Микрография», где Гук предвосхитил общую теорию горения. В воздухе, утверждает он, присутствует особое вещество, похожее на то, что в связанном состоянии содержится в селитре. Это вещество способно «растворять» все горючие тела, но только при достаточно высокой температуре.

Заканчивая сочинение, Гук подчеркнул, что это лишь начало — к этому вопросу он намерен вернуться. После выхода сочинения (1665 г.) Гук прожил почти сорок лет и успел многое сделать в самых различных областях знания. Но к этой своей работе он никогда в жизни не возвращался.

Правда, всего через четыре года после выхода «Микрографии», в 1669 г., появился трактат химика и врача из Оксфорда Джона Майова (1640 — 1679) «О селитре и воздушном спирте селитры», который написан так, будто это и есть обещанное Гуком развитие его идей. В воздухе, полагает Майов, содержится вещество («воздушный спирт селитры»), которое способно поддерживать горение и необходимо для дыхания животных. Нет, это не сама селитра, а именно «воздушные огненные частицы». Они вступают в соединение с металлами и увеличивают их массу.

И Майов не просто полагает, он подтверждает свои мысли целой серией тонких и остроумных опытов. Простой, но такой важный для науки прибор, как погруженный в воду стеклянный колокол, позволяет ему изолировать воздух. При горении серы под колоколом вода поднимается — объем воздуха становится меньше: Если в это время под колоколом находится мышь, горение прекращается раньше. Значит, воздух одинаково необходим и

для горения, и для дыхания, и оба эти процесса как бы конкурируют между собой, стремясь «поглотить» воздух.

Но это не все. С поразительной наблюдательностью Майов замечает, что при горении и дыхании расходуется не весь воздух, что часть его, оставшаяся неиспользованной, легче обычного воздуха и не поглощается водой.

Дальше. «Воздушный спирт селитры» поглощается легкими и кровью. При этом выделяется тепло, а окраска крови меняется: темная венозная превращается в ярко-красную артериальную. Вывод? «Я придерживаюсь того взгляда,— пишет Майов,— что и у животных, и у растений селитряной воздушный спирт есть главный источник жизни и дыхания».

Все это написано более чем за сто лет до Лавуазье. Однако в силу традиции, или, по Марксу, «инерции мышления», сам Майов таким простым и ясным опытом дал столь туманное и путаное объяснение, что оно никем не было принято. В том числе и таким новатором химии, как Роберт Бойль.

Роберт Бойль (1627—1691) был, безусловно, человеком замечательным. Убежденный сторонник индуктивного метода в философии, изобретатель многих новых приборов, блестящий экспериментатор, Бойль по праву считается одним из создателей научной химии. И при всем том на него не произвели впечатления ни новаторские идеи Гука, ни блестящие опыты Майова. Может быть, он о них не знал? Увы. С Майовом он был хорошо знаком, а Гук был его первым ассистентом.

Роберт Бойль принадлежал к тому довольно распространенному тогда типу богатых ученых, которые занимались наукой для своего удовольствия. Собственные хорошо оборудованные лаборатории, мастера, ассистенты позволяли ему вести исследования в самых различных областях знания, работать спокойно и обстоятельно. Именно он доказал, что газ, как и всякое вещество, можно уловить, изолировать и исследовать.

В 1662 г. Бойль сформулировал закон — один из первых в истории науки вообще (трактат И. Ньютона «Математические начала натуральной философии» появился лишь в 1687 г.), известный под именем закона Бойля — Мариотта. Еще раньше, в 1661 г., вышла (в первом издании анонимно) его знаменитая Книга «Химик-скептик», содержащая критический анализ взглядов последователей Аристотеля, алхимиков и натрохимиков.

Надо сказать, что к этому времени неразбериха во взглядах достигла предела. Четыре первоэлемента древних (вода, земля, воздух и огонь) каким-то образом уживались с тремя принципами алхимиков: ртутью, серой и солью.

Поставив прямые, точно сформулированные вопросы. Бойль убедительно показал беспомощность и эклектичность существующих представлений. Но что еще важнее, он дал такое определение элемента, которое не потеряло своего значения и сейчас. «Я понимаю под элементами, в том смысле, как некоторые химики ясно говорят о принципах, определенные, первоначальные и простые, вполне несмешанные тела, которые не составлены друг из друга, но представляют собой те составные части, из которых составлены все так называемые смешанные тела и на которые последние в конце концов могут быть разложены».

Казалось, теперь последует следующий шаг: первоэлементам древних и началам (принципам) алхимиков Бойль противопоставит элементы в своем понимании. Но Бойль не решается их назвать. И превосходное определение, не подкрепленное примерами, повисает в воздухе...

Кстати, о воздухе. Бойль повторяет старые, давно известные опыты: прокаливает металлы. И получает, естественно, те же результаты, что многие исследователи до него: вес металлов увеличивается. Вроде бы ясно (тем более, что работы Гука и Майова ему знакомы): металл соединился с воздухом или какой-то его частью. Но нет, этому простому и очевидному выводу Бойль предпочитает традиционное объяснение алхимиков. Он полагает, что в запаянную реторту — сквозь поры в стекле! — проникла тончайшая огненная материя от углей, прилипла к металлу и увеличила вес металлической «известии».

Пройдет более 80 лет, и Михаил Ломоносов, повторив эти опыты, запишет в журнале, что «славного Роберта Бойля мнение ложно, ибо без пропускания внешнего воздуха вес сожженного металла остается в одной мере».

Но ошибки и слабости не могут зачеркнуть главного. «Бойль делает из химии науку», — отмечает Ф. Энгельс. «Бойль должен быть назван основателем современной химии...», — пишет виднейший историк химии Р. Партингтон. Во-первых, Бойлю принадлежит мнение, что химия достойна изучения с точки зрения ее собственных целей, а не как вспомогательное средство медицины или алхимии. Во-вторых, он ввел в химию строгий эксперименталь-

ный метод. И наконец, он дал ясное определение элемента.

Тут, однако, нужна осторожность. Если один из основателей научной химии не отличался последовательностью в проведении новых идей (он, например, разделял многие заблуждения алхимиков), то наивно было бы ждать последовательности от ученых менее оригинальных.

Это с особой наглядностью проявилось в истории с флогистоном. Создателя флогистонной теории немецкого врача и химика Георга Эрнста Шталь (1660 — 1734) некогда именовали реакционером, а его теорию — нелепой и вредной.

С этим трудно согласиться. Шталь был человеком яркого таланта и редкого трудолюбия. Он сумел собрать в единое целое, систематизировать и обобщить огромный материал, накопленный его предшественниками.

Шталь принял, что в состав всех горючих тел входит некая огненная материя — флогистон (от греческого *phlogistos* — горящий, сжигаемый). При горении и прокаливании эта материя улетучивается, оставляя в остатке элементарную, дефлогистированную массу.

Строго говоря, тут нет ничего особенно нового. Горючее начало (под разными названиями: сера, жирная земля) фигурировало в трудах алхимиков и раньше. Заслуга Штalia состояла в том, что он не стал связывать это начало с каким-то определенным веществом, а возвел его в принцип. При горении тел, согласно Шталю, флогистон из них улетучивается, производя «быстрое вихреобразное движение», и, соединяясь с воздухом, образует то, что называют пламенем или огнем.

Из воздуха, в котором флогистон рассеялся, его нельзя выделить химическим путем. Этой способностью обладают только растения, откуда он переходит в животные организмы.

Шталь полагал, что в наиболее чистом виде флогистон содержится в саже. Нет, он не считал флогистон углеродом или любым другим конкретным веществом. И в то же время всегда подчеркивал, что «горючая субстанция, или способное производить огонь начало,— не только нечто действительное, но и нечто телесное». Он утверждал даже, что это простое вещество, и, следовательно, оно никоим образом не может быть разложено на составные части. Итак, флогистон, пользуясь современным языком, нечто вроде антикислорода, кислорода со знаком минус.

Оценивая работы Штала, можно, разумеется, делать упор на то, что теория его ошибочна, что флогистона в природе нет. Однако при конкретно историческом подходе окажется, что флогистонная теория — первая в истории химии теория, которая позволила просто (хотя и ошибочно) объяснить огромную массу фактов, рассматривать разнообразные химические процессы с единой точки зрения. И в этом смысле она имела выдающееся историческое значение. Химия, по словам Ф. Энгельса, «...освободилась от алхимии посредством флогистонной теории».

Работы последователей Штала поражают невероятным сочетанием наивности и здравого смысла, заблуждений, идущих еще от алхимии, и довольно обширных практических знаний.

Теории флогистона с самого начала предстояло выдержать серьезное испытание. Не так-то просто было обнаружить, что при горении вес тел увеличивается, ведь основной продукт горения — газы — почти не пытались улавливать. Однако при кальцинации (т. е. при окислении металлов) это видно совершенно отчетливо. Что же получается? Получается, что после того как флогистон улетучивается, вес тел возрастает. Явный абсурд?

Ничего подобного. Сторонники Штала толькожимают плечами. Просто флогистон очень легкий. Но, простите, и в этом случае... Хорошо, он не имеет веса. Помилуйте, все равно концы с концами не сходятся, арифметика — наука точная. Ну что ж, значит, у него отрицательный вес. Отрицательный? Тогда понятно. Теперь скептики полностью удовлетворены. Конечно, никто из них никогда не видел тел с отрицательным весом, но почему нет?..

И тем не менее все не так просто. Шталь специально предупреждал, что флогистон — материя тонкая, обнаружить ее и выделить химическим путем невозможно. Однако едва ли не все химики XVIII в. усматривают свою главную задачу в том, чтобы изолировать неуловимый флогистон. Эти попытки сами по себе были столь же безнадежны, как поиски философского камня. Но бессмысленными они не были. «...Флогистонная теория,— писал Ф. Энгельс,— своей вековой экспериментальной работой впервые доставила тот материал, с помощью которого Лавуазье смог открыть в полученном Пристли кислороде реальный антипод фантастического флогистона...»

Флогистон был веществом настолько таинственным, что даже Шталь знал о нем очень мало. Однако с самого начала было ясно: искать его надо в воздушных «стихиях», где-то там, где витал «лесной дух» Ван-Гельмонта, названный им странным словом «газ». Так возник у химиков повышенный интерес к исследованию этих особых, почти совсем неизвестных тел.

Едва ли не главное препятствие, с которым они столкнулись сразу,— отсутствие аппаратуры. Конечно, к тому времени газы уже не считались неуловимыми. В XVII в. с газами работали Ван-Гельмонт, Бойль, Мариотт. Оригинальное устройство — пневматическую ванну для собирания газов над водой — предложил английский священник Стивен Гейлс. Однако и М. Ломоносов (в сороковых годах XVIII в.), и Д. Пристли (в восьмидесятых) пользовались бычьим пузырем. Пожалуй, только Лавуазье имел достаточно хорошую лабораторию, где большинство приборов и аппаратов было его собственным изобретением.

Тем не менее и на этом весьма несовершенном оборудовании химикам XVIII в. удалось получить немало впечатляющих результатов. С 1741 г., когда М. Ломоносов начал систематические занятия химией, он исследовал процессы кальцинации металлов, собрал интересные сведения об азоте и его окислах, установил (на сто с лишним лет предвосхитив работы Ван-дер-Ваальса), что при большом сжатии давление воздуха уже не прямо пропорционально его плотности.

Известный английский ученый Джозеф Блэк в 1752 г. повторил и развил опыты Ван-Гельмонта. Действуя кислотами на известняк, он получил углекислый газ («фиксируемый воздух»), довольно подробно исследовал его свойства и доказал, что этот газ принципиально отличается от атмосферного воздуха. В 1772 г. Даниэль Резерфорд выделил из воздуха азот.

Однако наиболее интересный и драматичный конфликт в истории открытия газов связан с именами четырех ученых: англичан Г. Кавендиша и Д. Пристли, шведа К. Шееле, француза А. Лавуазье.

Упоминание национальной принадлежности ученых здесь не случайно. Соображения престижа играли и играют не последнюю роль в той резкой и острой полемике, которая уже около двухсот лет сопровождает эти открытия. Есть, наконец, и еще одно обстоятельство. Действи-

тельно очень сложная, остро конфликтная ситуация, которой сопровождалось открытие, дает возможность рассмотреть общую проблему приоритета, одну из самых интересных и спорных проблем истории науки.

Спор о приоритете

Стремясь разобраться в этой запутанной истории, мы неизбежно приходим к личностям. Потому что каждый из ее участников, бесспорно, был личностью, т. е. человеком нешаблонного характера, взглядов сложных и противоречивых.

Генри Кавендиш (1731 — 1810) родился в богатой аристократической семье. Путь его как будто вполне обычен: привилегированная школа, Кембридж, в 29 лет — член лондонского Королевского общества (английской Академии наук).

Дальше, однако, начинаются неожиданности. Аристократ, владелец огромного состояния, в жизни он был необычайно трудолюбивым, скромным, даже застенчивым человеком. Избегал приемов и шумных зрелищ, не очень охотно встречался с людьми. Большую часть времени проводил в конюшнях отца, где оборудовал неплохую лабораторию. С величайшим удовольствием ставил опыты и достиг в этой области высокого совершенства. Тщательно записывал результаты опытов в журнал. Но печатал их крайне неохотно. Только в 1766 г. приоткрыл завесу над своими работами, опубликовав результаты исследований. Но лишь некоторых, далеко не всех.

Вышедший в 1766 г. труд Кавендиша «Опыты с искусственным воздухом» сразу привлек внимание ученых. Вслед за Ван-Гельмонтом и Блэком Кавендиш исследовал углекислый газ. Он первым обратил внимание на то, что этот «искусственный воздух» примерно в полтора раза тяжелее обычного — раньше таких тонкостей просто не замечали.

Настоящей сенсацией, однако, было описание «горючего воздуха» — водорода. Тут необходимы оговорки. Водород был известен и ранее, упоминания о нем встречаются во многих алхимических сочинениях XVI в., а позднее — у Лемери и Ломоносова. Однако Кавендиш впервые описал водород как вещество с индивидуальными и своеобразными свойствами.

Может быть, открытие и не привлекло бы особого внимания. Но Кавендиш, убежденный сторонник Штала, обнаружив необычайную горючесть и легкость водорода, заявил, что он-то и есть искомый флогистон. Вот это уже была сенсация.

Сравнив новоявленный флогистон с воздухом, Кавендиш пришел к выводу, что водород не просто лишен веса, но обладает тем самым отрицательным весом, на котором едва не споткнулась теория Штала. Мы тоже могли бы так думать, наблюдая, как стремительно набирает высоту наполненный водородом шарик. Правда, для этого надо на время забыть, что воздух имеет вес.

К чести Кавендиша, он скоро убедился в ошибке. Оказалось, что водород при всей его легкости каким-то весом (и вполне положительным) все-таки обладает. Тогда Кавендиш спокойно принял новое допущение: водород — не чистый флогистон, а его соединение с водой, так сказать, гидрат флогистона.

В 1772 г. Кавендиш — в письме Д. Пристли — сообщил о получении мефитического*, или флогистированного, воздуха, позднее названного азотом. Но поскольку по своей манере сообщение об этих опытах он не опубликовал, то честь открытия азота вполне справедливо приписывают Даниэлю Резерфорду, который в том же 1772 г. представил к защите диссертацию «О так называемом фиксируемом и мефитическом воздухе».

В 1774 — 1775 гг. Кавендиш выполнил (и на сей раз опубликовал) новую серию экспериментов. Пытаясь выяснить, что происходит с воздухом при флогистировании, он решил удалить из него дефлогистированную часть (на современном языке — кислород). С этой целью он добавил в воздух водород и полученную смесь взорвал с помощью искры.

Получилось нечто совершенно неожиданное — вода. Большая же часть воздуха (около $\frac{4}{5}$) вообще осталась в трубке и с водородом никак не реагировала.

Эту часть надлежало считать флогистированной, т. е. (опять же на современном языке) освобожденной от кислорода. А вода? Кавендиш решил, что ее появление вполне естественно, значит, при флогистировании (удалении кислорода) из воздуха выделяется... вода.

* Мефитический — испорченный. В старину так называли вредные «испарения» земли.

Кавендиш повторяет опыты — уже при недостатке водорода. И снова блестящее мастерство экспериментатора сочетается с наивной верой в непогрешимость флогистонной теории. Теперь, кроме воды, образуются еще и окислы азота (под действием электрического разряда азот реагирует с кислородом). Растворяя их в воде, Кавендиш получает азотную и азотистую кислоты, предвосхитив изобретенный в начале XX столетия прямой синтез азотной кислоты по способу Биркелаида и Эйде.

Последовательно продолжая опыты, он в конце концов обнаружит, что в воздухе есть нечто, отличающееся и от кислорода, и от азота. Это нечто (всего $\frac{1}{125}$ объема) и окажется тем остатком, ради которого через сто лет Рэлей и Рамзай будут с волнением листать пожелтевшие страницы его лабораторного журнала...

Карл Вильгельм Шееле (1742—1786) — аптекарь, химик-самоучка, с 1775 г. член стокгольмской Академии наук. Он прожил всего 44 года: первые годы жизни нуждался, последние — болел. Оборудование у него было простейшее, в основном самодельное. Времени не хватало. Однажды усвоив теорию флогистона, ни о чем большем он и не помышлял, выделяясь — даже среди сторонников Штала — крайней ортодоксальностью.

Нельзя сказать, что все это никак не отразилось на его работах. Но еще важнее было другое. Шееле принадлежал к химикам «милостью божьей». О них Иоганн Бехер в предисловии к своей «Подземной физике» писал как о странной категории людей, «которые по какому-то, почти бессмысленному побуждению ищут для себя удовольствия в дыму и парах, в копоти и пламени, в ядах и бедности... Но среди этих неприятных вещей я живу так приятно, что скорее согласился бы умереть, чем поменяться местом с персидским шахом».

Шееле был человеком сдержанным и никогда так о себе не говорил. Только однажды он мимоходом заметил, что исследования, которыми он занимался, «заставляли сердце смеяться». И ничто — ни недостаток средств, ни аптека, которая требовала времени, ни болезнь — не могло заставить его лишиться этой радости.

За каких-нибудь двадцать лет он сделал невероятно много. Исследовал сероводород, фосфор и фосфорную кислоту. Открыл хлор и марганец. Синтезировал винную, лимонную, яблочную, галловую, щавелевую кислоты, глицерин и эфиры — уже это позволяет отнести его к числу

создателей органической химии. Справедливо замечено, что Шееле не мог прикоснуться к веществу, чтобы не сделать открытия.

Но, пожалуй, наиболее интересные его работы связаны с кислородом. Доказано, что именно он, за несколько лет до Пристли, открыл кислород. Правда, результаты этих исследований, начатых в 1768 г., он описал только через семь лет в «Химическом трактате о воздухе и огне». Вышла же книга еще позднее — в 1777 г. К тому времени исследования Пристли и Лавуазье были полностью опубликованы.

Как уже было сказано, Шееле слепо верил в Шталь. Свет для него — «не истинный элемент», а смесь «огненного воздуха» (т. е. кислорода) и флогистона. Он одинаково охотно соглашался и с тем, что флогистон не имеет веса, и с тем, что вес этого флюида отрицателен.

Трудная судьба? Наверно. Но вместе с тем и прекрасная. Мало кто из химиков, проживших долгую жизнь и работавших в отлично оборудованных лабораториях, успел столько, сколько сделал за свои сорок четыре года скромный шведский аптекарь Карл Вильгельм Шееле...

«Человек поразительных способностей и необычайных контрастов», — писал о Джозефе Пристли (1733 — 1804) его современник.

Священник, человек глубоко религиозный, он с восторгом встретил французскую буржуазную революцию. Увлекаясь химией, он успел изучить множество языков: немецкий, французский, итальянский — само собой, но также латынь, греческий, арабский, древнееврейский. Увлечение богословием не мешало ему быть материалистом и радикалом — довольно редкое сочетание для выпускника духовной академии.

Не имея химического образования, он сумел стать специалистом-химиком. Он усовершенствовал, например, пневматическую ванну Гейлса, заменив воду ртутью, что дало возможность собирать и анализировать газы, которые считались совсем уже неуловимыми.

С 1767 г. Пристли, как и Кавендиш, изучал действие электрического разряда на газы: обычный воздух, «фиксируемый воздух» (двуокись углерода), «горячий воздух» (водород). Он первым получил газированную воду; подтвердил, что воздух примерно на $\frac{4}{5}$ состоит из азота; исследовал новое вещество — закись азота, которое поддерживает горение, но странным образом не пригодно

для дыхания. Тогда же он сделал очень интересное и важное открытие: в присутствии зеленых растений лесной дух Ван-Гельмонта превращается в обыкновенный воздух.

Однако «звездный час» Джозефа Пристли — 1 августа 1774 г. В этот день, нагревая красную окись ртути с помощью большой зажигательной линзы, он получил удивительный газ. Газ этот напоминал воздух. Но воздух облагороженный, концентрированный. Свеча горела в нем ярче, чем в обычном, тлеющая лучина вспыхивала. Пристли, пользуясь естественной для сторонника Штала терминологией, назвал его дефлогистированным воздухом.

После этого дня он прожил еще тридцать лет, открыл множество неизвестных газов — хлористый водород, аммиак, сернистый газ, окись углерода. Но сердце его было отдано дефлогистированному воздуху. Именно сердце, потому что умом он его не понимал и не принимал. Он долго доказывал, что интенсивное горение свечи и лучины в кислороде — чистая случайность, а саму природу нового газа пытался объяснить с помощью туманных и путаных гипотез. Он и умер, работая над очередной статьей, которая призвана была окончательно опровергнуть новую химию Лавуазье и утвердить «превосходную теорию флогистона»...

Но научная трагедия Пристли была лишь частью всей его жизненной трагедии. Человек, глубоко любящий Англию, он вступил в жесточайший конфликт со своей страной. Англия делала все, чтобы задушить французскую революцию, а Пристли стал членом общества «Друзей революции», принял французское гражданство, демонстративно праздновал день взятия Бастилии.

Кончилось это печально. В июле 1791 г., когда Пристли и его друзья отмечали знаменательное событие, разъяренная толпа разгромила его дом в Бирмингеме, лабораторию, ценнейшую библиотеку. Сам он, с трудом избежав гибели, бежал в Лондон. Но и здесь ему не дали жить спокойно. И пришлось немолодому уже человеку переезжать в Америку и все начинать сначала: обживаться, строить лабораторию, вновь собирать книги.

Много написано о сложных отношениях Пристли и Лавуазье в связи со спорами о приоритете. Однако столь же интересно и другое. Пристли писал Лавуазье не только о газах, но и о том, как он восхищен революцией и как завидует людям, которым выпало счастье жить во Франции. Вряд ли, однако, якобинская диктатура могла радо-

вать Антуана Лорана Лавуазье, сына парижского адвоката, зятя генерального откупщика и директора Индийской компании, человека, который со временем и сам стал крупным финансистом, помещиком, откупщиком*, управляющим всем пороховым и селитряным делом Франции.

Не то чтобы Лавуазье с самого начала был противником революции. Дворянство, которое он получил в 1771 г., не мешало ему трезво оценивать обстановку. Королевская власть изжила себя, реформы были необходимы. Первые шаги революции Лавуазье принял со сдержанным одобрением. Однако очень скоро он почувствовал угрозу: перемены становились слишком радикальными.

Он был достаточно осторожен, чтобы прямо не вмешиваться в ход событий. Когда в 1792 г. король предложил ему пост министра, Лавуазье ответил вежливым отказом, сославшись на недостаток знаний. Но он слишком верил в свою звезду — в свой ум и талант, чтобы пытаться спастись бегством. В марте 1792 г. был уничтожен откуп. В августе 1793 г. закрыта Академия наук. В ноябре Конвент принял решение об аресте откупщиков. В мае 1794 г. откупщики предстали перед судом и были приговорены к смерти.

Разумеется, Антуан Лоран Лавуазье (1743 — 1794) интересует нас прежде всего как химик. Когда в марте 1789 г. вышло в свет его руководство по химии, то в приложении к нему были приведены отзывы об этой книге. В отзыве известных химиков Фуркруа и Каде де Во говорилось: «Одним из тех, кто наиболее содействовал счастливой революции, которая произошла в пневматической химии в наши дни, без сомнения, следует считать г-на Лавуазье».

Между тем господин Лавуазье вовсе не был по образованию химиком. В соответствии с семейной традицией он получил юридическое образование. Однако уже в университете его заинтересовала химия. А тем, что его интересовало, Лавуазье занимался серьезно и основательно. Он изучил не только химию, но физику, математику, геологию, астрономию. Отказавшись от юридической карьеры и выбрав естественные науки, он вовсе не желал быть дилетантом. Уже в юности он четко определил себе цель: стать ученым.

* Генеральный откуп — компания финансистов в дореволюционной Франции, «откупившая» у короля право сбора налогов и монопольную торговлю солью, табаком, вином и т. д.

В 1764 г. парижская Академия наук объявила конкурс «на лучший способ освещения больших городов». Вряд ли эта тема сама по себе могла увлечь молодого Лавуазье. Но он увидел в ней возможность сразу выделиться, привлечь внимание. Решив участвовать в конкурсе, Лавуазье взялся за дело с совсем не юношеской серьезностью. Обнаружив, что его глаза недостаточно хорошо различают яркость света, он на шесть недель заперся в темной комнате.

Лавуазье начал с плана, где четко обозначил круг вопросов, которые подлежат исследованию. Возможные способы освещения. Наиболее рациональная конструкция фонаря. Сравнительная эффективность горючих масел. Последовательно переходя от простого к сложному, он шаг за шагом анализирует варианты. В результате академия получает не просто способ освещения, а бесспорное доказательство того, что предлагаемый способ дает наилучшее возможное решение задачи. Пораженные академики обращаются к королю с просьбой наградить 22-летнего автора проекта золотой медалью.

Но важнее известности, важнее медали найденный Лавуазье метод. Всю оставшуюся жизнь он будет строго придерживаться этой системы: план, где обозначен круг вопросов, на которые надлежит ответить; опыты, которые необходимо поставить; их последовательность и тщательная организация; возможные объяснения результатов.

Не надо думать, что железная эта система приносила Лавуазье одни только лавры. Случалось, что талантливые соперники с помощью интуиции и наскоков предвосхищали его опыты и раньше приходили к открытию.

Лавуазье, однако, строго держался своей системы. И в конечном счете оказывался прав: у других случались удачи, у него был постоянный, твердо гарантированный успех.

Пристли, например, всегда подчеркивал, что открыл кислород случайно — иначе, по его мнению, и не могло быть. Он не знал, что открытие это было «запланировано» Лавуазье: цикл опытов, которые он наметил, неизбежно привел бы его к кислороду.

Впрочем, не будем забегать вперед. Первая серьезная работа Лавуазье — мемуар «О природе воды», представленный в академию 10 мая 1769 г. Мемуар посвящен не природе воды, о которой Лавуазье знает пока не больше, чем его современники, а доказательству того, что вода

не может превращаться в землю. Оказывается, даже во второй половине XVIII в. эту очевидную истину надо было доказывать! Большинство химиков все еще верили в первоэлементы Аристотеля, в то, что одно начало — вода — способно переходить в другое — землю.

В ноябре 1772 г. Лавуазье предлагает академии описание своих опытов по сжиганию фосфора и серы. Сходные опыты ставились и раньше. Однако вывод, к которому пришел исследователь, не совсем обычен. Он утверждает, что при горении воздух связывается, вступает в соединение. Вывод противоречит теории флогистона, но Лавуазье этого как бы не замечает. Пока он не склонен ввязываться в споры — для этого у него нет ни бесспорных фактов, ни достаточного авторитета.

И в 1774 г. он начинает изучать процесс горения. Аналогичные опыты (и даже несколько раньше) ставил Пристли. Но зато основной вывод Лавуазье формулирует четко: воздух (опять первоэлемент) — не простое тело, а смесь газов. Одна его часть необходима для дыхания, горения и т. д., другая — в горении не участвует.

В сущности, с этого момента все его работы направлены против флогистона, хотя атакует он его пока только анонимно. Время от времени журнал «Физическое обозрение» печатает резкие статьи неизвестного автора. Лавуазье крайне осторожен. Он ставит опыты. Опыты точны, хорошо продуманы, тщательно организованы. Имя его постепенно приобретает известность. В 1772 г. Лавуазье избирают в академию, в 1775 г. — назначают управляющим пороховым и селитряным делом Франции.

В 1783 г. Лавуазье издает мемуар: «Размышления о флогистоне, являющиеся продолжением теории горения и кальцинации, опубликованной в 1777 году».

Тут уже нет места иносказаниям и недомолвкам. «Настало время, когда я должен объясниться более четко и формально по поводу мнения, которое я считаю пагубным заблуждением в химии, задержавшим, как я полагаю, значительным образом прогресс, вводя дурную манеру философствования». И дальше: «Моя задача была развить в этом мемуаре теорию горения... показать, что флогистон Штала — воображаемое существо... что все явления горения и обжига объясняются гораздо проще и легче без флогистона, чем с его помощью. Я не жду, что мои взгляды будут сразу приняты; человеческий ум привыкает видеть вещи определенным образом, и те, кто

в течение части своего поприща рассматривали природу с определенной точки зрения, обращаются лишь с трудом к новым представлениям; итак, дело времени подтвердить или опровергнуть выставленные мною мнения».

Противники великого французского химика ставят под сомнение приоритет всех его основных открытий. Увеличение веса металлов? Ж. Рей, Р. Бойль, М. В. Ломоносов. Открытие кислорода? Шееле и Пристли. Опыты с дыханием? Джон Майов. Природа воздуха? Роберт Гук и Кавендиш. Закон сохранения массы? Ломоносов. Состав воды? Кавендиш. Что же сделал Лавуазье? Присвоил чужие открытия, решительно заявляют его противники. Один из самых ярых — Жан Поль Марат вообще окрестил Лавуазье «королем шарлатанов».

Послушаем, однако, что говорит такой вдумчивый и объективный исследователь, как Фридрих Энгельс, назвавший кислород элементом, «которому суждено было ниспровергнуть все флогистонные воззрения и революционизировать химию...» Лавуазье, считает Энгельс, открыл, что «...новая разновидность воздуха была новым химическим элементом, что при горении не таинственный флогистон выделяется из горящего тела, а этот новый элемент *соединяется* с телом, и таким образом, он впервые поставил на ноги всю химию, которая в своей флогистонной форме стояла на голове. И если даже Лавуазье и не дал описания кислорода, как он утверждал впоследствии, одновременно с другими и независимо от них, то все же по существу дела *открыл* кислород он, а не те двое, которые только *описали* его, даже не догадываясь о том, что именно они описывали».

В этих словах Энгельса — ключ к пониманию истины. В конце концов кислород — один из ста с лишним известных нам элементов, и его открытие — само по себе — не привело к революции в химии. Пока его изучением занимались Шееле и Пристли, он был не более чем дефлогистированным воздухом. Элементом, которому суждено было ниспровергнуть флогистон и революционизировать химию, сделал его Лавуазье.

Это относится не только к кислороду. Да, Лавуазье нередко повторял опыты предшественников — Рея, Майова, Кавендиша, Пристли. Но только он — и в этом суть — дал правильное и систематическое истолкование результатам опытов. Увеличение веса металлов при обжигании, получение воды, способность кислорода поддерживать

дыхание и горение, многие другие частные факты и наблюдения он сумел объединить в теорию.

Характерна в этом смысле история с пониманием природы воды. Видимо, П. Макер был первым, кто еще в 1775 г. заметил, что при соединении водорода с дефлогистированным воздухом на фарфоровом блюде появились капли воды. Макер не только описал этот факт, по и в 1778 г. повторил описание в своем «Химическом словаре». Однако в том же словаре было сказано: «Вода представляется субстанцией неизменной и неразрушимой; по крайней мере до сих пор не известно ни одного опыта (включая, значит, и его собственный.— Р. В.), из которого можно было бы заключить, что вода может быть разложена».

В 1777 г. капельки воды видел Пристли и тоже не придавал им значения. Летом 1781 г. Генри Кавендиш как будто убедился, что кислород и водород при сгорании образуют воду, но — непостижимым образом! — на том и остановился, не сделав вывода ни о сложной природе воды, ни о ее составе.

Ближе всех подошел к разгадке Джеймс Уатт. В 1783 г. он решился высказать мысль, что вода — вещество сложное. И что же? «В течение многих лет,— признал он позднее,— я держался мнения, что воздух есть видоизменение воды». Точнее? «Вода представляет собой дефлогистированный воздух, к которому присоединился флогистон».

Лавуазье, в общем, повторил опыты, которые делали и до него. Но уже в том же 1783 г. он ясно сформулировал мысль, что вода имеет сложный состав и образуется при горении водорода и кислорода и доказал это экспериментально. В 1784 — 1785 гг. ему (вместе с военным инженером Менье) удалось осуществить разложение воды в крупных масштабах.

Наконец, последнее. Опыты, которые Лавуазье положил в основу своей теории, были хорошо известны. Но флогистонные воззрения оставались незыблемыми. Более того. Когда Лавуазье выступил против флогистона, его поддерживали только математики и физики — Г. Монж, П. Лаплас, А. Кузен. Ни один химик — французский или иностранный — его не поддержал, верный признак того, насколько открытие Лавуазье было смелым и революционным.

Из французских химиков первым (6 августа 1785 г.) признал принципы новой химии Клод Бертолле, в сле-

дующем году — Антуан Фуркруа, еще через год — Гитон де Морво. Затем на сторону Лавуазье перешел знаменитый английский химик Джозеф Блэк. «Я не успокоюсь,— писал он Лавуазье в июле 1790 г.,— пока обстоятельства не позволят мне лично представить Вам доказательства моего восхищения и включиться в число Ваших учеников».

Немецкие химики, однако, упорно стояли на флогистонных позициях. За многие годы только Мартин Клапрот изменил свои взгляды и признал правоту Лавуазье. Впрочем, так было не только в Германии. В числе защитников флогистона оказались такие крупные ученые, как Кавендиш, Пристли, Уатт...

Лавуазье называют творцом химической революции, одним из создателей новой химии. Он заложил фундамент науки, здание которой — атомно-молекулярная теория, периодическая система элементов, теория химического строения А. М. Бутлерова — было возведено только в XIX в.

Это уточнение достаточно существенно. Никакая теория не гарантирует, разумеется, от ошибок и заблуждений. Они случались и до Менделеева, и после него. Но с появлением периодической системы элементов наука получила ориентир, с помощью которого правильную идею можно было отличить от ошибочной.

Ученые XVIII в. подобным ориентиром не располагали. Поэтому в их работах глубокие и точные представления нередко соседствуют с наивными, идущими от алхимии или из античности.

В этом смысле даже Лавуазье не был исключением. Он, например, однажды и навсегда решил, что только кислород может «рождать» кислоты. Эта уверенность была так сильна, что он положил ее в основу названия (кислород) и упорно отказывался признавать факты, противоречащие его заблуждению. К тому времени было вполне ясно, что, например, столь типичная кислота, как HCl , явно не содержит кислорода. Однако Лавуазье, стремясь это опровергнуть, изобрел целую систему доводов. И авторитет его был столь высок, что много лет это ошибочное мнение признавалось за истину.

Уже в последний период своей деятельности, в 1786 — 1787 гг., Лавуазье (совместно с Бертолле, Фуркруа и Гитоном де Морво) разработал новую химическую номен-

клатуру. Это был, несомненно, крупный шаг вперед в развитии химии. Но среди «простых тел», включенных Лавуазье в номенклатуру, рядом с кислородом, азотом и водородом, помещены и «невесомые флюиды» — свет и теплород.

...Итак, изучение газов привело к революции в химии. Надо ли удивляться, что одним из последствий этой революции был повышенный интерес к газам — и не только к конкретным газам, но и к тому необыкновенному состоянию, при котором вещество ведет себя почти как невесомый флюид.

ВИЗИТНАЯ КАРТОЧКА ГЕРОЯ

«Если бы даже мы умели...»

Наш повседневный опыт ограничен. На Земле, где мы живем, представлены все три агрегатных состояния вещества — твердое, жидкое и газообразное. Причем, как правило, для каждого вещества характерно какое-то одно состояние: мало кому приходилось видеть жидкий песок, твердый гелий или газообразный цинк. Вода, пожалуй, единственное тело, которое мы достаточно часто наблюдаем во всех трех агрегатных состояниях: собственно воды, льда и пара.

Понятно, что наши представления относительно сдвига привычных условий в область высоких и низких температур, больших и малых давлений, мы можем мысленно построить совсем иной мир. Точнее, великое множество различных миров. И таких, где в естественном состоянии металл будет газом, и таких, где нормальным состоянием гелия будет жидкое или твердое.

И это вовсе не произвольное допущение, не чистая игра ума. Уже на соседней с нами Венере вода может существовать, очевидно, только в виде пара. Трудно представить себе вещество, которое осталось бы твердым при температуре Солнца. Вряд ли можно допустить, что на нейтронных звездах (масса недавно открытой Вела-X-1 — при диаметре 15 километров — в 1,7 раза больше массы Солнца) существуют жидкости и газы.

Строго говоря, тот порядок, к которому мы привыкли на Земле, явление в масштабах Вселенной если и не уникальное, то во всяком случае редкое.

И тем не менее для нас порядок этот чрезвычайно важен. Потому, в частности, что земные условия допускают существование всех трех агрегатных состояний, на Земле возникла жизнь. Конечно, фантастика предлагает нам набор «мыслящих существ» разного типа — от газовых до электромагнитных. Но оставаясь в рамках реальности, трудно вообразить себе существо, составленное без участия твердого кальция, жидкой воды и хоть каких-то газов. Во всяком случае «исчезновение» любого из агрегатных состояний привело бы к гибели жизни на Земле.

И в своей повседневной деятельности, прежде всего производственной, мы исходим из того, что в обычных условиях одни тела твердые, другие жидкие, третьи газообразные. Без этого — не абсолютного, конечно, но совершенно необходимого допущения — была бы невозможна никакая практическая деятельность. Вот почему Лавуазье, хорошо представлявший относительность земных условий, стремился наметить границу между газом и жидкостью, между жидкостью и твердым телом, понять то общее в природе столь разных элементов, как кислород и азот, что дает право называть их общим словом — газ.

Любопытное явление. Вещества в твердом и жидком состоянии (землю, металлы, воду) человек узнал и начал сознательно использовать несравненно раньше, чем газы. Но первые химические законы построены почти исключительно на газах. «Основная часть химической теории, — отмечает Л. Полинг, — была разработана преимущественно в связи с экспериментальным изучением свойств газов».

На то есть свои причины. Если определить вес и объем твердых тел и жидкостей в общем просто, то измерение количества газа связано с трудностями. Без знания же количества нельзя ни вести серьезные исследования, ни тем более использовать газы на практике.

Имелась, впрочем, и еще одна причина, о которой химики XVIII — XIX вв. не подозревали. Газообразное состояние, как пишут в современных курсах статистической физики, — простейшее, наиболее доступное изучению состояние вещества. Поэтому уже первые, очень ранние исследования принесли ощутимые результаты.

Внешние различия между твердым телом, жидкостью и газом достаточно наглядны. У твердого тела есть

определенная форма, т. е. внешние границы и объем. Эту форму оно стремится сохранить даже под действием нагрузки и возвращается к ней, когда нагрузка снята.

Жидкость (если иметь в виду обычные, «ньютоновские»* жидкости) лишена упругости. Она тоже имеет определенный объем, но форма ее задается формой сосуда.

В отличие и от твердого тела, и от жидкости газ не имеет ни своей формы, ни определенного объема. Любое количество газа независимо от веса и числа содержащихся в нем атомов принимает форму и объем заключающего его сосуда. Межзвездный газ, например, распределен по Вселенной, но на огромных ее пространствах он присутствует в фантастически малых количествах: от одного до десяти атомов в кубическом сантиметре.

Даже и в обычных («стандартных») земных условиях газ ведет себя иначе, чем жидкость или твердое тело. Это обусловлено тем, что силы межмолекулярного взаимодействия быстро убывают с расстоянием и становятся ничтожно малыми, когда расстояние между молекулами заметно превышает геометрические размеры самих молекул. Поэтому практически можно принять, что в газе молекула движется прямолинейно и равномерно до тех пор, пока не столкнется с другой молекулой или стенкой сосуда.

Молекулы можно считать недеформируемыми частицами, а их столкновения — идеально упругими. Это значит, что в момент удара они будут вести себя как обычные твердые шары. Известно, что в процессе подобных столкновений шары обмениваются кинетической энергией и изменяют направление движения.

В разреженном газе столкновения происходят относительно редко. Большую часть времени каждая из газовых молекул движется свободно, не испытывая никакого воздействия соседей. Конечно, столкновение может произойти в любой момент. Но в среднем лишь после того как она пройдет значительное расстояние, у молекулы появится реальный шанс столкнуться с другой, тоже свободной молекулой. При этом скорость ее — и по величине, и по

* Ньютоновскими, или вязкими, называют такие жидкости (вода, бензин, кислоты, щелочи), которые подчиняются классическим законам гидравлики. Поведение неньютоновских (вязко-пластичных) жидкостей (цементный и глинистый раствор, жидкий бетон, некоторые виды нефти и т. д.) описывается более сложными уравнениями.

направлению — изменится. Таким образом, траекторию каждой газовой молекулы можно представить себе как неправильную ломаную линию.

В принципе движение любой газовой молекулы строго определено законами механики. Так что, интегрируя уравнения движения всех молекул, входящих в состав газа, теоретически можно найти траекторию каждой из них.

На практике подобный расчет чрезвычайно сложен. Уже задача о столкновении трех тел с трудом поддается решению. В газе же количество взаимодействующих частиц выражается числами порядка 10^{20} . За самый короткий — по нашим понятиям — промежуток времени в газе происходят бесчисленные столкновения молекул между собой и со стенками сосуда. Поэтому для нахождения траекторий всех газовых молекул нужно было бы записать и решить фантастически большое количество связанных между собой уравнений. Задача трудная даже электронно-вычислительной машине.

Но решать ее нет необходимости. Хотя каждая из частиц сама является механической системой и подчиняется законам механики, совокупность огромного числа молекул образует совсем другую систему, качественно отличную. В этой большой системе действуют законы особого рода, совершенно не свойственные механическим системам и получившие название статистических.

Иначе говоря, газ (как целое), содержащий огромное число частиц, ведет себя совсем не так, как система из трех или пяти молекул. В этом смысле один из создателей статистической физики Михаил Смолуховский мог с полным основанием сказать, что если бы даже мы умели находить траектории газовых молекул, все равно при описании свойств газа мы пользовались бы законами не классической механики, а теории вероятностей.

Разумеется, глубинный смысл процессов в газах был скрыт от ученых XVII и XVIII вв. Они не понимали, почему газы ведут себя именно так, а не иначе, почему одни газы подчиняются правилам, а другие от них отступают.

Но внешние проявления этих неведомых им явлений исследователи уловили точно. Ничего парадоксального тут нет: паровая машина Уатта появилась раньше, чем Сади Карно сформулировал принципы ее работы. Появлению теории предшествует накопление фактов.

Законы, которым они подчиняются

Итак, первый газовый закон (и один из первых законов в истории науки) установил Роберт Бойль в 1662 г. С помощью простых, но изящных опытов Бойль обнаружил, что для данного количества газа произведение давления на объем есть величина постоянная. Эта зависимость может быть выражена и иначе: объем данной массы газа обратно пропорционален давлению.

Через семнадцать лет французский ученый Эдмонд Мариотт уточнил закон Бойля, дополнив его словами «при постоянной температуре». Уточнение тем более существенное, что повышение или понижение давления может сопровождаться изменением температуры, а это, в свою очередь, влияет на объем.

Интересно, однако, что, правильно оценив значение температуры, Мариотт на этом остановился и не сделал следующего — с нашей точки зрения, вполне очевидно-го — шага. Чтобы сделать этот шаг, понадобилось примерно сто лет и усилия двух крупных французских химиков — Жака Шарля и Жозефа Гей-Люссака.

Найденная ими зависимость (у нас ее называют обычно законом Гей-Люссака) звучит так: при постоянном давлении объем данной массы газа прямо пропорционален температуре.

Шарль этим ограничился. Но Гей-Люссак продолжал исследования и нашел, что при нагревании на один градус шкалы Цельсия объем газа увеличивается на $\frac{1}{273}$ объема, первоначально занимаемого им при нуле градусов по Цельсию.

Отсюда следует, что при плюс 273 градуса объем данного количества газа удвоится, а при температуре минус 273 — станет равным... нулю. Поскольку же это невозможно, Гей-Люссак в 1802 г. пришел к выводу, что должен существовать нижний предел температуры — абсолютный нуль, соответствующий минус 273 градуса по Цельсию.

Открытие абсолютного нуля (за 50 лет до Гей-Люссака гипотезу о его существовании высказал Ломоносов в знаменитой диссертации «Размышления о природе теплоты и холода») имело фундаментальное значение для дальнейшего развития науки, определив поиски на много

лет вперед и целое направление — физику низких температур.

В 1805 г. Гей-Люссак провел серию экспериментов и обнаружил еще одну очень важную зависимость. Оказалось, что при образовании воды один литр кислорода соединяется с двумя литрами водорода, что простые пропорции характерны и для других соединений: для водорода и хлора — при образовании соляной кислоты; водорода и азота — при получении аммиака и т. п. Отсюда вытекает закон «соединительных объемов»: объемы газов, реагирующих между собой или образующихся при химической реакции, находятся в отношениях небольших целых чисел.

Поразительно простая (и потому неожиданная) закономерность требовала столь же простого объяснения. Оно было дано в 1811 г. преподавателем физики лицея под Турином Амедео Авогадро. Авогадро предположил, что в равных объемах всех (достаточно разреженных) газов, находящихся в одинаковых условиях, содержится одинаковое число молекул. Гипотеза была развита в пятидесятых годах XIX в. другим итальянским ученым Станислао Канниццаро и получила название закона Авогадро.

Эти работы как бы замкнули треугольник, позволив свести зависимости, установленные Бойлем, Мариоттом, Гей-Люссаком и Авогадро, в единый закон, одна из формулировок которого звучит так: если давление и число молей (единиц количества вещества) газа остаются постоянными, то объем этого газа пропорционален абсолютной температуре.

Таким образом, объем, занимаемый любым количеством газа, зависит лишь от трех факторов: давления, температуры и числа молекул в данном количестве газа. И зависимость эта выражена очень наглядно. Объем воды почти не меняется при значительном повышении температуры и давления. Объем воздуха при повышении давления всего от 1 до 2 атмосфер* уменьшается вдвое и возрастает на 36,6 процента при повышении температуры от 0 до 100 градусов.

Изучение газов имело первостепенное значение и для развития двух важнейших направлений науки XIX — XX вв. — атомно-молекулярной теории и термодинамики.

* Атмосфера (физическая) — традиционная единица измерения. В науке и технике применяется ныне другая — паскаль, 1 атм = 760 мм рт. ст. = 101 325 Па.

Отцом химической атомистики по праву считают Джона Дальтона (1766 — 1844). В 1805 г. в «Записках Манчестерского литературно-философского общества» Дальтон опубликовал статью, в которой сформулировал четыре основных положения своей теории.

1. Материя состоит из отдельных неделимых и неразрушимых атомов.

2. Химические вещества представляют собой соединения атомов, причем соединение может происходить только по закону простых целых чисел.

3. Одинаковые объемы разных газов содержат различное количество атомов, так как атомы каждого газа обладают своими размерами.

4. Атомы различных газов имеют различный вес.

Некоторые из этих принципов были впоследствии пересмотрены, другие потребовали уточнения. Однако атомистика Дальтона сыграла роль каркаса, вокруг которого выросло здание современной химии. «Новая эпоха начинается в химии с атомистики...», — заметил Ф. Энгельс.

В XIX в. получило развитие и другое фундаментальное представление — о теплоте. Стало ясно, что атомы и молекулы находятся в непрерывном движении и что температура тела служит мерой интенсивности этого движения.

Мысль, что поведение газов можно объяснить через движение газовых молекул, высказывали многие: Ломоносов и Бернулли — в XVIII в., Джоуль и Крониг — в середине XIX в. Позднее эта идея была детально разработана и развита в кинетическую теорию газов Р. Клазиусом, Д. Максвеллом, Л. Больцманом, Д. Гиббсом и другими учеными.

Исследование газов имело и огромное практическое значение. В 1824 г. молодой французский физик Сади Карно опубликовал свои знаменитые «Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу». В «Размышлениях» не только сформулированы общие понятия теплоты и работы, но и детально проанализирован принцип действия тепловых двигателей (прежде всего паровой машины), возможный КПД и пр. С этого момента во все учебники и практические руководства вошел характерный «гнутый параллелограмм» — цикл Карно.

Разумеется, реальные газы, используемые в любых двигателях, заметно отличаются от идеальных, на кото-

рых построен цикл Карно. Но можно смело сказать, что из его схемы выросла современная теория тепловых двигателей.

Столь же важен и вывод, сделанный в 1884 г. Анри Луи Ле Шателье (1850—1936) из наблюдений над газами. Вывод этот, получивший название принципа Ле Шателье, гласит: всякая система, находящаяся в равновесии, при внешнем воздействии, выводящем ее из этого состояния, стремится перейти в состояние, при котором это воздействие ослабляется. Например, при нагревании в системе идут процессы, связанные с поглощением тепла, при охлаждении — с его выделением.

Неспециалисту может показаться, что все это звучит достаточно абстрактно. На самом деле принцип имеет громадное практическое значение, с его применением связаны многие замечательные достижения химии.

Вспомним, например, синтез аммиака. Процесс этот — экзотермический, т. е. идущий с выделением тепла. Пользуясь принципом Ле Шателье, легко предсказать, что максимальный выход продукта удастся получить при возможно более низких температурах. Но при низкой температуре реакция синтеза идет чрезвычайно медленно. Заколдованный круг? Нет, направление поисков. В результате этих поисков были найдены катализаторы, которые позволяют вести реакцию при сравнительно низких температурах.

Напротив, прямое окисление азота — процесс эндотермический, идущий с поглощением тепла. Поэтому вести его надо при высокой температуре. На практике реакцию и ведут при температуре электрической дуги, достигающей 2000 градусов.

И еще одна узловая проблема, связанная с газами. В конце XVIII в. химия вплотную подошла к синтезу качественного и количественного исследования веществ: к пониманию единства состава и свойств — этих двух основных факторов, характеризующих природу вещества.

Но синтез этот не был завершен. Химики не обладали критерием, который позволял бы отличить химическое соединение от механической смеси. Особенно остро это ощущалось в газах. Воздух — смесь газов — внешне так же однороден, как хлористый водород — типичное химическое соединение. Попытки найти ответ на этот вопрос привели к острейшей полемике между двумя крупными

французскими учеными, к спору, который вошел в историю химии.

Еще алхимики знали из опыта, что вещества состоят из определенного количества одних и тех же частей (мы сказали бы элементов), независимо от того, кем, где, когда и как оно получено. Позднее истину эту считал самоочевидной, например, Ломоносов. «Корпускулы разнородны,— писал он,— когда элементы их различны и соединены различным образом или в различном числе: от этого зависит бесконечное разнообразие тел».

Однако доказательство этой вроде бы очевидной аксиомы потребовало большого и напряженного труда.

В 1799 г. Ж. Л. Пруст опубликовал статью «Исследования меди». В ней он изложил результаты большого числа опытов, которые доказывали, что состав солей меди не зависит от того, каким способом они получены.

В том же 1799 г. в Египетском институте Каира выступил с докладом другой видный французский химик — Клод Бертолле. Он утверждал, что состав соединений самым непосредственным образом зависит и от условий реакции, и от количества исходных веществ, вступающих во взаимодействие.

На протяжении следующих четырех лет Бертолле опубликовал «Исследование законов сродства» (1801) и капитальный «Опыт химической статики» (1803), где развил мысли, опровергающие выводы Пруста.

Главное для Бертолле — химическое действие, т. е. ход реакции. Химические же соединения — только вторичное, производное от главного действия; химические соединения могут образовываться в любых соотношениях частей, и постоянные отношения — скорее исключение, чем правило. Все эти удивительные по тем временам мысли опирались на интересные теоретические соображения и были подтверждены экспериментально.

Возникла странная ситуация. Два серьезных и добросовестных исследователя, ссылаясь на опыты, утверждали нечто прямо противоположное. Кто прав? «Говорят, что между двумя противоположными мнениями лежит истина,— замечает Гёте.— Никоим образом! Между ними лежит проблема».

Но оба исследователя были убеждены в собственной правоте и вложили в дискуссию свои недюжинные способности. Бертолле сослался на свинец: в его опытах свинец соединялся с кислородом в любых пропорциях. Пруст

ответил серией точнейших экспериментов, доказав, что свинец образует всего четыре окисла.

Спор длился восемь лет. Каждому утверждению Бертолле Пруст противопоставлял четкие, безупречно поставленные опыты.

К 1810 г. Бертолле остался в полном одиночестве и вынужден был отступить. В учебники и монографии вошла характеристика закона постоянства состава в том виде, как его изложил сам Пруст: «Соединение есть привилегированный продукт, которому природа дала постоянный состав. Природа, даже через посредство людей, никогда не производит соединения иначе, как с весами в руках,— по весу и мере. От одного полюса к другому соединения имеют тождественный состав...»

За этим первым так называемым стехиометрическим законом последовали другие. Еще в 1793 г. И. Б. Рихтер ввел представление о химическом эквиваленте, или «пае». Но утвердился этот закон много позднее — в сороковых годах XIX в. Согласно второму стехиометрическому закону (закон паев) элементы всегда соединяются между собой в определенных весовых количествах.

В 1808 г. из наблюдений над газами Д. Дальтон вывел третий стехиометрический закон — закон простых кратных отношений. Его называют еще правилом наибольшей простоты: если два элемента образуют несколько соединений, то весовые количества одного из элементов, приходящиеся на то же количество других элементов, будут относиться между собой как простые целые числа: 1:1, 1:2, 1:3, 2:3 и т. д.

Стехиометрические законы справедливо называют основными законами химии, они составляют действительно основание этой науки.

Но где же тут проблема, если в ходе дискуссии выяснилось, что один из ее участников был прав, а другой — ошибся? В том-то и дело, что все не так просто. Уже Бертолле удалось обнаружить некоторые факты, которые как-то не укладывались в рамки стехиометрических законов. Тогда этому не придали значения, сочли случайностью. Между тем, как писал А. М. Бутлеров, «факты, не объясняемые существующими теориями, особенно дороги для науки; от их разработки следует по преимуществу ожидать ее развития в ближайшем будущем».

Так оно и случилось. Теперь мы знаем, что есть много веществ, не подчиняющихся стехиометрическим законам.

Более того, в современной химии есть целые области, предмет исследования которых — соединения переменного состава и их химические превращения.

Однако знаменитый спор Пруста и Бертолле интересен не только для истории химии. «Как по форме, так и по содержанию,— писал французский химик Ж. Б. Дюма,— это один из прекраснейших образцов научной дискуссии... в ней выявились как замечательные таланты противников, так и учтивость их друг к другу».

ТАМ, ГДЕ НАЧИНАЕТСЯ ЖИЗНЬ

Далекое и близкое

В книге «Летопись Ветхого завета», изданной в Англии в 1650 г., ее автор — архиепископ Ашер, комментируя библейский рассказ о сотворении мира, сообщает, что Земля была создана богом в 9 часов утра 26 октября 4404 г. до рождества Христова.

Надо честно признать, что определить дату рождения Земли с такой точностью современная наука не в состоянии. Обычно называют 4,5—5,5 миллиарда лет, оговариваясь, что и тут возможны ошибки в сотни миллионов.

Нет абсолютной ясности и во всем остальном: почему это случилось, что послужило исходным строительным материалом, как проходила дальнейшая эволюция Земли?

Первой попыткой ответить на эти вопросы была гипотеза Канта — Лапласа. Кстати сказать, в этом обобщенном названии скрыты две, в сущности, совершенно различные теории. Кант считал, что Земля образовалась из холодной пылевой туманности, в ходе эволюции которой сначала возникло массивное центральное тело — Солнце, а позднее — планеты. По мнению Лапласа, изначальная туманность была газовой, очень горячей и быстро вращалась. Под действием всемирного тяготения туманность постепенно сжималась и скорость ее вращения росла. Центробежная сила последовательно вырывала из туманности кольца. Газовые сгустки в этих кольцах конденсировались, образуя планеты. Таким образом, по Лапласу, планеты возникли раньше Солнца.

При всех этих различиях в обеих гипотезах было нечто общее: и Кант, и Лаплас считали, что Земля и вся Солнечная система возникли в результате закономерного процесса — эволюционного развития туманности.

Уже в конце XIX в. эта простая и стройная картина стала вызывать сомнения. На смену ей пришла гипотеза английского астронома Джинса, который утверждал, что образование планетной системы — дело случая, редчайшее, исключительное явление в ходе эволюции.

По Джинсу, исходным материалом планет стал газовый сгусток, выброшенный из Солнца при прохождении мимо него какой-то звезды. Звезда подошла к Солнцу так близко, что практически можно говорить о столкновении. При этом возникла огромная приливная волна и выброс газа. Из раскаленного солнечного газа и образовались планеты.

Парадоксальна идея современного английского астронома Ф. Хойла. Согласно Хойлу, на первом этапе эволюции возникло металлическое ядро планеты, а мантия и кора «налипли» на ядро позднее. Вряд ли, однако, это правильно. Ученые считают, что первобытная Земля представляла собой довольно однородную смесь самых различных веществ, а разделение ее на оболочки произошло позднее.

Сейчас наиболее убедительной признается теория академика О. Ю. Шмидта, выдвинутая им в 1944 г. Шмидт математически строго обосновал принципиальную возможность возникновения Земли, других планет и их спутников из метеоритного вещества, захваченного Солнцем при его прохождении сквозь так называемую темную туманность*.

Согласно этой теории, Проземля была очень холодным дискообразным облаком, содержащим в пятьсот раз больше вещества, чем сейчас, и радиус ее в 1800 раз превышал нынешний. Вещество Проземли состояло в основном из водорода и гелия, хотя в небольшом процентном отношении присутствовали и другие вещества — неон, метан, аммиак, следы водяного пара. Большая же часть воды — в виде снега — входила в состав твердых частиц,

* Темная туманность состоит из мельчайших твердых частиц; эти частицы поглощают основную часть света, идущего от звезд, находящихся позади туманности, — поэтому она и кажется темной. В некоторых из таких туманностей есть и газ.

которые плавали в газовом облаке. Диаметр этих частиц («пыли») постепенно увеличивался, а сами они собирались в центре диска, где и образовалась твердая Земля.

О. Ю. Шмидт нарисовал довольно четкую картину этой эволюции. Сначала пылевая часть облака сжимается и принимает форму плоского диска, напоминающего кольца Сатурна (стадия А). Когда толщина облака становится достаточно малой, а плотность частиц в нем достаточно большой, частицы объединяются в сгустки, масса которых сравнима с массой астероидов (стадия Б). Затем сгустки слипаются, образуя планеты (стадия В). Таким образом, Шмидт исходит из того, что первоначально Земля была холодным телом.

Как же с привычным представлением об огненно-жидком шаре, при остывании которого образовалась земная кора? Теория Шмидта этому представлению не противоречит. Она лишь утверждает, что огненно-жидкая масса возникла позднее, в ходе дальнейшего развития.

По мере того как масса Земли росла (за счет падения на ее поверхность пыли и метеоритов), происходило постепенное повышение температуры. Но основным источником тепла была, видимо, энергия, выделяющаяся при распаде радиоактивных элементов — урана, тория и калия. Советский радиохимик академик В. Г. Хлопин еще в 1937 г. подсчитал, что для разогревания Земли до огненно-жидкого состояния достаточно радиоактивных элементов, содержащихся в верхнем слое земной коры толщиной всего 90 сантиметров.

Между тем можно считать доказанным, что раньше масса радиоактивных веществ была значительно больше, чем сейчас. Расчеты свидетельствуют, что, например, 2 миллиарда лет назад тепловой поток был вдвое интенсивнее. А 5 миллиардов лет назад при радиоактивном распаде выделялось столько тепла, что вся масса Земли могла перейти не только в жидкое, но и в газообразное состояние.

В истории образования Земли далеко не все ясно. Но одно можно считать бесспорным. Та атмосфера, которую мы видим сейчас, имеет мало общего с первоначальным и возникла относительно недавно.

В этом убеждает простое сравнение. Коль скоро Земля образовалась из газово-пылевого облака, химический состав которого близок к химическому составу звезд, ее атмосфера должна была состоять преимущественно из во-

дорода и его соединений (водяного пара, аммиака, метана), а также инертных газов — прежде всего гелия и неона. Примерно таков состав газовой оболочки Юпитера — планеты, которая в силу огромной массы и низкой температуры смогла сохранить первоначальную атмосферу.

Земная атмосфера, однако, содержит мало водорода, метана и аммиака и почти не содержит инертных газов (исключение — аргон, но он образовался, по-видимому, позднее, в результате радиоактивного распада калия). Значит, газы эти ушли в межпланетное пространство.

Как, когда и почему — на этот счет нет единого мнения. Одни считают, что это произошло очень рано — уже в процессе образования Земли. По мнению других, планета потеряла газовую оболочку много позднее, когда Земля сформировалась и температура ее стала повышаться. Это произошло, видимо, 3,5—4 миллиарда лет назад — в эпоху, которую называют архейской, или древнейшей эрой.

С ростом температуры повышается, как известно, и скорость движения молекул. Расчет показывает, что когда скорость газовых молекул превышает одну четвертую часть второй космической (11,2 километра в секунду), начинается быстрая утечка газов. Раньше всего «бежали» самые легкие молекулы — водорода и гелия, затем — метана, аммиака, неона, аргона, криптона.

Вторичная атмосфера Земли, по мнению академика А. П. Виноградова, образовалась гораздо позднее. Разогрев ее массы сопровождался перемещением фракций: тяжелые вещества опускались вниз, легкие — выходили на поверхность, теряя растворенные в них газы. Земля сама создавала себе атмосферу.

Эта новая (вторичная) атмосфера вначале мало отличалась от первичной. Правда, водорода в ней было немного, преобладали более тяжелые газы: аммиак, метан, пары воды. Но в ту же архейскую эру на Земле появились простейшие водоросли типа синезеленых, которым кислород не нужен. Используя энергию Солнца, они расщепляют углекислоту, выделяя свободный кислород.

Основным источником кислорода были зеленые растения. Они появились, очевидно, уже в начале протерозойской эры (2,5—1,7 миллиарда лет назад). Но широкое распространение получили гораздо позднее, в эпоху

верхнего протерозоя (1,1 миллиарда — 600 миллионов лет назад). В этот период кислород в атмосфере уже присутствует в заметных количествах.

Этот последний период чрезвычайно важен. И не только теоретически — для понимания истории возникновения и эволюции Земли, но и практически — с точки зрения тех близких и дальних последствий, которые несет с собой стремительное развитие современного производства.

Известно, что по поводу оценки этих последствий существуют самые разные, в том числе и диаметрально противоположные мнения. Одни экологи считают, что уже к началу XXI в. чрезмерное потребление кислорода промышленностью приведет к ощутимой его нехватке в атмосфере; другие утверждают, что лес (или океан — тут тоже нет единогласия) легко восстановит равновесие. Одни говорят, что избыток углекислого газа в воздухе вызовет потепление со всеми его последствиями, другие предсказывают похолодание.

Примеров таких расхождений много. Но нам важна суть. Расхождения в оценках свидетельствуют, что наши знания об эволюции Земли все еще слишком приблизительны. Мы знаем далеко не все факторы, которые участвовали (и участвуют) в формировании Земли, ее атмосферы и гидросферы, в сложнейших процессах круговорота веществ в природе.

Подобный разрыв между знаниями и потребностями (уже не только науки, но и практики) имеет, конечно, свои причины. До последнего времени нам не с чем было сравнивать: сведения об эволюции были ограничены Землей. Мы знали, что в силу каких-то (частью известных, частью неизвестных) причин развитие Земли шло таким-то путем. Характерен ли этот путь для других планет Солнечной системы и для других звездных систем, какую роль в процессе играют те или иные факторы — обо всем этом можно было бы только догадываться. И если бы смысл космических полетов сводился лишь к получению информации о других планетах (т. е. о других моделях эволюции), даже в этом случае значение полетов было бы огромно. Ибо от этих сведений зависит не только прогресс науки, но и будущее человечества. Может быть, очень близкое будущее.

Сейчас мы довольно ясно представляем два крайних случая. С одной стороны, Луна и Меркурий, потерявшие

в силу небольших размеров и массы всю атмосферу. С другой — Юпитер, чьи размеры и масса настолько велики, что за миллиарды лет первичная атмосфера планеты почти не изменилась, а состав близок к составу Солнца. В атмосфере Юпитера, как и во всей массе планеты, преобладает водород (60 — 80 процентов по весу), в котором плавают облака аммиака и метана. Вероятно, аналогичная картина и на Сатурне, Уране, Нептуне. О Плутоне известно очень мало, но предполагают, что атмосферы там нет.

Наибольший интерес (в том числе и практический) представляют для нас две планеты — Венера и Марс. И потому, что они наши ближайшие соседи, и потому, что их размеры и масса приблизительно соответствуют параметрам Земли (скажем, диаметр Венеры всею на 5, а масса на 17 процентов меньше земных).

Считается, что развитие планет зависит прежде всего от их массы и расстояния от Солнца. В общем виде это утверждение сомнений не вызывает. Уже в прошлом столетии астрономы представляли себе — приблизительно — несходство этих планет: разреженная атмосфера Марса явно отличалась от плотной атмосферы Венеры.

В тридцатых годах нашего столетия существовала достаточно популярная схема, по которой Земля занимала как бы промежуточное положение в процессе эволюции. Молодая и горячая Венера олицетворяла ее прошлое, старый и остывший Марс — ее будущее.

Сейчас от этой схемы почти ничего не осталось. Марс и Венера оказались не просто несхожими, но совершенно различными планетами, и различия настолько существенны, что, может быть, потребуются коренной пересмотр наших представлений об эволюции планет.

Атмосферное давление на Марсе составляет всего 0,08 земного. Основная часть атмосферы — азот и углекислый газ, кислорода и водорода чрезвычайно мало, в тысячу раз меньше, чем на Земле.

Еще более неожиданные результаты дало исследование Венеры. Разумеется, здесь необходима особая осторожность, ибо исследование планеты продолжается и в принципе тут возможны любые неожиданности.

Однако уже сейчас очевидно, что атмосфера Венеры состоит не из азота, как полагали раньше, а преимущественно из углекислого газа (его содержание достигает 97 процентов, тогда как азот вообще не найден); что

температура планеты не «несколько выше» земной, а достигает 480 градусов; давление не 2 — 3, а 90 атмосфер!

Теперь подобные параметры никого не удивляют. Но можно напомнить, что всего лет двадцать назад, когда температура Венеры была измерена с помощью радиотелескопов, полученные данные (свыше 300 градусов) показались настолько неожиданными, что некоторые ученые им просто не поверили и отнесли за счет искажений в работе радиотелескопа.

В принципе физический механизм эволюции Венеры понятен: это так называемый парниковый эффект. Атмосфера планеты действует как ловушка: пропускает большую часть солнечного излучения, а отраженную поверхностью энергию задерживает.

Это лишь самые общие соображения. Чтобы изучать этот механизм подробно, потребуются тщательные и сложные исследования. Во всяком случае не исключено, что различия между Венерой и Землей объясняются разными условиями образования планет — об этом говорит, в частности, почти полное отсутствие на Венере столь распространенной на Земле воды.

Очевидно, при нынешних темпах исследований уже ближайшие десятилетия ответят на эти вопросы. Но как бы велики ни были наши знания об истории Земли и Солнечной системы, они всегда будут неполны, ибо Солнце и окружающие его планеты — лишь ничтожно малая часть того великого, что обозначается словом Вселенная.

Атомы Вселенной

Об истории образования Вселенной мы знаем пока немного. Предполагают, что она возникла 6,5—8 миллиардов лет назад в силу причин, о которых можно только догадываться. Согласно современным представлениям, материалом для «постройки» звезд служит весьма разреженная межзвездная газово-пылевая среда.

Межзвездный газ был обнаружен в самом начале нашего столетия. Но сейчас свойства его хорошо изучены. В кубическом сантиметре пространства содержится (в зависимости от того, где взят этот сантиметр — поблизости от массивного тела или в отдалении) от 1 до 10 атомов газа. Количество это покажется совершенно ничтожным, если вспомнить, что в том же объеме воздуха при стандартных условиях число молекул достигает

$2,7 \cdot 10^{19}$, а самые совершенные вакуумные камеры не позволяют достичь концентрации менее 1000 атомов в кубическом сантиметре.

Однако это тот случай, когда пренебрегать малыми величинами опасно. Во-первых, потому, что «пустота» весит больше, чем сотня миллиардов Солнц, может быть, больше, чем вся массивная часть Вселенной. А во-вторых, межзвездное пространство заполнено газом, а это — сжимаемая среда, которая подчиняется законам газовой динамики.

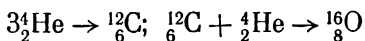
По химическому составу межзвездный газ аналогичен наружным слоям звезд. В нем преобладают атомы водорода и гелия; атомов других элементов немного. Присутствуют и простейшие молекулы — соединения типа CH , CN .

Физические свойства межзвездного газа зависят от того, находится ли он в сравнительной близости от горячих звезд или удален от них на очень большие расстояния. В первом случае его температура превышает 10 000 градусов Кельвина, и он ионизирован, т. е. находится в четвертом состоянии вещества, в состоянии плазмы. Напротив, на периферии температура газа невелика (порядка 100 градусов Кельвина), так что возможно существование молекул.

Но межзвездная среда — это не просто газ, а газ, перемешанный с пылью. Размеры пылинок ничтожны (10^{-4} — 10^{-5} сантиметров), их общая масса — сравнительно с массой газа — невелика. Однако пылинки придают межзвездной среде особые свойства и при благоприятных условиях становятся центрами конденсации — процесса, который приводит к образованию звезд.

Газ и пыль в межзвездном пространстве распределены неравномерно. Наиболее плотные скопления пыли образуют облака, которые воспринимаются как темные или светлые туманности.

Общая масса межзвездного вещества должна убывать, ибо процесс рождения звезд продолжается. Меняется и его состав: водород постепенно «выгорает», превращаясь в гелий. Гелий, в свою очередь, переходит в тяжелые элементы:



Можно считать доказанным, что самые тяжелые элементы способом постепенного наращивания образова-

ться не могут. С ростом ядер теряется их устойчивость, они становятся радиоактивными. Полагают, что самые тяжелые элементы образуются в «тиглях» сверхновых звезд. Происходящая при их взрыве (вспышке) цепная реакция связана с образованием огромного количества нейтронов. Их захват, видимо, и позволяет атомным ядрам «разбухать» с такой быстротой, что обратный процесс — распад не успевает совершиться.

Реакция превращения водорода в гелий, кроме основной своей функции (первый этап процесса, который ведет к образованию всех остальных элементов), выполняет и роль «часов». В доступной наблюдению части Вселенной в гелий превратились примерно 7 процентов всех атомов водорода. Это позволяет как-то очертить хронологические рамки. Возраст Вселенной: миллиарды — десятки миллиардов лет...

Интересно сопоставить данные об элементах на Земле и во Вселенной. Самые распространенные на Земле элементы — железо и кислород (80 — 90 процентов), затем идут алюминий, кальций, натрий, калий и магний. Наиболее распространенный элемент Вселенной — водород (около 77 процентов общей массы и 93 процента всех атомов); за ним следует гелий (22 процента массы). Остальные (свыше ста!) элементы составляют примерно 1 процент общей массы, причем внутри этого процента соотношения, видимо, те же, что на Земле: железо, кислород, кремний...

Вселенная не только бесконечно велика, но и бесконечно разнообразна. Советский астроном А. Боярчук обнаружил, например, восемь звезд, получивших название гелиевых. Для этих звезд характерно совершенно иное распределение элементов. Водород, гелий и железо находятся там в отношении: 100 : 10 000 : 1, причем на одной из звезд водород не обнаружен вовсе. Отсутствует он и в атмосфере некоторых белых карликов*, меньше, чем обычно, его в атмосфере сверхновых и так называемых углеродных звезд**.

* Белые карлики — звезды с массами от одной до 0,2 солнечных, но с очень малыми размерами и огромной плотностью ($4 \cdot 10^4$ — $7 \cdot 10^8$ г/см³).

** Углеродные звезды — звезды класса С, в спектре которых преобладают соединения углерода. Видимо, в этих звездах (большинство из них — гиганты) процесс «выгорания» водорода и образования тяжелых элементов идет с высокой интенсивностью.

Любопытная звезда — Новая Геркулеса. Ее атмосфера бедна водородом и непривычно богата такими элементами, как углерод, кислород и азот. Факт, который пока не поддается объяснению.

Изучение показывает, что легкие элементы обычно встречаются в природе чаще, чем тяжелые. Газы — за небольшим исключением — принадлежат к числу легких веществ. Не удивительно поэтому, что водород и гелий — основные материалы Вселенной, а кислород — важнейший элемент Земли.

ДВАЖДЫ ВТОРОЙ

Истоки спора

1 августа 1774 г. Джозеф Пристли получил чистый кислород и исследовал некоторые его свойства. «Каково же было мое изумление,— записал он в своем дневнике, — когда я обнаружил, что свеча горит в этом воздухе (Пристли всю жизнь называл кислород воздухом.—Р. Б.) необычайно ярким пламенем. Тщетно пытался я найти объяснение этому явлению... Может быть, чистый дефлогистированный воздух станет когда-нибудь модным предметом роскоши... А пока только две мыши да я сам имели возможность вдыхать его».

Скоро наивная восторженность первых дней сменится привычной для исследователя осторожностью. Да, конечно, кислород может быть очень полезен в медицине, «... но он, пожалуй, будет вреден для здоровья человека. Свеча сгорает в нем быстро, а человек, наверное, в нем скоро состарится... Моралист-философ скажет, — добавляет Пристли с сожалением,— что бог нам дал такой воздух, какой мы, люди, заслужили».

Лавауэзе, с его деловитостью и цепкой практической хваткой, не стал морализировать. Он сразу же уловил суть: «Направляя посредством мехов струю воздуха на зажженные уголья, мы вносим три четверти вредного или по меньшей мере бесполезного флюида на одну часть действительно полезного — следовательно, можно было бы значительно усилить действие огня, если бы оказалось возможным поддерживать горение посредством чистого воздуха (т. е. опять-таки кислорода.— Р. Б.)».

И он делает все, чтобы это «оказалось возможным». Уже в 1784 — 1785 гг. Лавуазье провел опыты по разложению воды, а в феврале 1785 г. (вместе с Менье) получил кислород в крупных масштабах.

Но еще раньше, в 1777 г., Лавуазье публикует мемуар «Опыты над дыханием животных и над изменениями, которые претерпевает воздух, проходя через их легкие», где доказывает, что дыхание подобно горению, только медленному. Эти работы впоследствии были высоко оценены К. А. Тимирязевым и И. М. Сеченовым.

Можно только удивляться той поразительной зоркости, с которой оба замечательных химика XVIII в. угадали два основных направления использования чистого кислорода: дыхание и интенсификация горения. Но в XVIII в. люди еще мало знали о кислороде, не умели получать его в промышленных масштабах, да и не очень в нем нуждались.

А что касается всякого рода заблуждений, связанных с кислородом, то иные из них оказались поразительно живучими. Еще и сейчас можно, например, обнаружить в книгах утверждение, что «кислород — самый распространенный элемент на Земле и вообще в природе».

О распространенности газов в природе мы уже говорили. 99 процентов всей массы Вселенной составляют водород и гелий; значит, на долю прочих элементов, включая кислород, остается 1 процент.

С Землей сложнее. В мире, где мы живем, кислород действительно самый распространенный элемент. Земная кора сложена преимущественно из глины, песка и других пород, богатых кислородом. Вода (а вода занимает три четверти земной поверхности) состоит преимущественно из кислорода. В воздухе его 21 процент. Растения, животные, сам человек больше чем наполовину «построены» из кислорода.

Все это так. И однако на основании лишь нашего повседневного опыта нельзя судить даже о земном шаре. Исследования показывают, что на Земле больше всего железа — 67 процентов. Кислород занимает по распространенности второе место. По одним данным на Земле 12 процентов кислорода, по другим — 29.

Следующее типичное заблуждение касается процессов окисления и горения. Оба эти процесса нередко связывают исключительно с кислородом. Между тем горение, т. е. «быстро протекающая химическая реакция, сопро-

вождающаяся выделением тепла и света», может идти и без кислорода. Многие металлы горят в атмосфере хлора. Окись натрия и окись таллия горят в углекислом газе. А фтор окисляет вещества, перед которыми даже кислород бессилен, и горение в нем идет с еще большим выделением тепла и света.

А может ли сам кислород окисляться? И почему вода не горит? Эти вопросы вошли в химические викторины.

Есть стандартные ответы. Кислород окисляться не может, поскольку окисление — процесс соединения веществ с кислородом. А вода не горит, ибо сама является продуктом горения, «золой». В одной книге мне встретился хитроумный опыт: кислород направляют в струю водорода и получается, что он как бы горит. Это, понятно, шутка. Горит водород.

Но кислород — без всяких шуток — окисляется. А вода и лед при высокой температуре горят. Лед горит ярким белым пламенем, если бросить в него зажженный термит — смесь порошкообразного алюминия с окислом железа. Обычно алюминий отнимает кислород у окиси железа. Но, оказавшись в окружении замерзшей воды, он отнимет кислород и у нее, поскольку вода тоже окись, только не железа, а водорода. Получается, что лед горит: кислород воды соединяется с алюминием; водород, оставшись в одиночестве, сгорает в атмосферном воздухе.

Еще нагляднее реакции кислорода и воды с фтором. Кислород чрезвычайно активный окислитель, потому и думают, что никакой другой элемент не способен его окислить. Но фтор еще активнее. В атмосфере фтора кислород окисляется. Образуются соединения типа OF_2 и O_2F_2 . Обратите внимание, кислород стоит здесь на непривычном для него месте — первым. Это значит, что не он окисляет, а его окисляет фтор.

А вода? Она отлично горит во фторе и в веществе, которое называется трифторид хлора. Процесс горения идет очень бурно — с образованием пламени, с большим выделением тепла.

В обычных условиях кислород сравнительно инертен. Но все же рубидий, цезий и барий загораются в нем уже при комнатной температуре. Натрий и калий вспыхивают во влажном кислороде. Даже довольно пассивные металлы (железо, кобальт, никель), если их сильно измельчить, воспламеняются сами собой. Например, желез-

ная пыль, рассеянная в воздухе, вдруг, без всяких видимых причин, накаляется добела.

Можно представить себе и дыхание без кислорода. На Земле есть так называемые анаэробные бактерии — кислород им не нужен, необходимую для жизнедеятельности энергию они получают при расщеплении сложных органических и неорганических веществ. В принципе допустимы и существа, которые дышали бы фтором, хлором или окисью углерода.

Итак, в активности кислород уступает фтору, в распространенности на Земле — железу. Иначе говоря, он занимает два вторых места. Но спортсмен знает, что два вторых места часто важнее одного первого. В данном случае — именно так. Два вторых места сделали кислород важнейшим элементом земной жизни.

Доступные нам запасы фтора сравнительно невелики, и это нас особенно не беспокоит. Если бы на Земле было мало железа, человеку пришлось бы трудно. И все же он, вероятно, вышел бы из положения, заменив железо титаном, сплавами, синтетическими материалами.

Кислород нельзя заменить. В истории кораблекрушений отмечены случаи, когда человек жил без пищи (но с водой) около трех месяцев. Без воды (с сухой пищей) — 6 — 8 дней. Без кислорода смерть наступает через 4 — 0 минут.

Горение веществ в кислороде — главный источник энергии на Земле. Реакции окисления играют решающую роль в промышленности. По выражению Берцелиуса, «кислород сделался осью, вокруг которой вращается вся химия». «Мы не ошибемся, — утверждает академик П. Л. Капица, — если скажем, что 80 процентов всех процессов, имеющих место в технике, основано на применении кислорода».

Повторим еще раз. Не свойства кислорода сами по себе имеют решающее значение. И не только его широкая распространенность. Все дело в сочетании этих качеств. Именно сочетание высокой активности (второе место после фтора) и распространенности (второе место после железа) сделали его незаменимым.

Промышленные способы получения кислорода были созданы во второй половине XIX в. Примерно тогда же стало ясно, что есть случаи, когда выгоднее пользоваться не воздухом, а чистым кислородом. Например, для дыхания.

Бывает, что человек попадает в обстановку, где кислорода нет (под водой), или мало (на большой высоте), или воздух не пригоден для дыхания (в шахте во время пожара). Приходится создавать искусственную атмосферу на месте. Точнее — брать ее с собой.

И тут совсем не безразлично, что брать: кислород или воздух. Воздух на 4/5 состоит из бесполезного для дыхания азота. Какой же смысл тащить с собой балласт? Брать с собой кислород? Но ведь в чистом кислороде свеча сгорает скорее...

Вопрос этот волновал многих. И не случайно Жюль Верн, который всегда изумительно чувствовал веяния времени, в эти годы написал рассказ «Доктор Окс». Фамилия таинственного доктора, как нетрудно догадаться, произведена от латинского названия кислорода — оксигенум («рождающий кислоту»).

Над небольшим городом Кикандоном доктор создал атмосферу чистого кислорода. Последовали необычайные явления. Растения и животные стали расти с удивительной быстротой. Появились собаки-гиганты, дыни величиной с тыкву, грибы, смахивающие на зонтик. Сильнейшее возбуждение овладело жителями, город будто сошел с ума. Если бы не внезапный взрыв и загадочное исчезновение доктора Окса, эксперимент кончился бы печально.

В семидесятых годах прошлого века этой проблемой заинтересовался знаменитый французский физиолог Поль Бер. Он провел множество опытов на себе и на животных и пришел к выводу, что чистый кислород в самом деле опасен. Он действует как быстрый и сильный яд, от которого гибнет все живое: и животные, и растения, и инфузории.

Такое действие наблюдается лишь тогда, когда кислород находится под давлением 3 — 4 атмосферы. В воздухе примерно пятая часть кислорода. Значит, его собственное (парциальное, как сказал бы физик), давление составляет одну пятую часть атмосферы. Чистый кислород при нормальных условиях впятеро «богаче» кислородом. Или, проще говоря, находится под давлением в 1 атмосферу и практически абсолютно безвреден.

Труд Бера «Барометрическое давление», вышедший в 1878 г., стал классическим. Да и выводы его с тех пор многократно проверялись и у специалистов не вызывают

сомнений. Но к дыханию чистым кислородом до сих пор относятся с опаской. Даже в книгах можно встретить намеки на сгорание легких, хотя легкие имеют мало общего со свечой.

Впрочем, это уже инерция. По сути, вопрос решен. В своих опасениях Пристли ошибся: кислород при нормальных условиях столь же безвреден для дыхания, как обычный воздух. И все же опыт свидетельствует, что, сомневаясь в полной безопасности кислорода, призывая к осторожности, Пристли был прав. Истории (и старой, и новой) известны случаи, когда исследователи забывали, что кислород — не воздух. Всякий раз это кончалось печально.

Польза сомнения

Утром 15 апреля 1875 г. аэростат «Зенит» оторвался от земли и начал стремительный подъем. День был ясный, солнечный. Ветер почти не ощущался. Все предвещало спокойный полет и благополучное возвращение.

Аэронавты не сомневались в успехе. Командир «Зенита» француз Тиссандье десятки раз поднимался на аэростатах различных конструкций. Немалый опыт имели и члены экипажа — итальянцы Кроссе-Спинелли и Сивель.

«Зенит» был снабжен всем необходимым. Продовольствие и вода на несколько дней, теплая одежда, резиновая лодка. Аэронавты захватили с собой и запас кислорода в подушках. Большая подъемная сила и солидный балласт позволяли надеяться, что «Зенит» сможет подняться на небывалую высоту.

Запас кислорода был невелик. Но аэронавтов это не беспокоило. Они решили экономить кислород, пользуясь им, только когда почувствуют удушье. К тому же при малейшей опасности они откроют клапан, стравят избыток водорода и начнут немедленный спуск.

О том, что произошло затем, почти ничего не известно. На высоте около 7 километров Тиссандье посоветовался со спутниками: стоит ли сбросить балласт, чтобы продолжать подъем. Сивель и Кроссе-Спинелли согласились. Тиссандье сбросил несколько мешков с песком, и аэростат прыгнул вверх. Самочувствие у всех было отличное, настроение чудесное. «Мне никогда не было

так хорошо, — рассказывал потом Тиссандье. — Я ощущал, что погружаюсь в сон: легкий, приятный, без сновидений». В последний момент он что-то почувствовал и успел открыть клапан...

Очнулся Тиссандье через час. В голове шумело. Внутри было пусто, словно из него самого выпустили воздух. Он попробовал двигаться. Тело стало ватным, он с трудом поднял руку. Аэростат плыл на высоте 6 тысяч метров.

Ценой больших усилий Тиссандье добрался до своих спутников. Они были без сознания. Попытался привести их в чувство. Не смог. Безжизненно белые лица и странная улыбка. Тиссандье был смелым человеком, но эта застывшая радость привела его в ужас. С трудом он заставил себя дотянуться до каната, рванул клапан. Аэростат скользнул вниз.

Ни надувная лодка, ни запас провианта не понадобились. Аэростат опустился в густонаселенном районе. К месту приземления немедленно прибыли врачи. Энергичные меры дали возможность спасти Тиссандье. Кроссе-Спинелли и Сивель погибли, не приходя в сознание. При осмотре в кабине «Зенита» были найдены подушки, наполненные кислородом. Аэронавты ими не воспользовались.

Эта трагическая история взволновала современников. Как объяснить гибель аэронавтов? Почему они — люди храбрые и опытные — не использовали кислород? Что это за странное чувство радости, о котором рассказывал Тиссандье?

Теперь, когда высотные полеты стали обычными, нам понятна история «Зенита». Аэронавты были уверены, что почувствуют недостаток кислорода и успеют включить подушки. В этом была их главная ошибка.

Исследования последних лет показали, что уже на высоте 1,5 — 2 километра нетренированный человек хуже видит и медленнее соображает. Предметы кажутся ему плоскими — нарушается так называемое глубинное зрение.

На высоте 4 километра человек чувствует слабость, головокружение. Даже несложная работа утомляет. С ростом высоты неприятные ощущения исчезают, кажется, все идет нормально. Однако это благополучие обманчиво. Резкое движение, случайное усилие — и человек теряет сознание.

Высота 6 — 7 километров — граница. Сознание висит на ниточке. В любое мгновение ниточка может порваться без всяких видимых причин. У человека нет сил ни работать, ни думать.

О высоте 8 километров в специальной литературе сказано коротко: «Грозит смерть».

Тиссандье и его товарищи, как удалось установить, достигли высоты 8600 метров. Остальное понятно. Только крепкий организм и привычка к высотным полетам спасли жизнь командиру «Зенита».

Исследования дали ответ и на другой вопрос. Нарушения нормальной деятельности организма, вызванные высотой, сам человек обычно не ощущает. Больше того. Чем слабее становится сознание, тем легче, спокойнее и увереннее он себя чувствует. Если ему сказать, что он плохо соображает, хуже видит, он не поверит. Кислородный голод вроде опьянения.

Причины кислородного голодания известны. С ростом высоты давление воздуха падает. На высоте двух километров — 596 миллиметров ртутного столба; шести километров — 354; восьми километров — 267 миллиметров. Соответственно уменьшается и парциальное давление кислорода. Если в нормальных условиях оно составляет 160 миллиметров, то при подъеме, скажем, на шесть километров, снижается до 74 миллиметров ртутного столба.

Испытания показали, что на высоте 14 километров не помогает даже дыхание чистым кислородом. Атмосферное давление на этой высоте — 106 миллиметров. Такое же давление будет иметь и чистый кислород. А это гораздо меньше, чем нужно, ибо в обычных условиях парциальное давление кислорода в воздухе 160 миллиметров.

И однако же человек с каждым годом поднимается все выше. При подъемах на высоту 4 — 12 километров используются приборы, в которых человек дышит чистым кислородом. Выше — стратосферный скафандр, похожий на водолазный. Это — герметически закрытый полетный костюм, внутри которого поддерживается нормальное атмосферное давление.

Для полетов на высоте свыше 18 километров необходима герметическая кабина. Именно такими кабинами оборудованы космические корабли. Но на практике космонавтов снабжают и высотными скафандрами. Скафандры позволяют выходить в открытый космос и служат

надежной защитой от внезапной разгерметизации кабины (например, при столкновении с метеоритом).

Интересно, что Советский Союз и Соединенные Штаты — две страны, осуществляющие космические полеты, при создании искусственной атмосферы пошли разными путями. Атмосферные условия в кораблях типа «Союз» практически не отличаются от земных. Американские космонавты дышат почти чистым кислородом (иногда с примесью гелия), давление которого в несколько раз ниже обычного.

С точки зрения дыхания большой разницы тут нет. Однако чистый кислород — не воздух, об этом надо помнить постоянно. Пожар американского космического корабля и трагическая гибель на земле его экипажа — грозное о том напоминание.

Нет, кислород — не воздух. Это со всей наглядностью выявилось в ходе подготовки к совместному орбитальному полету кораблей «Союз» — «Аполлон». Правила безопасности на «Аполлоне» запрещают вносить в его кабину, заполненную чистым кислородом, любые горючие материалы. В категорию горючих попали и шерстяные трикотажные костюмы наших космонавтов, теле- и кинокамеры, покрытые обычным лаком.

Все эти материалы прошли надежную проверку при полетах на советских кораблях. Но в атмосфере чистого кислорода нужна во много раз большая огнестойкость. Препятствие удалось преодолеть только тогда, когда было создано новое полимерное волокно лоло — настолько огнестойкое, что оно не горело в струе чистого кислорода.

Иные проблемы связаны с использованием кислорода под водой. Профессия водолаза известна с глубокой древности. В 333 г. до н. э. при осаде финикийского города Тир войсками Александра Македонского водолазы разрушили подводные сооружения гавани. Об их участии в осаде Сиракуз (212 — 211 гг. до н. э.) упоминает римский историк Тацит. О водолазах писали Гомер и Аристотель.

Техника водолазного дела была проста. Нырлящик зажимал ногами камень и, сделав глубокий вдох, прыгал вниз головой. Обычно он достигал глубины 25 — 30 метров и оставался под водой не более полутора минут.

Но известны случаи, когда водолаз опускался на значительную глубину и находился под водой 3 — 4 минуты.

Особым искусством отличались ловцы жемчуга в южных морях.

Уже в прошлом веке европейцы обратили внимание на длительность пребывания местных жителей под водой. Конечно, проще всего было объяснить это привычкой. Однако среди наблюдателей были люди серьезные. Они заметили, что опытный ныряльщик, прежде чем погрузиться, выполняет странные движения, похожие на зарядку. Поднимает руки, разводит их в стороны, опускает, делая при этом глубокие вдохи и выдохи.

В конце концов ученые раскрыли секрет ныряльщиков. Глубокое дыхание назвали гипервентиляцией, а состояние, при котором нет желания дышать, задержку дыхания — апноэ. Стала понятной и причина этого явления. Воздух в легких (альвеолярный воздух) содержит всего 13—15 процентов кислорода, т. е. значительно меньше, чем атмосферный. Гипервентиляция — усиленная вентиляция легких — устраняет это неравенство: альвеолярный воздух обогащается кислородом. Кроме того, она «вымывает» из альвеол часть углекислого газа, который в обычных условиях раздражает дыхательный центр, вызывая произвольный вдох.

Л если вместо воздуха использовать для вентиляции кислород? Ясно, что содержание его в легких резко увеличится, и, следовательно, человек сможет находиться под водой гораздо дольше. В одном из опытов длительность апноэ достигла 15 минут. Четверть часа без дыхания!

Результат, конечно, эффектный, но, в общем-то, закономерный. И злоупотреблять апноэ не следует. Штангисты хорошо знают, что даже обычная гипервентиляция в сочетании с большой нагрузкой может привести к потере сознания. Однако в чрезвычайных обстоятельствах...

Скажем, в английском флоте для спасания экипажа подводных лодок вместо дыхательных аппаратов применяют оксивентиляцито. Правда, англичане пользуются не чистым кислородом, а смесью из 60 процентов кислорода и 40 процентов азота.

В лодке установлены баллоны с этой смесью. От них протянуты трубопроводы со штуцерами, к которым можно подключить шланг маски. Еще до открытия спасательного люка экипаж переходит на дыхание от этой системы (она называется БИБС). Когда люк открывают, человек делает несколько глубоких вдохов — выдохов и

ныряет. Запаса кислорода в легких хватает на подъем с глубины 60 — 65 метров.

Почему же не заменяют воздух кислородом в водолазных приборах? Идея чрезвычайно заманчива, тем более, что входящий в состав воздуха азот на глубине совсем не безопасен. Как известно, с увеличением давления газа растет и его растворимость в жидкости. В частности, при дыхании сжатым воздухом кровь растворяет много избыточного азота. При быстром подъеме с глубины на поверхность давление резко снижается, и избыточный азот начинает быстро выделяться. Кровь кипит, как лимонад в бутылке с открытой пробкой.

Только кипение это опасно. Пузырьки азота нарушают кровообращение, закупоривают сосуды и могут привести к их разрыву. Азотная (кессонная) болезнь сопровождается головокружением, болью в суставах. В тяжелых случаях может наступить смерть...

Замена воздуха кислородом устраняет опасность кессонной болезни. Но, к сожалению, на смену одной опасности приходит другая. Уже на глубине 30 метров, где абсолютное давление газа достигает четырех атмосфер, чистый кислород ядовит.

Кажется, задача неразрешима. Но выход все-таки нашли: в водолазных приборах используют не кислород и не воздух, а смесь кислорода с гелием. Гелий растворяется в крови хуже, чем азот, и выделяется легче. Применение кислородно-гелиевой смеси позволяет опускаться в мягких скафандрах на 150 — 180 метров.

Когда предсказания сбываются

Лауазье был абсолютно прав: действие огня можно значительно усилить, если поддерживать горение посредством чистого кислорода. Однако прошло целое столетие, прежде чем идея приобрела практические очертания. И произошло это при довольно странных обстоятельствах.

В 1890 г. полиция Ганновера была поставлена на ноги. Злоумышленник вскрыл банковский сейф и похитил крупную сумму денег. Эксперты, прибывшие на место происшествия, с недоумением рассматривали окно в стенке сейфа. Оно было таким ровным, словно резали не сантиметровую листовую сталь, а стекло или фанеру.

Когда преступника задержали, его прежде всего спросили, чем он пользовался. Ни одним инструментом, кото-

рый эксперты знали, нельзя было сделать такой разрез. Вор указал на два небольших баллона. По ходу дела он изобрел газовую резку.

Разумеется, о том, что при нагревании металл плавится и сгорает, было известно и раньше. Однако только при сжигании горючих газов в кислороде удалось получить температуру, нужную для сварки и резки*.

При сварке и резке чаще всего пользуются ацетиленово-кислородной смесью, которая позволяет получить температуру 2500 — 3000 градусов. Но если необходимо особенно «горячее» пламя, ацетилен заменяют водородом. Сгорание водорода в кислороде — одна из самых экзотермических реакций промышленной химии.

Но внедрение кислорода в другие отрасли промышленности задержалось на десятки лет. Это объясняется множеством причин и прежде всего боязнью, тем странным предубеждением, с которым люди, всю жизнь имевшие дело с кислородом воздуха, относились к чистому кислороду.

С преодолением этого психологического барьера связана история первой в мире кислородной домны. История малоизвестная и потому особенно интересная и поучительная.

Началась она в 1931 г., когда было принято решение о создании в СССР крупнейшего по тем временам научно-исследовательского центра — Института азота. Почему азота? С азотом связан целый комплекс производств, от которых зависит жизнь страны. Аммиак, азотная кислота и дальше — минеральные удобрения, красители, взрывчатые вещества. Иначе говоря, сельское хозяйство, промышленность и оборона.

Задача, за решение которой взялся новый институт, вначале имела прямое отношение к азоту. Директор института П. А. Чекин и заведующий лабораторией А. И. Семенов высказали мысль, что азотно-водородную смесь, необходимую для производства аммиака (NH_3), можно попутно получить в доменном процессе, если вести плавку на воздухе, обогащенном кислородом.

С точки зрения химиков тут все было ясно. Но имела еще одна точка зрения — металлургов. А метал-

* Например, первая газовая горелка, изобретенная Буизеном в 1855 г., работает на смеси светильного газа с воздухом и дает температуру до 1000 градусов.

лурги вовсе не пришли в восторг, узнав, что доменную печь хотят превратить в установку для получения какой-то смеси. Главное же, им было вовсе не ясно, как поведет себя печь в новых условиях. Большинство доменщиков не сомневались, что дело кончится взрывом.

Чтобы спорить с металлургами, нужно было досконально знать доменное производство. Простая, сугубо химическая задача превратилась в металлургическую, возникло множество вопросов, о которых химики и не подозревали.

Однако профессор Чекин был не из тех, кто отступает. Во время первой мировой войны он учился в Казанском университете. Средств не было, и чтобы заработать на учебу и жизнь, он в бетонных камерах разряжал неразорвавшиеся немецкие снаряды: 25 рублей за штуку.

На фронте Чекин вступил в Коммунистическую партию. Агитировал и сражался за революцию. Потом служил в советских торгпредствах за границей. Учился.

Он одинаково хорошо разбирался и в химии, и в людях. Он никого не убеждал в значении работы, не доказывал ее ценность и актуальность. Он просто отдавал ей все свое время.

Прежде всего было решено собрать информацию о работах предшественников. Она оказалась скудной. Первая попытка использовать кислород в доменном производстве (и в металлургии вообще) была сделана в 1913 г. на заводе Угре, в Бельгии. Попытка чрезвычайно робкая. Если обычный воздух содержит 21 (по объему) процент кислорода, то бельгийцы обогатили его до... 23 процентов. Происшествий при этом не было, особых успехов — тоже. Увеличить содержание кислорода дальше никто не решился. И без того с минуты на минуту ждали взрыва.

В 1921—1923 гг. в США работала специальная комиссия Горного бюро, изучавшая экономические выгоды обогащенного дутья. Практическими данными комиссия не располагала, не было у них и доменных печей для опытов. Тем не менее выводы она сделала самые оптимистические и горячо рекомендовала владельцам металлургических предприятий использовать кислород.

Рекомендации комиссии не были обязательны. Давая их, она ничем не рисковала. А хозяева заводов рисковали печами. Печи же стоили денег, и немалых. В общем, рекомендации так и остались благими пожеланиями...

В 1926 г. советский ученый К. Г. Турбин предложил вводить кислород в рабочее пространство мартеновской печи. В то время идея не осуществилась — страна была слишком бедна.

Вот, собственно, и все. Среди собранных данных не было главного — практических советов, конкретных указаний. Какой должна быть печь? Сколько кислорода можно вводить? Этого никто не знал. Все вопросы приходилось решать самостоятельно.

Доменную печь решили строить тут же, в институте. Так было проще, но в этом угадывался и своеобразный вызов противникам кислорода. Если печь взлетит в воздух, пострадает не только авторитет института...

Печь была небольшая, высотой в метр. Но чтобы добыть материалы, найти рабочих, обеспечить финансирование, потребовались поистине героические усилия — слишком многого тогда не хватало.

Печь построили. Испытали. Взрыва не произошло. Полученный газ имел нужный состав. После очистки он был вполне пригоден для производства аммиака.

В общем, можно было бы считать, что опыт закончился успешно, если бы не одно маленькое обстоятельство. Печь не дала металла, только шлак. Это вызвало насмешки металлургов. «Замечательная печь,— хохотали они.— Настоящая химическая установка по производству шлака и газа. А чугун вообще ни к чему. Он только мешал бы делу, вредная примесь. Надо убрать из названия слово «доменная», тогда все станет на место...»

В конце концов химики разгадали загадку. Печь просто была маленькой. При таких размерах потери тепла слишком велики — его не хватает, чтобы расплавить руду и получить чугун.

Нужно было строить большую доменную печь, настоящую домну. Но где строить? Откуда взять средства, оборудование, материалы?

Профессор Чекин пошел на прием к Серго Орджоникидзе, наркому тяжелой промышленности. Чекин отлично понимал всю трудность задачи. Что он мог сказать? Что печь дала хороший газ, пригодный для синтеза аммиака? Металлурги (а их нарком, конечно, пригласит) лишь пожмут плечами. И будут правы. Ведь домна и в самом деле предназначена не для производства водородно-азотной смеси.

Он скажет, что домна не взорвалась? Metallурги раз-
разят, что это была вовсе не домна, а небольшая печь
неизвестного назначения. Потому что домна, насколько им
известно, выплавляет чугун, а не шлак. Маленькие раз-
меры, низкая температура? Вот именно! При нормальных
размерах температура повысится, и печь вместе с этой
смесью так грохнет...

Нарком не химик, так что ему трудно представить все
преимущества, которые даст получение водородно-азотной
смеси. Он и не металлург, поэтому не сможет доско-
нально оценить опасность взрыва.

Орджоникидзе выслушал химиков. Сказал коротко:
«Хорошо. Аммиак нам нужен». Выслушал металлургов.
Дело более чем сомнительное, крайне рискованное. Во
всяком случае они не могут взять на себя ответствен-
ность. Спокойно переспросил: «Не можете? Я возьму!»

Он уже принял решение.

— Домну построим. Люди, деньги, материалы — все
трудно. Но для такого дела найдем.

...Место, где предполагают вести строительство, обы-
чно выбирают мучительно и долго. В данном случае обо-
шлось без споров. Домну можно было строить только
там, где есть кислород. Достаточно мощная кислородная
установка имела тогда лишь на одном заводе в стра-
не — Чернореченском химическом комбинате.

Вариант имел свои достоинства. Чернореченский ком-
бинат, расположенный недалеко от Горького, — колыбель
русской химической промышленности. Опыт, традиции,
специалисты — огромное и по тем временам редкое бо-
гатство. Кислородный цех комбината строился немецкой
фирмой Линде. Конечно, цех устарел. Но имя Линде,
создателя первой промышленной установки для получе-
ния кислорода методом глубокого охлаждения, гаранти-
ровало надежность.

Даже по теперешним темпам строительство было за-
кончено в рекордно короткий срок. Работы развернулись
в начале 1932 г., а уже к концу лета печь подготовили
к пуску. На взгляд металлурга домна казалась стран-
ной. Не было кауперов — огромных металлических ци-
линдров, которые всегда высятся рядом с печью. Кауперы
служат для того, чтобы нагревать воздух, «дутье». «Хо-
лодное дутье — мертвая печь», это знает каждый до-
менщик.

Однако конструкторы печи были химиками. И рассуждали они по-своему. Горение в кислороде идет гораздо интенсивнее, чем в воздухе. Значит, без дополнительного подогрева можно обойтись.

Горячий воздух подается от кауперов к печам по специально оборудованным трубопроводам. С холодным кислородом предосторожности не нужны. Простые металлические трубы, а местами (страшно сказать!) резиновые шланги — так «несолидно» была оснащена первая кислородная домна.

Но это впечатление было чисто внешним. В проектировании и строительстве домны участвовали такие специалисты-металлурги, как В. В. Кондаков, Н. Е. Новоселов, М. А. Брылев.

И вот день пуска. Точнее три дня, потому что прошло трое суток без сна, прежде чем печь дала металл.

Выпустили металл, сделали анализы. Чугун получился не очень качественный, но получился — это главное! И газовая смесь (о которой за доменными делами стали забывать) имела подходящий состав. Сразу же дали телеграмму Орджоникидзе. Нарком первым узнал об успешном пуске первого в мировой практике предприятия на кислороде.

Потом было много трудностей. Но работа уже вышла из стен института и пошла шагать по свету, обрастая по пути друзьями и недругами. Коллегия Наркомтяжпрома одобрила результаты работ и приняла решение строить крупную промышленную домну на Днепропетровском заводе. Участники V Менделеевского съезда в Харькове приветствовали сообщение аплодисментами. В 1935 г. на Международном конгрессе в Брюсселе сообщение Института азота было встречено с огромным интересом. Специалисты сразу почувствовали, что с небольшой печи Чернореченского комбината начался новый этап в развитии металлургии.

В 1940 г. была пущена домна в Днепропетровске. Результаты превзошли все ожидания: печь сразу же выдала такой тугоплавкий чугун, который раньше удавалось получать только в электрических печах. Но началась война. Фашисты дошли к Днепропетровску. Домну пришлось взорвать.

Однако работы уже шли широким фронтом. Еще в 1933 г. харьковский инженер Н. И. Мозговой предложил использовать кислород в мартеновских печах и кон-

вертерах. Предложение отвергли — все та же боязнь взрыва. Но Мозговой продолжал борьбу. Опыты в Киеве на заводе «Большевик», на московском «Серпе и молоте», в «Азовстали», в «Запорожстали». В 1958 г. на криворожском заводе начал работать крупнейший в мире конвертерный цех с чисто кислородным дутьем. На Нижнетагильском комбинате вступила в строй 20-тонная кислородная печь нового типа — роторная...

...Производительность заводов и установок металлургической, химической, топливной промышленности определяется скоростью химических реакций. Скорость же тем больше, чем выше концентрация веществ, участвующих в реакции. Воздух беден кислородом. Поэтому и процессы окисления идут сравнительно медленно.

Скорость зависит и от температуры. Чем выше температура, тем больше скорость.

Замена воздуха кислородом решает сразу обе проблемы. Кислород призван сыграть огромную роль в осуществлении взятого XXV съездом партии курса на всемерную интенсификацию производства.

Уже сейчас чистый кислород используется достаточно широко: в черной и цветной металлургии, в химической и цементной промышленности, в горном деле, при сварке и резке металлов. Скажем, к концу девятой пятилетки в кислородных конвертерах страны выплавлялось до 30 процентов всей стали. В Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы сказано четко: «Обеспечить дальнейший рост использования кислорода... в металлургическом производстве».

Но это не все. Кислород завоевывает новые сферы применения. Очень интересные перспективы связаны, например, с использованием жидкого кислорода.

«И путь свой отметит огнями...»

Под градом чудес, которые обрушил на нас XX в., мы постепенно разучились удивляться. И жидким кислородом сегодня никого, конечно, не удивишь, хотя минимум девять из десяти читателей жидкого кислорода не видели и имеют о нем самые смутные представления.

Жорж Клод — один из тех, кто был пионером использования жидкого кислорода, — умел удивляться. Именно поэтому его книга «Жидкий воздух» читается

с захватывающим интересом. Читая ее, ощущаешь, что ты коснулся самых истоков науки, присутствовал при величайшем событии — рождении знания. С таким чувством читаешь Эйнштейна и Павлова, «корабельных дел» академика Крылова, создателя теории сорбции шотландца Макбена...

О достижениях науки пишут в учебниках. Это, разумеется, необходимо. Но если вы хотите ощутить трепет, если вас интересует «душа» науки, читайте тех, кто науку строил. Читайте первооткрывателей.

Жидкий кислород, как ясно хотя бы из названия, — жидкость. Плотность ее — 1,12, т. е. немногим больше, чем у воды. Но в литре этой жидкости сконцентрирован колоссальный объем кислорода — около 800 литров. И если бы она мгновенно превратилась в газ, произошел бы взрыв большой силы. Ведь это не шутка — увеличение объема в 800 раз.

А такая угроза существует постоянно. Температура кипения жидкого кислорода минус 183 градуса. Иначе говоря, в нормальных условиях он чувствует себя как вода на раскаленной сковородке. Непрерывно испаряясь, жидкость переходит в газ. И если сосуд с жидким кислородом закрыть, взрыв произойдет мгновенно.

Вообще, в старых книгах о жидком кислороде слово «взрыв» встречается очень часто. Правда. Клод пишет об этом спокойно и весело. Однажды в купе поезда сосуд с жидким кислородом опрокинулся. Последовал взрыв. Клод попробовал объяснить соседям, что ничего особенно не случилось. К сожалению, именно в этот момент поезд остановился. И пассажиры скрылись, так и не выслушав самых убедительных доводов...

А чего стоят советы, которые Клод дает всем будущим лекторам:

держат своих слушателей на почтительном расстоянии от сосуда с жидким кислородом;

заранее — во избежание претензий — предупредить их о возможных сюрпризах — шумных, но безопасных (безопасных для публики. Самому Клоду случалось и хоронить друзей, и получать в физиономию заряд измельченного стекла.);

иметь в зале нескольких знакомых, которые в решающий момент сумеют убедить публику сохранять спокойствие;

брать с собой на лекцию по крайней мере два сосуда,

чтобы не очутиться в положении журавля из известной басни.

И в заключение коротко и выразительно: «Я даю эти советы во всеоружии своего опыта!»

Мне тоже приходилось работать с жидким кислородом. И все обошлось благополучно, без единого взрыва. Но это, конечно, не моя заслуга. С начала века техника кислородного дела шагнула далеко вперед. Теперь требовались особая неловкость или упрямое нарушение правил, чтобы взрыв все-таки произошел.

Вы, вероятно, знакомы с сосудом Дьюара. Большой металлический шар (или цилиндр), и узкое, длинное, как у журавля, горло. Принцип здесь тот же, что в термосе. Два сосуда, один в другом. Из пространства между ними выкачан воздух: вакуум — отличная изоляция. Стенки сосудов посеребрены и отражают наружное тепло. Внутренний сосуд висит свободно. При наклоне он качается, соприкасаясь с наружным. В этот момент приток тепла извне резко возрастает, испарение усиливается. Пары газа давят на жидкость и... ничего особенного не происходит. Жидкость из сосуда легко переливается в тонкий химический стакан.

И вот он — жидкий кислород. Первые капли бегут по дну стакана, как по горячей плите, и шипят — еще бы, разница в температуре больше 200 градусов! Но операция окончена, и в первый момент ощущаешь некоторое разочарование. Кажется, что в стакане обыкновенная прозрачная вода с едва заметным голубым отливом.

Трудно поверить, что всего в нескольких сантиметрах от тебя страна, где зимняя стужа Антарктики показалась бы африканской жарой.

Область ультраполярных температур. Область, где редко пользуются привычной шкалой Цельсия. Где, сползая вниз, температура приближается к абсолютному нулю, с которого берут начало градусы Кельвина.

Температура в комнате — около 300 градусов Кельвина. Температура жидкого кислорода — 90 градусов. Жидкого водорода — 20 градусов. Жидкого гелия... Но мы отвлеклись (о гелии разговор впереди), а отвлекаться нельзя — голубая вода в стакане кипит; кипит непрерывно. Белое облачко пара вьется в воздухе.

Скоро к нему привыкаешь. Без этого облачка не обходится ни один опыт. Это не кислород, как можно подумать (газообразный кислород бесцветен), а пары воды.

При соприкосновении с холодным кислородом пары воды, находящиеся в воздухе, конденсируются, образуя облако.

Интересно наблюдать, как меняются в жидком кислороде привычные свойства вещества. Ртуть становится твердой — ею можно забивать гвозди. Резина, напротив, делается хрупкой и разлетается на куски. А старая ржавая пружина вновь обретает молодость: становится блестящей и необычайно упругой. Приобретает упругость и свинец. Свинцовый колокольчик, опущенный в жидкий кислород, звенит потом как серебряный...

Жидкий кислород обладает магнитными свойствами. Но даже зная об этом, удивляешься, когда пробирка с кислородом, подвешенная на нитке к штативу, тянется за магнитом.

Любопытны цвета. Я макаю в пробирку папиросу, зажигаю и смотрю, как она, словно бенгальский огонь, разбрасывает красные и золотые искры. Ровным зеленым пламенем светится опущенный в кислород воск; синим мерцающим — белая яичная скорлупа.

Жидкий кислород теряет свою «экзотичность», становится обычным рабочим продуктом, который используется не в граммах, а в тоннах. Чтобы сконцентрировать 800 литров этого газа в литровом объеме, нужен баллон, рассчитанный на давление в 800 атмосфер. Ясно, что сохранить и перевезти кислород (особенно в больших количествах) проще и удобнее в жидком состоянии.

Но это не все. Есть области, где жидкий кислород вообще незаменим. Он главная составная часть окислителей — мощных, недорогих и достаточно безопасных взрывчатых веществ. На жидком кислороде работают холодильные костюмы, которые применяются горноспасателями при тушении пожаров в шахтах. При этом кислород обеспечивает одновременно и охлаждение, и дыхание.

Однако важнейшая область применения жидкого кислорода — космические полеты. На жидком кислороде работали первые советские ракеты (например, ГИРД-Х), запущенные в 1933 г. Известно, что многие типы и современных ракет работают на кислороде.

Разумеется, жидкий кислород — не единственный окислитель, который можно использовать в реактивных двигателях. Есть более мощные — фтор; более удобные в обращении — азотная кислота или перекись водорода. Но по сумме качеств жидкий кислород, безусловно, при-

надлежит к самым лучшим окислителям. Тем более, что «по совместительству» его можно использовать и для дыхания.

...Два столетия назад бродил по темному Парижу никому не известный юноша Антуан Лоран Лавуазье. Он только что отправил в Академию наук на конкурс свой первый проект освещения ночного города и ждал решения.

На конверте был написан девиз. Словами этого девиза и хочется закончить главу. Они — и о нем самом, и об открытом им кислороде:

«И путь свой отметит огнями...»

УСТРЕМЛЕННЫЙ В НЕБО

Разные судьбы

Судьба водорода сложна, причудлива, противоречива. Можно подумать, что это не одна, а несколько разных судеб. Легчайший газ — планетарная модель атома — грозная «взрывчатка» термоядерной бомбы — мирное горючее космических ракет и, возможно, автомобилей... Тут особенно хорошо видно, что даже простейший «по устройству» элемент неисчерпаем, что развитие науки, движение идей как бы высвечивают, оттеняют новые стороны знакомого предмета, позволяя вычерпывать из него все новое, часто неожиданное содержание.

Необычны уже первые страницы его биографии. О водороде знали китайские и арабские алхимики. О нем писали Парацельс и Ван-Гельмонт. С ним работали Никола Лемери и Роберт Бойль, Стивен Гейлс и Ломоносов. В 1776 г. Генри Кавендиш разработал новые способы его получения: цинк и серная кислота; цинк и соляная кислота; олово и серная кислота... Он подробно исследовал свойства газа и нашел, что «горючий воздух» не поддерживает ни дыхания, ни горения, взрывается только в смеси с воздухом обычным, что весит он очень мало и хорошо растворяется во многих металлах. А главное, он установил, что водород — элементарное вещество. Это дает основания считать, что открыл водород именно Кавендиш.

Итак, водород был открыт в 1766 г., лишь за несколько лет до кислорода. Но если кислород, на который Лавуазье возлагал такие надежды, стал промышленным газом только через столетие, то водород нашел применение сразу — еще при жизни Лавуазье и при его непосредственном участии.

Историю воздухоплавания обычно начинают с полета братьев Монгольфье. 5 июня 1783 г. во французском городке Аннонэ братья продемонстрировали первый полет изобретенного ими воздушного шара, заполненного нагретым воздухом. Правда, при желании можно вспомнить, что еще за два года до этого итальянский профессор Т. Кавалло использовал для той же цели водород. Кавалло наполнял им мыльные пузыри. Пузыри стремительно прыгали вверх и так же стремительно лопались. Но аэростат Монгольфье был не игрушкой, а средством передвижения.

27 августа 1783 г. уже знакомый нам физик Ж. Шарль повторил в Париже полет Монгольфье. Впрочем, «повторил» — сказано не вполне точно. Аэростат Шарля был наполнен не воздухом, а водородом — разница существенная.

На заполнение воздушного шара ушло 18 кубических метров водорода, количество по тем временам огромное. Чтобы добыть его, Шарль расставил по окружности 12 больших бочек, засыпал в них опилки и залил разбавленной серной кислотой. От бочек были проведены свинцовые трубы, по которым газ шел в общий приемник, а оттуда — в шар. По отзывам наблюдателей, картина была эффектная, в духе сцен из свифтовского «Гулливера у лилипутов»...

Естественно, что такое событие не могло пройти мимо Антуана Лорана Лавуазье. Еще до полета Шарля парижская Академия наук выделила специальную комиссию для изучения «аэростатических машин». В состав комиссии на правах секретаря вошел Лавуазье. Он и стал автором доклада, который комиссия представила в академию. «Полет птиц столь удивителен,— писал он в начале доклада,—а возможность подниматься и парить в воздухе была бы для нас столь необычайной и имела бы столь своеобразное влияние на общественный порядок, что не приходится удивляться, если люди стремились к этому во все времена...»

Комиссия предложила академии ходатайствовать перед королем о награждении изобретателей «нового искусства, которое сделает эпоху в истории человеческих изобретений».

Людовик XVI с предложением согласился и вскоре повелел создать новую комиссию, теперь уже «для усовершенствования аэростатических машин». Председателем комиссии был назначен Лавуазье.

С присущей ему дотошностью Лавуазье изучил и усовершенствовал все, что только было возможно. Подобрал непроницаемый для газа материал оболочки. Разработал методы безопасного подъема и приземления аэростата. Изобрел устройство, позволяющее хоть как-то управлять аэростатом в полете. Наконец, как уже не раз упоминалось, в феврале 1785 г. в содружестве с военным инженером Менье осуществил в крупных масштабах получение водорода из воды.

Предложенный Лавуазье способ прост и практичен. Водяной пар пропускали через раскаленный докрасна ружейный ствол. Кислород окислял железо, образуя окисел, водород выделялся в виде газа. Этот железо-паровой способ получения водорода оказался настолько эффективным, что применяется и сейчас.

Во Франции началась революция, и об аэростатах как будто забыли. Но в конце 1793 г., когда Лавуазье уже находился под следствием, французский физик Кутейль заинтересовался возможностью использовать воздушные шары для обороны Франции. 26 июня 1794 г. аэростат, наполненный водородом, впервые в истории участвовал в военных действиях против австрийцев при Флерюсе.

Конечно, аэростат, наполненный горючим водородом, мало пригоден для войны. Но армия той эпохи еще меньше была готова к борьбе с воздушным неприятелем. Аэростат свободно парил над австрийскими позициями, его команда наблюдала за движением резервов, фиксировала позиции артиллерии. В общем, историки правы, утверждая, что использование аэростатов во многом предопределило победу революционных войск над интервентами при Флерюсе, а затем и исход всей кампании на северном фронте. Не случайно уже после первых успехов в составе северных армий Франции был создан специальный корпус военных аэростатов.

С этого времени начинается эпоха воздухоплавания — кораблей легче воздуха, которые не летали, а плавали

в нем: воздушных шаров, аэростатов и стратостатов, дирижаблей. Полеты на таких кораблях, даже самых совершенных, требовали высокого искусства, подлинной любви к этому трудному и рискованному делу, беззаветного мужества. Даже в XX в. Вспомним экспедицию Нобиле к Северному полюсу (1928 г.), высотные полеты бельгийца А. Пикара (1931 — 1932 гг.), стратостатов «СССР-1» (1933 г.) и «Осоавиахим-1» (1934 г.)...

На протяжении ста с лишним лет водород считался единственным газом, пригодным для наполнения воздушных кораблей. Даже открытие гелия не могло поколебать эту уверенность.

Прелюде всего, гелий вдвое тяжелее водорода. А подъемная сила дирижабля (как и всякого корабля, легче воздуха) зависит, естественно, от того, сколько весит газ, которым корабль заполнен. Кажется поэтому, что подъемная сила гелия вдвое меньше, чем водорода. Это, однако, заблуждение. Важен не абсолютный вес (1 литр водорода весит 0,09 грамма, гелия — 0,18 грамма), а относительный, в сравнении с воздухом. Простой расчет показывает, что подъемная сила 1 литра водорода — 120 (вес воздуха 1,29 — 0,09); литра гелия — 1,11 (1,29 — 0,18). Таким образом, водород лишь на 8 процентов «подъемнее» гелия.

Гораздо серьезнее другое обстоятельство. Гелий — редкий газ, и стоит он гораздо дороже водорода. В 1916 г. цена 1 кубического метра гелия достигала 200 тысяч рублей золотом. А ведь для заполнения дирижабля нужны тысячи кубометров.

В годы первой мировой войны немцы использовали для бомбардировки Парижа и Лондона крупные дирижабли — цеппелины*. Первое время бомбежки вызывали панику, но скоро англичане поняли, что дирижабль легко уязвим; любой зажигательный снаряд, попавший в эту огромную мишень, вызывал пожар, обычно кончавшийся взрывом. Из 120 цеппелинов, участвовавших в полетах, немцы за короткий срок потеряли 40.

И вдруг английское военное командование получило сообщение, что подбит дирижабль, который вел себя

* Названы по имени известного немецкого конструктора Фердинанда Цеппелина (1837—1917), разработавшего дирижабль жесткой конструкции — металлический каркас, обтянутый тканью.

странно. Он не горел и не взрывался, а тихо и плавно скользил к земле.

Специалисты пожимали плечами: невозможно! Лишь известный английский химик Ричард Трейфолл решился предположить, что немцы используют гелий. Откуда в таких количествах? На этот вопрос не смог ответить уже и Трейфолл.

Союзники сочли секрет настолько важным, что объяснение загадки дирижабля было одним из условий капитуляции Германии.

Оказалось, ларчик открывался просто. За несколько лет до начала войны капитаны германских судов, совершавших рейсы в Индию и Бразилию, получили негласное указание на обратном пути грузить трюмы не обычным балластом, а монацитовым песком. Капитаны, люди дисциплинированные, вопросов не задавали, тем более что монацитовый песок стоил немногим дороже обычного. Только несколько человек в Германии знали, в чем дело: монацитовый песок, хоть и в небольших количествах, содержит гелий. Хранилось в тайне и другое открытие: химики обнаружили небольшие количества гелия в газах минеральных источников...

Разумеется, общее количество добытого этими способами газа было невелико и никак не могло повлиять на исход войны. Но немцы — и в первую, и во вторую мировую войну — придавали почти мистическое значение внешним эффектам, «психологии». Им казалось, что негорючие дирижабли или пикирующие бомбардировщики способны повергнуть неприятеля в полную панику. Как известно, ничего подобного не произошло...

Однако впечатление действительно было ошеломляющим. «Если бы кто-нибудь сказал мне пять лет назад, — признавался американский профессор Муре, — что гелием будут наполнять дирижабли, я отнесся бы к этому так же, как если бы кто-либо сказал мне, что памятник Вашингтону только что собрались покрыть бриллиантами».

Самое, впрочем, поразительное, что удивляться тут было нечему. Еще в 1903 г. в американском городке Дек-стре (штат Канзас) при бурении скважины на нефть с глубины ста метров ударил газовый фонтан. С обычным по тем временам беззаботным отношением к попутным газам фонтан решили поджечь. Публика, собравшаяся поглазеть на красочное зрелище, с изумлением обнаружила, что газ не загорается. Пробы, взятые на

анализ, дали уникальный результат: 85 процентов азота, 2 процента гелия, остальное — метан.

В 1913 — 1917 гг. был выявлен и ряд других выходов гелия: цепочка начиналась в штате Техас и тянулась через Оклахому в Канзас до самого Нью-Йорка. В начале 1918 г. в Канаде и США были сооружены первые опытно-промышленные установки, а затем и опытный завод в американском городе Форт-Вортс. Завод давал до 1 миллиона 300 тысяч кубических метров газа в год. Цена кубического метра гелия быстро снижалась: 200 долларов... 60... 3...

В 1923 г. американцы построили дирижабль «Шенандоа» — первый и единственный в мире дирижабль, заполненный чистым гелием. Позднее стала применяться менее дорогая и столь же безопасная смесь — 85 процентов гелия и 15 — водорода. Но в тридцатых годах это уже потеряло значение. Плавающие в воздухе корабли были вытеснены самолетами. И водород, и гелий утратили свою «подъемную» роль. Водород исчерпан? Ничего подобного. Еще раньше и совсем по другому поводу водородом заинтересовались физики.

Элемент физиков

И во Вселенной, и в периодической системе водород занимает первое место. Во Вселенной — по распространенности, в системе — по атомному весу. Что это — случайное совпадение? Вероятно, нет. Атом водорода — простейший, изначальный; предполагается, что из водорода через сложную цепочку ядерных реакций образовались все остальные элементы.

Естественно, что и первая атомная модель, построенная Бором в 1913 г., была моделью атома водорода. В этой — единственно возможной — модели один электрон вращается вокруг ядра (протона), имеющего один положительный заряд.

Просто? Однако именно простота атома водорода позволила с особой наглядностью выявить одно из основных противоречий физики начала века: принятая тогда планетарная модель атома не совмещалась с принципами классической электродинамики. Как выяснилось позднее, в весьма серьезных поправках нуждались и та, и другая.

Размышляя над причиной этого противоречия, Бор

сформулировал три принципа, которые и сегодня составляют фундамент атомной физики:

1. Электрон может вращаться вокруг ядра не по любому, а лишь по некоторым, строго определенным орбитам. На всех этих дозволенных орбитах он вращается, не излучая энергии.

2. Ближайшая к ядру орбита отвечает наименьшей энергии электрона и соответствует наиболее устойчивому (нормальному) состоянию атома. При сообщении последнему энергии извне электрон может перейти на одну из более удаленных орбит, причем запас его энергии будет тем больше, чем дальше от ядра орбита, на которую он переходит.

3. Поглощение и излучение атомом энергии имеет место только при перескоке электрона с одной орбиты на другую. При этом разность энергий начального и конечного состояний воспринимается или отдается в виде кванта лучистой энергии (фотона).

Бор вычислил радиусы различных — дозволенных квантовыми условиями — орбит электрона в атоме водорода. Оказалось, что они относятся друг к другу как $1^2 : 2^2 : 3^2 : 4^2, \dots, n^2$. Величина n была впоследствии названа главным квантовым числом.

Радиус ближайшей к ядру орбиты ($n = 1$) оказался для водорода равным 0,53 ангстрема*. И вращается электрон по этой орбите со скоростью 2200 километров в секунду. Величина достаточно большая, если вспомнить, что, например, Земля в своем движении вокруг Солнца проходит всего 32 километра в секунду...

Минуло не так уж много лет, и выяснилось, что водород важен не только для атомной физики, но и для атомной техники. В 1932 г. американский ученый Г. Юри и его сотрудники открыли тяжелый изотоп — дейтерий, ядро которого составлено из протона и нейтрона. Дейтерий вдвое тяжелее обычного водорода (последний иногда называют протием) и довольно сильно отличается от него по физическим свойствам. В 1939 г. американским ученым Г. Альваресу и Р. Корногу удалось получить тритий — изотоп втрое тяжелее протия. Позднее тритий был найден и в природных условиях, но в количествах

* Ангстрем (А) — единица длины, равная десятиллиардной доле метра. Названа по имени шведского физика А. И. Ангстрема, который ввел эту единицу измерения в 1968 г.

совершенно ничтожных. Считается, что это самый редкий газ на Земле. Общее его количество не превышает 1,8 килограмма, т. е. меньше чем редчайшего радона и в 10^{18} раз меньше, чем обычного водорода. В 1962 г. итальянские ученые получили крайне неустойчивый водород-4, а недавно в печати появилось сообщение о синтезе водорода-5...

Однако атомную технику интересовали не вообще изотопы водорода, а вполне конкретный водород-2, дейтерий. Или, точнее, образованная этим водородом «тяжелая вода», D₂O. Тяжелая вода используется в ядерных реакторах как замедлитель нейтронов.

Известно, что в годы второй мировой войны в фашистской Германии велись работы над атомной бомбой. В частности, был построен тщательно засекреченный завод по производству тяжелой воды в Вермарке, небольшом местечке в оккупированной фашистами Норвегии.

В ночь на 23 февраля 1943 г. норвежские патриоты вместе с английскими парашютистами разрушили завод. Затем по нему нанесла удар английская бомбардировочная авиация. Остатки оборудования и запасы тяжелой воды гитлеровцы срочно отправили в Германию. Но бойцам армии Сопротивления удалось подложить на паром бомбу...

В атомных реакторах водород играет важную, но все-таки вспомогательную роль. В так называемой термоядерной реакции он становится главным участником событий. При этом происходит не распад, а синтез атомных ядер, в результате чего из водорода (точнее, из смеси трития и дейтерия) образуется гелий. Термоядерная реакция принадлежит к числу самых важных и наиболее «энергичных» процессов Вселенной. С нее начинается синтез элементов.

Термоядерная реакция идет при температуре порядка 20 миллионов градусов. Такую температуру, вполне обычную для звезд, на Земле удалось достичь пока лишь при атомном взрыве. Воспроизвести ее для мирного использования, сделать реакцию слияния ядер водорода управляемой — одна из центральных задач современной физики.

Метаморфоза?

В периодической системе водород стоит особняком. Одно время его относили к первой группе, к компании щелочных металлов. Чем-то он, действительно, напоминает металлы, но слишком многим от них отличается.

Теперь его включают в седьмую группу, где он оказывается в непосредственном соседстве с фтором. В этом странном соседстве тоже есть свои резоны. Однако, говоря строго, и тут он существует как бы сам по себе. У древнейшего и наиболее распространенного элемента Вселенной нет прямых родственников.

Может быть, именно этим особым положением водорода обусловлены два любопытных обстоятельства. Во-первых, он играет существенную роль почти во всех наиболее важных соединениях, с которыми имеет дело человек. Во-вторых, вещества, построенные с его участием, часто обладают особыми, даже уникальными свойствами.

В самом деле. Водород — это вода и кислоты, углеводородные газы и нефть, белки и щелочи, аммиак и гидразин. С точки зрения количественной водород в этих соединениях представлен скромно: в воде преобладает кислород, в аммиаке — азот, в углеводородах — углерод. Но ни в одном из этих соединений заменить водород нельзя: получится другое вещество, с совершенно иными свойствами.

Лавуазье верил, что не могут существовать кислоты без кислорода. Мы уже знаем, что это заблуждение: соляная кислота, фтористоводородная, синильная и прочие кислоты обходятся без кислорода. Но кислот, лишенных водорода, действительно, нет. По крайней мере в водных растворах*.

Роль воды в истории Земли и человеческой истории трудно преувеличить. Вода — *magna mater* (великая мать) всего живого. Из воды человек вышел. Из воды (около 70 процентов по весу) он состоит. Ежегодно мы выпиваем больше воды, чем весит наше тело. Вода — непременный участник едва ли не всякого промышленного и сельскохозяйственного производства. «Историю цивилизации,— резонно замечает американский ученый Бернард

* В 1923 г. Г. Н. Льюис открыл апротонные (льюисовские) кислоты — электронно-ненасыщенные соединения типа галогенидов бора (BF_3), алюминия и олова, окислов некоторых металлов и т. д.

Франк,— можно написать с точки зрения отношения человека к воде».

Кажется, что может быть обычнее воды? Однако исследователи — физики и геологи, биологи и химики — изумленно пожимают плечами. По всем основным характеристикам вода уникальна, она ведет себя не так, как полагалось бы вести себя «нормальному» соединению этого типа.

Если в формуле воды (H_2O) заменить водород «похожим на водород» металлом или углеродом, азотом, серой, получится вещество, не имеющее с водой ничего общего, кроме общего названия — окисел (по международной химической номенклатуре — оксид). По химической формуле вода напоминает такие вещества, как H_2Te , H_2Se , H_2S . В этом ряду свойства меняются довольно последовательно: H_2Te (молекулярная масса 129) кипит при минус 4 градусах и замерзает при минус 51; H_2Se (молекулярная масса 80) кипит при минус 42 градусах и замерзает при минус 64; H_2S (молекулярная масса 34) кипит при минус 61 градусе и замерзает при минус 82. Легко предсказать, что вода (молекулярная масса 18) будет кипеть примерно при минус 70 градусах, а замерзать при минус 90. Однако мы знаем из опыта, насколько далеки от действительности эти предсказания...

По общему правилу любое вещество — твердое, жидкое, газообразное — уменьшается в объеме при охлаждении. Вода следует этому правилу в интервале температур от плюс 100 до плюс 4 градусов. Затем слегка расширяется, а при нуле градусов следует стремительный скачок — сразу на 1/11 объема. В результате — факт поразительный — лед в воде плавает.

От этого свойства льда страдают водопроводы, но зато оно необычайно полезно для всего живого. Будь лед тяжелее воды, реки, озера и моря замерзли бы от дна к поверхности и превращались бы в огромные каменные глыбы, непригодные для жизни.

Перечень аномальных свойств воды можно продолжать и продолжать. Необычно высокие теплоемкость, теплота плавления*, теплота испарения, поверхностное натяжение. Вода — превосходный растворитель. В морской воде, например, присутствует добрая половина эле-

* Точнее: энтальпия плавления, энтальпия испарения, но и привычные термины вполне допустимы.

ментов периодической системы. И, что не менее важно, растворитель инертный, не вступающий в химические реакции со многими растворенными в нем веществами.

Итак, водород — элемент и важный, и неординарный. Казалось бы, одно это гарантирует широкое использование водорода в промышленности. Однако к началу первой мировой войны воздухоплавание было едва ли не единственным его потребителем.

На то были, конечно, свои причины. Водорода на Земле одновременно и много и мало. Много — в соединениях, прежде всего в воде и солях. Мало — в свободном состоянии. В воздухе, например, его содержание не превышает пяти сотых тысяч процента.

Разумеется, его можно получать из соединений. Кроме изобретенного еще Лавуазье железо-парового способа, сейчас применяются и другие: пропускание водяного пара над раскаленным углеродом, электролиз воды, взаимодействие между водой и гидридами металлов (скажем, гидридом кальция). Практически водород обычно получают взаимодействием воды с окисью углерода и метаном. Эта реакция считается наиболее экономичной, однако и она идет лишь при температуре порядка 1000 градусов и в присутствии катализаторов.

Суть, однако, не столько в сложности получения, сколько в отсутствии потребности. Конечно, для получения воды или кислоты можно использовать чистый водород. Но какой в этом смысл, если воды неограниченно много, а кислоты проще получать из солей?..

Любопытная ситуация. Постоянно имея дело с водородными соединениями, промышленность с самим водородом почти не сталкивалась. Он участвовал в этих реакциях косвенно, просто переходя из одного вещества в другое.

Первым продуктом, который не удалось получить «обходным» путем, минуя чистый водород, стал аммиак. Азот (о нем мы еще будем говорить) — странный элемент: с водородом он соединяется легче, чем с кислородом. Идея, высказанная в 1904 г. немецким химиком Габером, состояла как раз в том, чтобы соединить азот и водород, осуществить реакцию прямого синтеза аммиака.

Но аммиак, напомню, — это первое звено в цепочке, которая тянется к азотной кислоте, минеральным удоб-

рениям, взрывчатым веществам, красителям... Иначе говоря, производствам, где счет ведется в миллионах тонн.

Скоро обнаружилось, что аммиак — вовсе не единственное соединение, для получения которого нужен свободный водород. В 1924 г. был синтезирован метиловый спирт (метанол), затем водород стали использовать для получения из угля жидкого моторного топлива, твердых жиров, мыла... Уже в 1939 г. производство водорода, например, в США превысило миллиард кубических метров.

В последние годы данные о производстве водорода публикуются скупно и неохотно. Известно, однако, что он вырабатывается в огромных количествах. К привычным потребителям постепенно присоединяются новые, нетрадиционные.

Прежде всего — ракеты. Еще К. Циолковский показал, что расчет основных характеристик ракеты должен вестись по известной формуле

$$m_1 v_1 = -m_2 v_2.$$

Смысл ее ясен. С одной стороны, произведение массы вытекающих из сопла газов на их скорость; с другой — масса и скорость ракеты. Зная (или подбирая) три из четырех величин, входящих в уравнение, можно определить четвертую.

Даже беглый анализ уравнения показывает, что топливо и окислитель ракеты должны быть подобраны так, чтобы при сгорании выделялось как можно больше газа, а сама реакция шла с максимальным выделением тепла (скорость истечения зависит от температуры).

Правильный подбор компонентов — дело сложное. Но уже Циолковский предсказал (1903 г.), что одним из самых эффективных видов ракетного топлива окажется жидкий водород. Мысль поразительно смелая, если учесть, что только в 1898 г. Джемс Дьюар впервые получил 20 кубических сантиметров жидкого водорода! С тех пор выбор стал гораздо шире, но водород и его соединения по-прежнему остаются в числе лучших видов горючего.

Характерный пример — бороводороды (бораны). При сгорании пентаборана выделяется, например, 15100 ккал/моль* — больше, чем при сгорании бензина.

* Чтобы выразить эту величину в килоджоулях, достаточно умножить ее на 4,19.

И это не предел. Чистый водород обладает еще более высокими характеристиками, особенно атомарный, который позволяет получить температуру порядка 4 тысяч градусов.

Весьма заманчива — уже для земных условий — идея двигателя внутреннего сгорания, использующего в качестве топлива водород. Такой двигатель, потребляющий лишь водород и воздух, видимо, будет дороже обычных. Зато продукт сгорания — вода — совершенно безвреден. В условиях современных городов с их загазованной атмосферой — обстоятельство чрезвычайно важное.

Сейчас ведутся интенсивные исследования и по созданию новых топливных элементов, в которых водород используется для непосредственного получения электрической энергии.

...Где-то там, на расстоянии в миллионы и миллиарды световых лет от Земли, сталкиваются ничтожные крупинки в безбрежном океане космоса — атомы водорода. В результате столкновений рождаются радиоволны длиной 21 сантиметр. Эти радиоволны не поглощаются космической пылью и доходят до самых дальних уголков Метагалактики. Вселенная говорит на волне водорода. И если когда-нибудь нам придется поддерживать радиосвязь с иными мирами, мы, очевидно, будем говорить на той же волне.

СЛОВО ДРЕВНЕЕ И НОВОЕ

История повторяется

Честь открытия азота, как уже говорилось, принадлежит шотландскому химику Даниэлю Резерфорду. С полным основанием, однако, могли считать себя первооткрывателями все крупнейшие химики той эпохи: Шееле, Кавендиш, Пристли, Лавуазье. Каждый из них (кроме, может быть, Лавуазье) пришел к этому открытию вполне самостоятельно. Тем более поразительно, что работы их совпадают даже в мелочах.

Все они пользовались, в сущности, одним приемом: удаляли из воздуха кислород, а оставшийся газ исследовали, убеждаясь, что он не горит, не поддерживает

горения, не пригоден для дыхания и, следовательно, не похож на обычный воздух. Резерфорд называл этот газ мефитическим, Шееле — дурным, Пристли — флогистированным, Кавендиш — удушливым. Но, в общем, все были согласны с тем, что для жизни газ не пригоден. Лавуазье, как обычно, обобщил материал предшественников, проделал ряд собственных блестящих опытов и дал новому газу имя, характеризующее главное его свойство, — азот, безжизненный.

Название не очень удачное. Во-первых, знатоки греческого языка сочли, что сам принцип образования нового слова (*zoos* — живой, *a* — частица отрицания) сомнителен.

Во-вторых, слово это (о чем Лавуазье, видимо, не знал) широко использовалось в алхимическом лексиконе и совсем в ином смысле. Это было одно из тайных, зашифрованных названий философского камня, или панацеи. Сообразно с мистическим значением слова алхимики образовали его из первых и последних букв «священных» алфавитов — латинского, греческого и древнееврейского. Первые буквы в этих алфавитах совпадают: *a* — альфа — алеф; последние — нет: *зет*, *омега*, *тов*. Так что первоначально название философского камня читалось как *ааа-зот*, а уже позднее было сокращено до привычного азот. Именно в этом правописании оно встречается в трудах Р. Бэкона, Парацельса, Ван-Гельмонта...

Наконец, в-третьих, оказалось, что этот безжизненный, апатичный газ, по выражению академика В. Л. Омелянского, «более драгоценен с общепедагогической точки зрения, чем самые редкие из благородных металлов». Предвидеть последнее обстоятельство Лавуазье, конечно, не мог — это уже совсем иная глава науки, прологом к которой стала история минеральных удобрений.

Либих, Буссенго и другие

Земледелие — одно из самых древних занятий человека. Простейшие хлебные растения выращивали в каменном веке. За 4 тысячи лет до нашей эры египтяне знали уже и хлеб, и плоды, и овощи. Знали, что главное условие урожая — вода.

Древние оросительные системы сыграли огромную роль в развитии человеческого общества: в появлении го-

сударства, науки и техники. Но орошение способствовало и прогрессу самого земледелия: были найдены новые, продуктивные сельскохозяйственные культуры, более совершенные приемы их возделывания. Постепенно стали применяться и простейшие виды удобрений. К началу нашей эры римлянам было известно, что росту растений способствуют не только навоз, но и некоторые минеральные вещества — гипс, зола, известь.

Конечно, представления обо всем этом были самые смутные. Землю отождествляли с животными и человеком. Считалось, что удобрения — это ее еда, что землю надо досыта накормить, и тогда она восстановит свои силы. Какой должна быть эта еда, сколько ее надо, в каких случаях следует кормить — подобные вопросы даже не ставились. Интересное наблюдение, что некоторые бобовые (люпин, вика) улучшают почву и она дает потом более высокие урожаи, было забыто и веками не использовалось.

Первые «агрохимические» сочинения появились еще в VIII в. н. э. Но они лишь прилежно повторяли то, что было известно древним. Полезные, хотя и чисто практические советы сопровождалась мистическими комментариями и фантастическими измышлениями.

Однако какое-то движение, пусть медленное и противоречивое, все-таки было, ибо в трудах самого знаменитого французского химика-практика XVI в. Бернара Палисси (1499 — 1589) мы встречаемся уже с попыткой трезво осмыслить происходящие в почве процессы. Для Палисси вообще характерен такой подход. Превосходный практик-керамист и живописец по стеклу, он вместе с тем занимался и самыми общими вопросами естествознания. «Я не имел иной книги,— писал он с гордостью,— кроме неба и земли, которая известна каждому и каждый может узнать и прочесть эту прекрасную книгу».

Палисси убежден, что основа жизни и роста растений — соль. Солью он называет целую группу минеральных веществ, нужных растению. Если несколько лет подряд, предупреждает он, засевать почву, не внося в нее удобрений, растения высосут из земли все соли, и она обеднеет и перестанет давать урожай.

Чтобы снова сделать землю плодородной, ей надо либо дать отдохнуть несколько лет, либо удобрить ее. Во время отдыха земля приобретает «свою соленость» от

дождей и рос. Удобрения же помогают потому, что навоз содержит все соли, которые нужны растениям...

Это, вероятно, первое, достаточно ясное представление о процессах, идущих в почве. Но представление умозрительное, ничем не доказанное. Лишь через триста лет соображения Палисси были подтверждены фактами.

В 1840 г. знаменитый немецкий химик Юстус Либих (1803 — 1873) опубликовал свой капитальный труд «Химия в приложении к земледелию и физиологии». Работа теперь считается классической, но в те годы она была и злободневной, и остро полемической.

К сороковым годам XIX в. все свободные площади Европы были использованы под пашню. Между тем население стремительно росло, росла, естественно, и потребность в сельскохозяйственных продуктах, а урожайность падала. Это странное и печальное явление никто до Либиха даже не пытался понять.

Поразительно, как порой велик разрыв между практикой и теорией. Практики знали, например, что рожь извлекает с гектара земли около 40 килограммов фосфорной кислоты и 75 килограммов калия. Знали даже, что разные растения питаются по-разному: гороху нужна преимущественно известь, злакам — кремнекислота, некоторым другим — калий. Но те очевидные выводы, к которым пришел еще Палисси, не делались.

Их сделал Либих. Все вещества, которые берет из земли растение, утверждал он, необходимо вернуть, если земледельцы хотят получать хорошие урожаи. Тот метод, которым до сих пор пользовались — чередование растений,— может лишь замедлить, но не остановить истощение почвы. Без применения минеральных удобрений человечеству грозит голод.

Многие агрономы не согласились с Либихом: они считали, что главная еда растений — углерод, а он содержится только в навозе. Либих, однако, отстаивал свою точку зрения умело и энергично. А главное он поставил эффектный опыт: внес минеральные удобрения в заброшенный участок на песчаном пустыре и получил богатый урожай.

Тут уж вынуждены были отступить его самые упорные противники. Спрос на минеральные вещества, рекомендованные Либихом, резко вырос. И вдруг со всех сторон стали приходить сообщения, что новые удобрения

приносят не пользу, а вред, и во всяком случае их никак нельзя сравнить с привычным навозом...

Противники Либиха, конечно, заблуждались. Но и он был неправ, подходя к процессу питания растений несколько упрощенно. И еще — он ничего не знал о роли азотных удобрений.

Жан-Батист Буссенго (1802 — 1887) знал, об этом позаботилась жизнь. Жизнь забросила его, двадцатилетнего юношу, выпускника французской горной школы, в Южную Америку. Он хотел быть горным инженером, но в Америке началось восстание против испанцев, и герой освободительной войны, прославленный генерал Симон Боливар предложил Жану-Батисту должность офицера. Буссенго согласился и воевал шесть долгих лет.

Однако все свободное время он отдавал изучению того необычного края, куда забросила его жизнь. Он собирал растения на высоте 5500 метров, анализировал вулканические газы, исследовал залежи селитры. Пристроившись в палатке, он писал научные статьи и посылал их — с оказией — в европейские журналы. И когда война кончилась, в Европу вернулся уже не юноша, а знаменитый ученый, который привез с собой драгоценный запас знаний и наблюдений.

Буссенго помнил, конечно, военную историю селитры. Открыли ее китайцы за несколько веков до нашей эры. Они же нашли ей применение — сначала в ракетах для фейерверков, а затем и для создания смертоносного оружия.

Европа, где порох стал применяться в средние века, была бедна селитрой. Ее привозили из Индии и одно время так и называли — индийской. Запасы индийской селитры были невелики, а нужде в порохе росла. И тут, в 1818 г., на юге Перу, в провинции Тарапака, обнаружили колоссальные запасы селитры.

Любопытно, что первые пароходы с селитрой пришлось разгрузить в море: никто не хотел ее покупать. Для изготовления пороха селитра не годилась: слишком жадно впитывала влагу. Вскоре, однако, все стало на свои места. Химики быстро поняли разницу между индийской (калиевой) и южноамериканской (натриевой) селитрой и научились последнюю перерабатывать. Селитра стала богатством.

И сразу же вспыхнули войны. В селитряной войне между Перу, Чили и Боливией победила Чили. К ней

перешла богатейшая провинция Тарапака. Чили стала почти единственным мировым экспортером селитры.

Основные запасы селитры сосредоточены на огромном плато, поднятом на высоту 1000—1500 метров над уровнем моря, между главной цепью Кордильеров и их прибрежными гребнями. Запасы селитры действительно колоссальны — 8 миллиардов тонн. Залегают она слоями небольшой толщины (до 1,5 метра), но неглубоко, и порода содержит от 15 до 50 процентов селитры.

О природе этого месторождения спорили в прошлом веке, спорят и сейчас. Одни считают, что селитра образовалась из гуано — помета морских птиц; другие — из скоплений водорослей; наконец, некоторые ученые сводят все к вулканической деятельности. Ни одна из этих теорий не дает исчерпывающего объяснения. Дело, видимо, в уникальном сочетании условий, среди которых не последнюю роль играет и климат — необычайно жаркий, сухой.

Все эти вопросы занимали Буссенго, ведь он был горным инженером. Но не меньше интересовало его и сельское хозяйство. Он видел, что жители перуанского побережья, удобряя землю гуано, получают богатые урожаи кукурузы. Он исследовал гуано и нашел там множество азотных соединений. Наконец, уже вернувшись на родину, он занялся изучением самых различных растений: все они содержали азот.

Либих, однако, с этими доводами не согласился. Возражения его были просты и как будто бесспорны. В верхних слоях почвы много азота, и количество его после снятия урожая не уменьшается. Значит, растения не испытывают нужды в нем. Возможно, они получают его из воздуха.

В 1851 — 1853 гг. Буссенго ставит опыты, пользуясь приемом, который позднее назвали «методом песчаных культур». Растения высаживаются в хорошо промытый и прокаленный песок. В среду добавляются различные питательные вещества. Если вести опыты сразу на большом количестве горшочков с песком и вносить в них строго определенные порции питательных веществ, можно выяснить, что именно и в каких дозах необходимо растению.

Результаты в опытах Буссенго были чрезвычайно наглядны. Растения в горшочках с азотными удобрениями пышно росли, без них — получились хилыми и чахлыми.

Убедительно? Но и в 1849, и в 1853 г. те же опыты проводил профессор Жорж Вилль. И получил... прямо противоположную картину. Растения прекрасно развивались без азотных удобрений.

В 1854 г. парижская Академия наук создала комиссию, которой было поручено повторить опыты и дать заключение. Комиссия (шесть академиков) добросовестно проделала все, что требовалось, и подтвердила выводы Вилля: растения отлично обходились без азотных удобрений.

Начались чудеса. Сторонники Буссенго повторяли опыты и подтверждали его результаты. Противники — повторяли и опровергали. Ситуация запуталась до предела, когда двум английским ученым — Лоозу и Гильеру — в конце пятидесятых годов удалось подтвердить и опыты Буссенго, и опыты Вилля...

Медленно, очень медленно распутывался этот клубок противоречий. Постепенно выявлялись погрешности опытов, а главное — сложность и неоднозначность самого процесса питания, который не сводится к «или-или», а зачастую имеет вид «и-и».

Сначала о погрешностях опытов. Комиссия академии состояла из шести человек. Но непосредственным наблюдением за опытами занимался только один — известный химик Клоез. Однако Клоезу пришлось срочно уехать по делам. Наблюдения он поручил помощнику. Но у того тоже были дела, и, отлучаясь, он перепоручал заботу о контрольных растениях сторожу.

Правда, указания давались простые и строгие: поливать растения дистиллированной водой. Эти указания сторож неукоснительно выполнял. Не его вина, что рядом с бутылкой дистиллированной воды выпаривался аммиачный раствор. Вода жадно поглощала аммиак и была им так насыщена, что никаких удобрений уже не требовалось.

Найти ошибку в опыте было сравнительно легко. Гораздо труднее было понять причудливую систему связей между растением и азотом. Как правило, растения не поглощают азот из воздуха. Но сам Буссенго еще в 1836 — 1840 гг. убедился, что в некоторых случаях клевер, люцерна и горох при отсутствии в почве азотных солей развиваются нормально, а их плоды и стебли содержат обычное количество азота. Оставалось признать, что они все-таки поглощают азот прямо из воздуха.

Каким образом? Эту загадку Буссенго так и не смог разгадать до конца жизни.

В 1865 г. русский ботаник М. В. Воронин сделал первый шаг к раскрытию тайны. Он обнаружил, что корни бобовых имеют небольшие уродливые утолщения — клубеньки. Исследуя эти клубеньки, Воронин пришел к выводу, что они образуются в результате деятельности микроорганизмов, живущих в почве. Через 21 год немецкий химик Г. Гельригель доказал, что с помощью именно этих бактерий бобовые растения усваивают азот воздуха.

Как? Вопрос о механизме фиксации растениями молекулярного азота воздуха до сих пор еще окончательно не выяснен.

Но внешнюю картину событий мы представляем сейчас достаточно полно. Клубеньковые бактерии, попадая через корневой волосок в корень бобового растения, затем проникают во внутренние его покровы. Здесь они обживают, забирая у растения пищу в виде различных солей. Это был бы чистый паразитизм, если бы, погибая, бактерии не оставляли растению «наследство» — азот. Азот, который они усваивают из проникающего в землю воздуха и перерабатывают в форму, пригодную для питания растений. Такое «мирное сосуществование» К. А. Тимирязев назвал своеобразным видом борьбы, из которой каждая сторона поочередно выходит победителем.

Итак, бобовые растения могут питаться атмосферным азотом лишь в том случае, если в почве присутствуют азотфиксирующие бактерии. А они бывают не всегда. В опытах Буссенго, например, растения не усваивали азот из воздуха: в тщательно промытом и прокаленном песке бактерии не сохранялись.

Сейчас мы можем судить и о производительности собирателей азота. Люцерна, клевер, люпин и другие бобовые способны связать на площади в 1 гектар от 100 до 400 килограммов азота. Основная масса связанного азота проникает в наземную часть растения, но около четверти остается в его корневой системе, обогащая почву. Этим и объясняется тот известный каждому крестьянину факт, что злаковые культуры, посеянные по бобовым, дают урожай значительно выше обычного.

Но и это не все. В 1901 г. голландский микробиолог М. Бейеринк обнаружил в почве свободноживущие бактерии ряда азотобактер, которые также способны фиксировать азот.

сировать азот воздуха и переводить его в соединения, пригодные для питания растений. Азотобактер довольно капризен: он развивается, только если в почве достаточно воздуха, минеральных солей и органических веществ. Поэтому на целине свободноживущие бактерии практически отсутствуют. И, напротив, на тщательно вспаханных и удобренных землях они собирают неплохой «урожай» азота: до 30 килограммов с гектара.

Не таким простым оказался и старый спор Либиха с Буссенго. Помните, Либих ссылался на то, что растения не могут испытывать недостатка в азоте, ибо верхние слои почвы богаты азотом. Это правильно. Но тут есть одна тонкость. Азот в почве представлен в основном сложными органическими соединениями, которые растениями не усваиваются. Им нужны азотные вещества совсем другой «конструкции» — простые неорганические соединения, азотнокислые или аммиачные соли, легко растворимые в воде. А как раз таких солей в почве мало, не больше одного процента общих запасов азота.

Кажется, ясно? Ничего подобного. Вслед за азотобактером были обнаружены бактерии, способные перестраивать азотные соединения, переводить азот из неусваиваемых форм в усваиваемые — аммиак и его соли. А это значит, что почвы, которые сегодня бедны активным азотом, завтра могут оказаться богатыми.

Процесс перестройки сейчас уже хорошо известен и получил название аммонификации. У бактерий этого типа есть свои особенности. Их работа, например, зависит от соотношения в почве углерода и азота. Наилучшие результаты получаются при соотношении 25:1. Если в органическом веществе больше одной части азота, то избыток выделяется в виде аммиака. При меньших соотношениях азота растения отбирают его у простых солей, обедняя и без того небогатую почву, снижая урожай.

Наконец, в 1887 г. выдающийся русский микробиолог С. Н. Виноградский открыл еще две группы бактерий, способных окислять аммиак и его соли, переводя их в азотную кислоту. Этот процесс — нитрификация — чрезвычайно интересен. Сначала в почве образуется азотная кислота. Кислота, взаимодействуя с минеральными веществами, недоступными растениям, переводит их в соединения типа селитры, которые легко усваиваются.

Процесс нитрификации и его влияние на урожайность настолько сложны, что полезность бактерий до сих

пор вызывает споры. Однако большинство ученых считают, что нитрификация, как и фиксация азота, и аммонификация, оказывают благотворное влияние на сельское хозяйство.

Естественно, что опыт природы не мог не привлечь внимания химиков. Еще в семидесятых годах прошлого века Дмитрий Иванович Менделеев писал: «Вопрос о способах превращения азота воздуха в почвенные азотистые соединения или в ассимилируемый азот, способный поглощаться растениями и давать в них сложные (белковые) вещества, составляет один из таких вопросов, которые представляют великий теоретический и практический интерес».

Пройдет еще два десятилетия, и проблема азота приобретет глобальный характер. В 1898 г. известный английский физик Уильям Крукс в своей речи на годовичном собрании британской ассоциации ученых предскажет человечеству смерть от азотного голода и, опираясь на подсчеты, назовет дату — 1931 г. «Точно ли человечеству грозит гибель?» — возразит ему Климент Аркадьевич Тимирязев и сошлется на старые опыты Кавендиша. Возникнет спор, в котором примут участие многие знаменитые ученые. Чтобы понять его суть, нам придется затронуть широкий круг вопросов, связанных с проблемой азота.

Как устранить дефицит?

Начнем с бактерий. По подсчетам академика Дмитрия Николаевича Прянишникова, на посевных площадях СССР бактерии бобовых растений связывают примерно один миллион тонн азота, а свободноживущие — еще около двух. Между тем для получения среднего урожая 180 миллионов тонн нужно не менее 9 — 10 миллионов тонн азота.

Такое соотношение (3:10) характерно для большинства районов земного шара. Азота, который вырабатывают бактерии, явно недостаточно. Как устранить дефицит?

А устранить его совершенно необходимо. Формирование растений зависит от присутствия в почве 12 элементов. Но особую заботу агрономов составляют три: азот, фосфор, калий. В этом ряду азот с полным основанием занимает первое место.

Азот — составная часть каждой клетки любого организма: от бактерий до многотонной туши синего кита. Азот входит в состав белков, а белок — основа «конструкции» всякого живого организма. Если животное кормить только жирами или углеводами, оно скоро погибнет от истощения. На одной белковой пище оно сможет продержаться довольно долго.

Азота, как и водорода, на Земле и много, и мало. Много — в атмосфере. Над каждым квадратным метром поверхности «висит» 8 тонн. Но в земной коре его мало — всего 0,04 процента. Ученых, однако, удивляет не то, что азота так мало, а то, что он вообще встречается в связанном состоянии, слишком азот инертен.

Объяснить его инертность нетрудно: два атома в молекуле азота прочно связаны между собой. Гораздо труднее понять, какие силы в геологической истории Земли были способны разорвать эти связи и заставить азот вступить в реакции. На сей счет существует около 15 гипотез, из которых ни одна не может считаться доказанной. Говорят об особо благоприятных условиях в ту далекую эпоху, когда Земля была расплавленной вязкой массой, ссылаются на обилие электрических разрядов огромной силы, на действие разного рода излучений — ультрафиолетового, рентгеновского.

В нашу геологическую эпоху единственный (кроме бактерий) природный фактор, способствующий фиксации атмосферного азота, — электрический разряд, молния. Длительность разряда невелика (0,05 — 0,1 секунды), мощность его колоссальна — до 200 миллионов киловатт, гораздо больше, чем в самых крупных установках, созданных человеком. И число гроз на земном шаре огромно — в среднем 16 миллионов в год. Подсчитано, что после каждой грозы дождь приносит на землю около полутора тонн окислов азота, а за год каждый квадратный километр получает до 600 килограммов.

И все-таки этого явно недостаточно. Сельскохозяйственное производство ежегодно поглощает из почвы не менее 25 миллионов тонн азота. Дефицит надо покрывать. До конца прошлого века полагали, что для этого есть только один источник — природные азотсодержащие соединения. Главным образом — чилийская селитра. И хотя запасы ее велики, но не безграничны. А добыча непрерывно росла. 1830 г. — 850 тонн; 1850 г. — 23 тысячи тонн; 1900 г. — 1,5 миллиона тонн; 1910 г. — 2,5

миллиона тонн. Уильям Крук имел серьезные основания говорить о надвигающемся азотном голоде.

Но и Тимирязев не зря ссылался на старые опыты Кавендиша. Резерфорд, Пристли, Шееле выжигали кислород из воздуха огнем. Кавендиш выжигал его взрывом, пропуская через смесь воздуха и водорода электрический разряд. В принципе результат был тот же, однако в опытах Кавендиша кроме воды удавалось обнаружить следы окислов азота. Очевидно, под действием электрического разряда кислород соединялся не только с водородом, но и с азотом.

Не стоит думать, что идея Тимирязева проста. Нужно было обладать широчайшим кругозором, чтобы увидеть в полузабытых, сугубо лабораторных опытах Кавендиша путь к решению глобальной проблемы азотного голода.

В начале нашего века норвежский ученый Х. Бирке-ланд четко сформулировал идею молнии, а инженер С. Эйде сумел найти приемлемую конструкцию электрической дуги. К 1908 г. способ приобрел практическое значение: выход окислов азота достиг 4 — 7 процентов массы участвующих в реакции веществ.

Правда, получение связанного азота способом Бирке-ланда — Эйде требовало большого расхода энергии. Поэтому он применялся лишь в таких странах, как Норвегия, где электроэнергия стоила дешево. Но угроза азотного голода, если и не миновала, то отдалилась. Стало ясно, что в принципе азот можно заставить реагировать с кислородом, вопрос лишь в расходах.

Вопрос немаловажный. И решен он был весьма оригинально. Немецкий ученый Фриц Габер — одним из первых в истории химии — применил обходной маневр: ввел в реакцию промежуточное звено — водород. Воистину прямая далеко не всегда кратчайшее расстояние между двумя точками.

На бумаге реакция выглядит чрезвычайно просто: $3\text{H}_2 + \text{N}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$. Однако это не более чем схема. Суть трудностей в том, что реакция обратима.

Еще в 1873 г. знаменитый французский ученый Марселен Бертло отметил особенности этого процесса. Реакция идет с выделением тепла, с уменьшением объема вдвое и по характеру своему обратима.

В 1884 г. Рамзай сделал попытку синтезировать аммиак. И сразу же натолкнулся на непреодолимые трудности. При температуре ниже 1000 градусов реакция идет

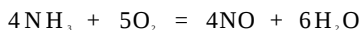
чрезвычайно медленно. С повышением температуры скорость образования аммиака растет. Но одновременно растет и скорость его разложения на простые вещества. Поскольку последняя скорость растет быстрее первой, Рамзай сделал вроде бы бесспорный вывод: синтез аммиака невозможен.

Габер, вопреки очевидности, с этим выводом не согласился. Пользуясь принципом Ле Шателье, он сформулировал два условия: минимальная возможная температура и максимальное давление. Затем — совместно с Бошем — было найдено третье условие: катализатор.

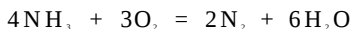
Как известно, катализатор сам по себе изменить равновесие не может. Однако он ускоряет достижение системой равновесного состояния. Таким образом, цель поисков свелась к тому, чтобы найти катализатор, который обеспечил бы достаточно высокую скорость установления равновесия при возможно более низкой температуре.

Задача эта была решена в 1913 г. Факт, который имел большие и неоднозначные последствия. В частности, располагая двумя тщательно засекреченными аммиачными заводами, Германия решила начать мировую войну — она была обеспечена сырьем для производства основных взрывчатых веществ: пироксилина, нитроглицерина, тринитротолуола, аммонитов. Правда, тут нужно было преодолеть еще много препятствий. Прежде всего, постичь механизм такой тонкой операции, как перевод ценнейшего аммиака в бесценную азотную кислоту...

Снова перед нами простая реакция:



Химики, однако, знают, что реакция капризна: она очень легко уходит в сторону, и тогда вместо искомой азотной кислоты мы возвращаемся к тому, с чего начинали, к азоту:



Чтобы удержать течение реакции в основном русле, нужна ювелирная точность, высокое искусство. Основная реакция идет чрезвычайно быстро — в течение стотысячных долей секунды. Побочная реакция медленнее: тысячные доли секунды. Значит, нужно суметь попасть в этот промежуток. На практике время соприкосновения смеси с катализатором задается так: от 0,00006 до 0,0003 долей секунды.

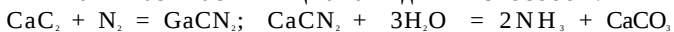
При этом нужно учитывать дополнительные факторы. Реакция образования окиси азота идет с большим выделением тепла. Но если температура смеси превысит 900 градусов, аммиак начнет разлагаться. Теоретически аммиак и кислород надо брать в соотношении 1 : 1,25. Однако смесь, содержащая свыше 20 процентов аммиака, взрывоопасна. Приходится разбавлять ее азотом.

Еще элементарнее — в записи — следующая стадия:



Реакция идет с большим выделением тепла. Ясно (принцип Ле Шателье), что вести ее следует при пониженной температуре. Но при низкой температуре реакция идет чрезвычайно медленно. Катализатор? Однако, хотя поиски длятся более 50 лет, эффективный катализатор до сих пор не найден. Приходится вести процесс при средней температуре: компромисс не очень выгодный, но необходимый. К счастью, последний: получить азотную кислоту из двуокиси азота нетрудно.

В чем же смысл этого долгого и сложного обходного маневра? Ведь соединить азот с кислородом можно прямо, по способу Биркеланда и Эйде, а аммиак можно получить так называемым цианамидным способом:



Смысл — в эффективности. Практика свидетельствует, что процесс Габера — Боша в три раза выгоднее цианамидного и в 15 раз экономичнее способа Биркеланда и Эйде.

А это очень важно, потому что потребление азотной кислоты колоссально и с каждым годом продолжает расти. Ее используют в производстве азотных удобрений и взрывчатых веществ, искусственного волокна и специальных сталей, пластмасс и фотопленки, при окраске тканей и приготовлении лекарств.

Обращение времен...

«Жизнь есть способ существования белковых тел», — писал Ф. Энгельс. Примерно в то же время профессор Харьковского университета Н. Н. Любавин высказал мысль, что белки построены из химических соединений определенного типа — аминокислот. Гипотеза была встречена с недоверием. Только через двадцать лет крупному

русскому биохимику академику А. Я. Данилевскому удалось подтвердить ее экспериментально.

Теперь мы знаем, что десятки аминокислот, из которых составлены белки, несут в себе все многообразие жизни. Подобно тому, как из одних и тех же букв алфавита составлена и телефонная книга, и «Война и мир», так аминокислотные звенья — в разном сочетании — «отвечают» за процессы обмена и передачи наследственной информации, формирования генотипа и отклонения от нормы.

Уже одного этого было бы достаточно, чтобы привлечь повышенное внимание к азоту — «безжизненному» элементу, без которого невозможна жизнь. Однако в сороковых годах нашего века было установлено, что азот играет важную роль и в процессах, идущих на Солнце. Процессах, связанных с выделением огромного количества энергии.

Поначалу кажется, что говорить о химических свойствах азота так же трудно, как о характере человека бесхарактерного. Но чем больше знакомишься с этим необычным элементом, тем настойчивее мысль: а может быть, мы его просто мало знаем, может быть, какие-то его особенности до сих пор от нас скрыты?

Да, при комнатной температуре газообразный азот соединяется лишь с тремя элементами — литием, магнием и кальцием. С другими элементами связать его трудно: нужна высокая температура, большое давление, катализаторы. Иногда требуется сочетание всех трех условий, иногда достаточно одного. Скажем, уран или цезий при нагревании соединяются с азотом так бурно, словно они горят в его атмосфере, как железо в кислороде.

Стремясь понять причины обычной апатии азота и неожиданные взрывы его активности, мы снова и снова вглядываемся в его молекулу. Оба атома в ней ($N \equiv N$) связаны необычайно прочно, а сама молекула неполярна: электроны равномерно распределены между обоими атомами.

Мало известно, однако, что кроме привычного бесцветного газа существует еще один азот — приятного золотисто-желтого цвета. Его можно заморозить — тогда он станет голубым. Думали, что это соединение типа озона, N_3 . Но оказалось, что формула необычного газа иная — просто N . Атомарный азот довольно устойчив, предостав-

ленный сам себе он медленно превращается в молекулярный.

Со этим атомарным азотом известно пока сравнительно немного. Химически он гораздо активнее обычного и, видимо, реакции с азотом ускорятся, если удастся разбить молекулу азота на атомы и удержать его в атомарном состоянии подольше.

Мы только начинаем постигать особенности этого очень тонкого процесса. И очень интересного, потому что, как справедливо пишут исследователи, «механизм биологической фиксации азота остается одной из наиболее важных нерешенных проблем химии».

В 1964 г. советские ученые М. Вольпин и А. Шилов (а позднее канадцы Аллен и Зеноф) разработали методы, позволяющие осуществлять фиксацию азота при комнатной температуре и нормальном давлении. Не вдаваясь в подробности (они сложны), отметим, что в присутствии соединений так называемых переходных металлов — титана, ванадия, хрома, молибдена, железа — азот проявляет довольно высокую способность к реакциям и образует продукты, разлагаемые водой до аммиака.

При определенных условиях можно получить и другое соединение азота — гидразин N_2H_4 . А гидразин — вещество весьма любопытное. По многим своим характеристикам он может соперничать с самыми лучшими видами ракетного топлива.

Очень перспективны и соединения азота с металлами — нитриды. В 1957 г. в США получен нитрид бора — боразон — продукт гораздо более прочный и термостойкий, чем алмаз. Правда, для этого потребовалось давление свыше 62 тысяч атмосфер, но зато боразон выдерживает температуру до 1200 градусов, тогда как алмаз горит при 871.

...Открытие кислорода вызвало споры. О приоритете в открытии азота никто не спорил: таким вялым и неинтересным казался этот «безжизненный» газ. Как тут не вспомнить Тита Лукреция Кара:

...Так обращение времен изменяет значенье предметов:
Что было раньше в цене, то лишается вовсе почета,
Следом другое растет, выходя из ничтожества к блеску.
День ото дня все сильней вожделеют его и находку
Славят его, и цветет оно дивным у смертных почетом.

СЛУЧАЙНОСТЬ ИЛИ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ?

Страницы биографии

Некоторые страницы его биографии читаются как уголовная хроника, как выдержки из досье преступника.

Первым в 1813 г. попытался его поймать Гемфри Дэви — великолепный знаток своего дела, человек опытный и предусмотрительный. Он был готов к неожиданностям и принял особые меры предосторожности. Не помогло. Преступник скрылся, причинив Дэви тяжелые внутренние повреждения. От этого удара Дэви так и не смог оправиться — долго болел и рано умер.

Попытку найти его и изолировать предприняли в 1836 г. братья Томас и Георг Нокс — оба крупные специалисты, члены ирландской Академии наук. Попытка кончилась трагически. Томас погиб, Георг на всю жизнь потерял трудоспособность.

Охотясь за ним, принял мученическую смерть француз из Нанси Жером Никлес. Поплатился жизнью бельгиец П. Лайет. Долгая и тяжелая болезнь подорвала силы Гсй-Люссака и Тенара...

Никакой другой химический элемент (даже хлор, даже радий) не может похвастаться такой биографией. Недаром Дэви и Ампер дали ему имя фтор, от греческого *φθόρος* — гибель, разрушение.

Но многие ученые с этим не согласились и по-прежнему называли его флуор, от латинского *fluo* — течь. Таким — текучим — его знали средневековые алхимики, вовсе не подозревавшие, что имеют дело с загадочным и опасным преступником.

Он и был вполне обычным — хранитель фтора, плавиковый шпат. Уже древние знали его и ценили за редкую способность снижать температуру плавления руды и шлака. Именно в этом качестве (под названием флуор) описал его легендарный алхимик Василий Валентин в конце XV в.

В 1530 г. о нем упоминает «отец металлургии» Агрикола в книге «Берманус, или диалог о металлургии». Агрикола тоже производит его название от латинского *fluo*, именуя его флуоритом, или флюсом.

В 1670 г. художник из Нюрнберга Шванхард заметил, что если налить серную кислоту в сосуд из плавикового шпата, при этом выделяются пузырьки какого-то газа, а поверхность стекла становится матовой. Пузырьки Шванхарда не интересовали — он знал, что любой воздух неуловим. Зато матовое стекло таило в себе блестящие возможности. Оно было красиво, на нем можно было делать рисунки и надписи. В 1725 г. Паули обнаружил, что для травления и гравировки стекла пригодна и другая смесь — плавикового шпата с дымящейся азотной кислотой.

В XVIII в. плавиковым шпатом заинтересовались известный химик А. С. Маргграф, затем Д. Пристли и К. Шееле. Действуя на флуорит серной кислотой, они получили новую кислоту, которую называли плавиковой. А. Ампер, пораженный сходством этой кислоты с соляной, высказал мысль, что она представляет собой соединение водорода с еще неизвестным элементом. Г. Дэви не смог обнаружить этот элемент, но характер его, как уже было сказано, он успел испытать на себе. Так неоткрытый элемент получил название.

В 1886 г. очередную попытку получить фтор предпринял французский химик Анри Муассан. Прежде чем взяться за работу, он долго и тщательно изучал опыт предшественников, пытаясь понять причины неудач. Изготовленный им U-образный сосуд был сделан из платины, электроды — из иридиево-платинового сплава, трубки — из меди. Процесс шел при температуре минус 23 градуса.

Но главное открытие, которое принесло ему успех, Муассан сделал случайно. Для получения фтора он решил провести электролиз безводной плавиковой кислоты. Видимо, в первых опытах кислота была не совсем чистой: содержала примесь так называемого кислого фтористого калия. Эксперимент прошел неожиданно спокойно: на аноде выделялся фтор, на катоде — водород.

О результатах Муассан сразу же сообщил парижской Академии наук. Известие было встречено с осторожностью: о поимке неуловимого элемента объявляли многие химики, и всякий раз сообщение оказывалось ложным. Для проверки решено было создать авторитетную комиссию. В нее вошли известные химики — Дебрэ, Фреми и Бертло.

Увы, опыт не удался. Но Муассан обладал трезвым умом и редкой выдержкой. Выслушав слова сочувствия и проводив коллег, он тщательно проанализировал весь

ход работы. Проверил и убедился, что свободная от примесей безводная плавиковая кислота не проводит ток. Следовательно, чтобы сделать ее пригодной для электролиза, нужны добавки. Так — теперь уже сознательно — Муассан снова пришел к фтористому калию.

Попутно он сделал еще одно важное наблюдение. Контакт с всеразрушающим фтором медь выдерживает лучше, чем сверхстойкая платина.

Последующие опыты убедили комиссию, что Муассан действительно получил фтор. Однако это не все. Теперь мы знаем, что получил он его едва ли не единственно возможным и, бесспорно, самым простым и эффективным способом. Сходным методом (электролизом расплавленного бифторида калия) получают фтор сейчас. И все наиболее ответственные детали аппаратуры по-прежнему делаются из меди. Не потому, что медь не окисляется фтором. Напротив, она окисляется быстро. Но образующийся при этом тонкий слой фтористой меди выполняет роль экрана: разрушить фтористую медь или проникнуть вглубь не может даже сам фтор.

Весь первый этап биографии нового элемента связан с именем Муассана. В 1897 г. Муассан (в сотрудничестве с Дьюаром) получил жидкий фтор, в 1903 г. — фтор в твердом состоянии. Наконец, он обнаружил и поразительное свойство фтора — высокую химическую активность при крайне низких температурах.

Муассан многое знал о фторе; может быть, больше, чем любой другой химик. Но одного и он не знал: как использовать фтор, что с ним делать. Соединения фтора — тот же плавиковый шпат, знаменитый криолит («ледяной камень») — применялись довольно широко. Однако свободный фтор до последнего времени практического значения не имел. Работы с ним велись нерегулярно и в ограниченных масштабах. Перелом произошел внезапно — в военные и послевоенные годы.

Вещество Джо

В истории фтора причудливо переплетены закономерности и случайности. Счастливая случайность — присутствие в плавиковой кислоте фтористого калия — определила успех Муассана.

Впрочем, его успех можно объяснить и иначе. Первая попытка получить фтор — 1813 г., опыты Муассана — 1883 — 1886 гг. Семьдесят лет химии шли к этой цели. Дэви работал с обычной плавиковой кислотой — и потерпел неудачу: кислота, содержащая хоть немного влаги, обладает сильнейшими разъедающими свойствами. Братья Нокс и Фреми брали для электролиза другие, еще менее подходящие соединения. Химики пробовали вытеснять фтор из фторидов с помощью активных элементов. Безуспешно. Фтор вообще нельзя вытеснить.

Работа с фтором требует особых предосторожностей. Резиновые перчатки и фартуки могут воспламениться. Соприкосновение фтора или плавиковой кислоты с кожей вызывает ожоги, вдыхание фтора — тяжелое воспаление, которое ведет к отеку легких и смерти. Фтор разрушает зубы и ногти, повышает хрупкость костей, ломкость сосудов. Это приводит к опасным и часто смертельным кровотечениям.

Муассан не только знал работы предшественников, но и был учеником Фреми. Надо ли удивляться, что ему удалось избежать многих и многих ошибок. Он работал с безводной плавиковой кислотой (она куда менее агрессивна), каждый его шаг был тщательно взвешен и продуман. Так выглядит на практике первая «случайность»...

В ходе работы над атомной бомбой надо было решить проблему разделения изотопов урана. Для этой цели выбрали одно из его летучих соединений — шестифтористый уран и использовали термодиффузионный способ разделения.

Можно спорить, было ли это решение единственно возможным. Существуют другие способы разделения, другие содержащие уран вещества. Но коль скоро за основу взяли фтористое соединение, исследователи неизбежно должны были столкнуться с проблемой защиты. Гексафторид урана необычайно агрессивен: он реагирует со всеми обычными материалами.

И снова случайность. Кто-то из атомщиков смутно помнил, что еще до войны в лаборатории одного из английских университетов испытывался поразительно инертный материал, который не вступал в реакции ни с чем, в том числе и с шестифтористым ураном. Кажется, он тоже имел отношение к фтору, что-то вроде фторированного углеводорода...

О веществах такого типа атомщики даже не слышали. Но все, что касалось атомной бомбы, автоматически становилось важным и секретным. Срочно были объявлены розыски специалистов по фтору. Найти их было нелегко: в Соединенных Штатах фтором занимались несколько человек (и несколько десятков — во всем мире). По имени одного из них, Дж. Х. Саймонса, фторуглеродам присвоили кодовое название — «вещество Джо».

Нельзя сказать, чтобы о «веществе Джо» раньше ничего не знали. К 1937 г. были довольно хорошо известны два фторуглерода: перфторметан (CF_4) и перфторэтан (C_2F_6). Читатель, сохранивший в памяти начала органической химии, без труда догадается, что новые вещества — прямые аналоги весьма обычных углеводородов — метана (CH_4) и этана (C_2H_6). Их так и получили, заменив атомы водорода фтором.

Каждый из этих продуктов по-своему замечателен. Перфторметан — едва ли не единственное органическое соединение, которое при нормальной температуре не вступает в реакцию с фтором. На нержавеющую сталь и вольфрам он действует только при температуре 1000 градусов; с окисью углерода он реагирует лишь при температуре вольтовой дуги. Перфторэтан успешно противостоит действию кислот, щелочей, хлора.

С сегодняшней точки зрения уже два первых фторуглерода не могли не привлечь внимания. Но промышленность тридцатых годов осталась к ним равнодушной. Особой нужды в таких материалах не было, а стоили они дорого (фунт фтора — 75 долларов). О существовании фторуглеродов знали только специалисты, далеко не каждая лаборатория могла ими похвастаться. Получать же фторуглероды с более высоким молекулярным весом даже не пытались: существовало твердое убеждение, что замена водорода в соединениях, содержащих больше трех атомов углерода, вообще невозможна.

В 1937 — 1939 гг. Саймонс и Блок разбили это утверждение. Им удалось получить целый ряд фторуглеродов нового типа — жидких, разработать методы их промышленного производства, изучить свойства.

Но подлинный интерес к фторуглеродам возник только тогда, когда выяснилось, что они нужны для атомной бомбы. И для военных целей вообще. В 1931 г. производство фтористых соединений в США едва превышало 5 тысяч тонн, в 1944-м оно достигло 53 тысяч. К тому времени

специалисты уже поняли, что всесокрушающей атаке фтора можно противопоставить только одно средство защиты — фторную броню.

Идея «фтор против фтора» остроумна. Однако само по себе это еще ничего не объясняет: ни огромный рост его производства в послевоенные годы, ни широчайший размах исследований, ни те большие ожидания, которые связываются с этим элементом.

В известной повести И. Ефремова «Сердце Змеи» земные, «кислородные» люди встретились с существами иного мира, фторного. Автор довольно убедительно обосновывает возможность существования такого мира. Правда, фтор, видимо (точных данных нет), менее распространен в природе, чем кислород. Но если есть гелиевые, углеродные и азотные звезды, то почему бы не быть фторной планете?

Фтор соединяется со всеми основными элементами, образующими живую природу (органогенами) — углеродом, водородом, азотом. Простейшее его соединение с водородом — фтористый водород — скорее напоминает воду и аммиак, чем HCl . У него высокая диэлектрическая постоянная, температура плавления — плюс 19 градусов (у HCl — минус 84), растворы многих неорганических веществ в жидкой HF поразительно похожи на их растворы в воде.

В общем, фантастическое допущение Ефремова не лишено смысла: кислород, действительно, можно заменить фтором. Но фтор — поразительный элемент. Им можно заменить и совсем другой, противоположный по свойствам элемент — водород, не зря в периодической системе они стоят один над другим. И если гипотеза Ефремова — пока чистая абстракция, ибо о мирах, где кислород заменен фтором, нам ничего не известно, то мир углеродно-фторный совершенно реален, и существует он на Земле.

Известно, что по богатству и многообразию своих производных углерод оставил далеко позади все остальные элементы, вместе взятые. Число химических соединений, не содержащих в своем составе C , исчисляется десятками тысяч, число соединений углерода превышает миллион. Не случайно химия углерода выделена в самостоятельную область, именуемую органической химией.

В принципе углеродные соединения могут включать самые различные элементы. Однако основу органической химии, ее костяк составляют вещества, в которых углерод

связан с водородом, углеводороды. И практически во всех соединениях такого типа водород можно заменить фтором.

А это значит, что на равных правах с органической химией возникает новая область знания — химия фторуглеродов. Область, границы которой беспредельно широки, ибо фторуглероды повторяют все основные типы органических соединений. Более того, в новой области могут существовать вещества, у которых в химии углеводородов нет аналогов вследствие их неустойчивости.

Но суть, конечно, не только в количестве. Органические соединения играют огромную роль в жизни человека, что обусловлено их высокой реактивной способностью. Это качество само по себе нельзя считать ни плохим, ни хорошим, все зависит от конкретных условий. Активность углеводородов оказывается достоинством, когда они используются как топливо и пища. И недостатком — когда они выступают как материалы: пластмассы, каучуки, красители и т. п. Уже обычное окисление их портит, а окисление энергичное — горение — приводит к полному уничтожению.

Фторуглеродам и их производным природа словно уготовила роль материалов. Они не окисляются, не горят и не поддерживают горения. Они устойчивы к действию самых энергичных химических веществ, включая кислоты и щелочи, расплавленные металлы и хлор. Бактерии и насекомые не могут употреблять их в пищу. Говоря словами Дж. Саймонса, «фторуглероды обладают как бы алмазным сердцем и шкурой носорога».

Вообще при описании фторуглеродов даже сдержанные, скупые на образы химики становятся поэтами. В предисловии к весьма серьезному двухтомному труду «Фтор и его соединения» о фторуглеродах сказано, что они применяются «в производстве стойких пластмасс, нестареющих смазочных масел, светостойчивых красителей, безвредных хладоносителей, мощных диэлектриков, эффективных катализаторов и других материалов, обладающих особо ценными свойствами...»

Не следует думать, однако, что все произошло само собой, по мановению волшебной палочки. Новое завоевывает себе признание в долгой и упорной борьбе. Фторуглероды — при всех их достоинствах — довольно дороги. Конечно, времена, когда фунт фтора стоил 75 долларов, давно ушли в прошлое, но и нынешняя цена 25 центов за фунт тоже достаточно высока. И если фторуглероды

так быстро и уверенно вошли в нашу сегодняшнюю жизнь, на то были свои причины — и закономерные, и случайные.

Мы живем в век научно-технической революции, в век колоссальных мощностей, сверхвысоких и сверхнизких температур, агрессивных сред, огромных давлений и вакуума. Этот век предъявляет жесткие требования к конструктивным материалам. Они должны быть прочны и негорючи, теплоустойчивы и не подвластны коррозии. «Современные самолеты и управляемые снаряды,— пишут авторы обзора по фторсодержащим соединениям Банкс и Хасцельдин,— были бы немыслимы без применения фторполимеров. На каждый новый самолет «Дуглас DC-8» расходуется около 13 килограммов фторсодержащих полимеров».

Интересно, что как раз фторполимеры были открыты случайно. Поэтому точнее и лучше говорить не «были открыты», а «открыли себя сами». Все началось с того, что из баллона с тетрафторэтиленом внезапно прекратилась подача газа. Когда баллон вскрыли, обнаружилось, что он заполнен белым порошком. Это и был политетрафторэтилен — полимер, который пользуется сейчас огромной популярностью.

Полимер тетрафторэтилена C_2F_{2n} (его называют обычно тефлон) — вещество из сказки, которое и в огне не горит, и в воде не тонет. Его кипятили в «царской водке», в кетонах*, спиртах и эфирах. Подвергали испытанию в расплавленной щелочи. Пробовали действовать на него кислородом и хлором, перекисью водорода и металлами. Только натрий — при высокой температуре — способен его разрушить.

В 1938 г., когда был обнаружен тефлон, получены — уже не случайно, а вполне целенаправленно — полимеры самого различного типа и назначения: твердые и жидкие, пластические массы, каучуки, смазочные материалы.

Известно, что обычные — карбоцепные — полимеры уже при небольшом нагревании размягчаются, а химическая стойкость их невелика. Фторсодержащие полимеры прочны, химически и термически устойчивы, почти не поглощают влаги, обладают высокими термоизоляционными способностями. Сейчас они применяются в атомной, авиационной, химической, электротехнической и других отраслях промышленности. Многие требования ракетной

* Органические соединения, характеризующиеся наличием в молекуле карбонильной группы CO.

техники могут удовлетворять только материалы, созданные на основе фторированных соединений.

Столь же необычными качествами обладают фторкаучуки, не содержащие атомов водорода. Они термостойки, эластичны при низких температурах, устойчивы ко всем разъедающим жидкостям. Смазочное масло этого типа, залитое в картер автомобиля, не надо менять — оно работает дольше, чем сама машина. На качествах фторуглеродной смазки основаны и многие рекорды лыжников — она резко уменьшает трение.

Не удивительно, что производство фторполимеров стремительно растет. В 1960 г. оно достигало, например, в США 320—360 тысяч тонн.

Подлинный переворот произвели соединения фтора (фреоны) в холодильной технике. Фреоны — вещества довольно сложные: кроме углерода и фтора, они содержат еще хлор, а иногда и водород. Казалось бы, при таком наборе они должны быть чрезвычайно ядовиты. Ничего подобного! Обладая превосходными термодинамическими свойствами, фреоны абсолютно безвредны. Если весь азот воздуха заменить фреоном, человек не заметит подмены: в этой атмосфере можно жить неограниченно долго. Фреоны совершенно не боятся огня: их широко используют при тушении пожаров.

Замечательными свойствами обладают водные эмульсии фторуглеродов. Они лучше растворяют кислород, чем натуральная кровь. Трудно поверить, но в опытах последних лет доказано: мыши, которых с головой погружали в эмульсию, спокойно дышали в ней, а потом продолжали жить в привычной воздушной атмосфере.

Частичная замена атомов водорода атомами фтора придает новые, часто неожиданные свойства таким сложным органическим соединениям, как лекарства. Анестезирующие средства, содержащие фтор, обладают ценнейшим качеством — отсутствием вредных последствий; Прооперированный больной просыпается как после обычного сна.

Особое значение приобрели фторуглероды в хирургии. Искусственные кровеносные сосуды из тефлона не только прочны, но и настолько безвредны, что их принимает организм. Вскоре после замены ткани организма прорастают в искусственные сосуды, и те фактически перестают быть чужеродными.

Сфера применения фторуглеродов постоянно расширяется: аэрозольные упаковки для распыления инсектици-

дов, красок, лаков, лекарств; трансформаторные жидкости; жидкие пленки, предотвращающие испарение бензина; пропитка для тканей и бумаги; добавки, придающие устойчивость красителям; катализаторы, магнитофонные ленты... Этот список можно продолжить. Но тут важен принцип. «Полимеры с высоким содержанием фтора,— подчеркивают авторы коллективного труда «Фтор и его соединения»,— имеют большие перспективы использования во всех областях, где применяются обычные полимеры. Они могут быть получены с любыми заранее заданными физическими и химическими свойствами, которыми не могут обладать углеводородные полимеры...»

Назад — к элементу

Это похоже на парадокс: самый агрессивный, самый разрушающий элемент оказался лучшей защитой от агрессии и разрушения. Исторически так сложилось, что широкое применение получили именно фторуглероды с их ярко выраженными защитными свойствами. На какое-то время отошел на второй план сам фтор — это олицетворение энергии, элемент, который называют самым активным и самым электроотрицательным, неприступным и неукротимым, элементом неожиданных реакций и необыкновенной судьбы.

Ясно, однако, что в наш стремительный век забвение не могло быть долгим. С начала шестидесятых годов фтор привлекает внимание исследователей. Проверяются сведения о его содержании в земной коре, уточняются его химические и физические свойства, выявляются области применения.

Еще недавно считали, например, что фтора в земной коре сравнительно мало — 0,027 процента, почти в два раза меньше, чем хлора (0,045 процента). Теперь называют совсем другие цифры — 0,08 и даже 0,1 процента. Значит, фтора куда больше, чем хлора, в 5 — 10 раз больше, чем цинка, и в 30 раз больше, чем свинца.

Геологам известно свыше ста фторсодержащих минералов. Но лишь немногие из них имеют промышленное значение. Это прежде всего криолит (Na_3AlF_6), где содержание фтора достигает 54,3 процента, и флюорит (CaF_2) — 48,7 процента.

Хотя за последние годы в мире найдено несколько новых месторождений криолита, он по-прежнему остается

экзотическим камнем, белоснежные глыбы которого встречаются почти исключительно в Гренландии. Гораздо обширнее география флюорита, или плавикового шпата. Шахтеры называют его «рудным цветком» — настолько он ярок и красочен. В этом камне сосредоточены цвета радуги: от нежно-фиолетового до салатного.

Флюорит залегает обычно сплошными массами. У нас в стране его месторождения обнаружены в Забайкалье и Средней Азии, в Ненецком национальном округе и предгорьях Тянь-Шаня. Крупные залежи флюорита есть в США, Англии и некоторых других странах.

Однако потребность в плавиковом шпате увеличивается. С 1948 по 1957 г. его добыча выросла вдвое и достигла 1,7 миллиона тонн. Это вынуждает присматриваться и к таким бедным фтором минералам, как апатиты и фосфориты (содержание 3 — 4 процента), запасы которых гораздо обширнее.

Серьезной проверке были подвергнуты и некоторые вроде бы твердо установленные константы. Обнаружилось, например, что плотность жидкого фтора вовсе не 1,11 (цифра, которая и сейчас встречается в книгах), а 1,513 — различие весьма существенное, одинаково важное и для теории, и для практики.

Но, конечно, с особым пристрастием вновь и вновь изучаются химические свойства фтора. Его атом имеет всего два электронных слоя: во внутреннем, как обычно, два электрона, во внешнем — семь. Стремление завершить октет внешнего слоя придает фтору ярко выраженные электроотрицательные свойства; в отличие от других галогенов фтор никогда не проявляет положительной валентности.

Отрицательный потенциал фтора максимален: выше, чем хлора, кислорода, даже озона. Сила эта так велика, что фтор взаимодействует почти со всеми веществами. Реакции обычно сопровождаются очень высоким тепловым эффектом — примерно вдвое большим, чем у кислорода.

Такие «спокойные» элементы, как йод, сера, бор, сурьма, свинец, кремний, соединяясь с фтором даже при обычной температуре, воспламеняются. С хлором фтор реагирует при нагревании, с кислородом — в электрическом разряде: единственная реакция фтора, которая идет с поглощением тепла. Очень неохотно реагирует с фтором азот, даже высокая температура не делает его покладистым.

Энергетический потенциал реакции соединения фтора с водородом чрезвычайно высок (выше, чем у гремучего газа). Поэтому можно думать, что процесс будет идти энергично, скорее всего со взрывом. Но нет. Фтор и водород, предоставленные сами себе, взаимодействуют очень медленно. Ход реакции, однако, мгновенно изменится, если вести ее в присутствии кварца. На его поверхности фтор и водород соединяются со взрывом даже при температуре жидкого воздуха.

К этой реакции давно присматриваются конструкторы реактивных двигателей, особенно двигателей мощных, рассчитанных на дальние космические полеты. Говорилось уже, что пара горючее — окислитель дает широкий выбор вариантов. Однако если в качестве топлива можно использовать самые различные вещества, то все окислители выбираются на основе двух элементов: кислорода и фтора.

По многим показателям фтор гораздо выгоднее кислорода. Во-первых, потому, что, как не раз подчеркивалось, почти со всеми элементами (кроме углерода) он реагирует гораздо энергичнее. А во-вторых, продукт его соединения с водородом — фтористый водород — по стойкости к диссоциации и термодинамическим свойствам значительно лучше воды.

Основной характеристикой ракетного двигателя принято считать удельный импульс*. Вот несколько его значений для типичных пар с кислородом: гидразин — перекись водорода — 260 секунд, аммиак — азотная кислота — 240; газолин — кислород — 265; гидразин — кислород — 280. Для фтора эти показатели существенно выше: аммиак — фтор — 305; диборан — фтор — 310; гидразин — фтор — 315; водород — фтор — 375 (по другим данным — 412).

Жидкий фтор имеет перед кислородом и еще одно преимущество. Его плотность — 1,51, почти в полтора раза выше, чем кислорода (1,13), а это значит, что баки с окислителем будут занимать меньше места.

Конечно, фтор имеет и недостатки. Во-первых, в отличие от кислорода он чрезвычайно токсичен (уже в концентрации 0,0008 мг/л фтор поражает дыхательные пути).

* Удельный импульс ракетного двигателя — отношение силы тяги к секунднему массовому расходу топлива. Измеряется в кг·с/кг, однако на практике его принято условно выражать в секундах.

Во-вторых, все с чем он соприкасается (баки, трубопроводы, камера сгорания), должно быть сделано из сверхстойких материалов.

Все эти трудности, однако, преодолимы. Известно, например, что атомная промышленность потребляет свободный фтор, как пишут в книгах, «в огромных количествах». Известны и фторводородные горелки, температура пламени в которых достигает 4500 градусов.

Понятно, что сведения о применении фтора в реактивных двигателях скупы и отрывочны. Тем не менее в печать просочились данные о том, что фирма «Норд Америкен» разработала и провела испытания двигателя, работающего на смеси жидкого фтора и жидкого водорода.

Вообще ракетная техника проявляет к фтору всевозрастающий интерес. Испытываются — в качестве окислителей — самые различные его соединения: окись — OF_2 , трифторид хлора — ClF_3 , перхлорилфторид — $FClO_3$, трехфтористый азот — NF_3 ...

Не меньшее внимание привлекают и защитные свойства соединений фтора. Гексафторид вольфрама работает на самом ответственном участке — им покрывают графитовые сопла реактивных двигателей. Высшие фторуглероды (воскоподобные вещества) используются в запорных устройствах как сальники и прокладки. Начинают применяться и новые полимеры, содержащие фтор и кремний...

За последние годы наука многое узнала о фторе. Но элемент этот все еще напоминает айсберг: то, что мы видим, лишь малая часть того, что пока скрыто от наблюдения. На основе миллиона (10^6) известных нам органических веществ можно построить 10^{12} соединений с участием фтора. Среди этих миллиона миллионов наверняка встретятся соединения с совершенно уникальными свойствами.

Интересны открытия последних лет. Во втором томе «Химической энциклопедии», вышедшем в 1962 г., сказано категорически: «Соединений с ионной и ковалентной связью инертные газы не дают». Буквально через несколько месяцев выяснилось, что это бесспорное, казалось бы, утверждение, весьма далеко от истины.

Возмутителем спокойствия — в который раз — стал фтор. Фтор — единственный элемент, способный разрушить прочнейший внешний слой электронов инертных газов. В результате этого были получены не только фториды криптона, ксенона, радона, но и их окислы, кислоты,

соли. Обнаружилось, что фториды инертных газов обладают сильнейшими окислительными свойствами. Скажем, контакт XeF_2 с метаном приводит к взрыву.

Пока мы знаем очень мало и о влиянии фтора на организм человека. Ясно лишь, что для нормальной жизнедеятельности он необходим. Он содержится в мышцах и зубной эмали человека, в перьях, волосах, копытах и рогах животных. Видимо, и к недостатку, и к избытку фтора организм чрезвычайно чувствителен.

...В тридцатых годах нашего века фтор был едва ли не просто символом, химическим значком в периодической системе. За последние сорок лет он открыт вторично. Это открытие, как пишут в статьях и книгах, «можно считать одним из чудес современной химии».

А пишут о нем необычайно много. «В настоящее время,— говорится в предисловии к английскому сборнику «Успехи химии фтора»,— количество оригинальных работ, публикуемых учеными всего мира по этим вопросам, достигло таких размеров, что положение в данной области химии меняется почти ежедневно».

Кто знает, какие еще новые и неожиданные идеи таит в себе подводная часть айсберга?..

ПУТЬ В ВЫСШЕЕ ОБЩЕСТВО

Логика открытия

Внешняя фабула этого открытия проста и четко очерчена во времени: инертные газы были открыты в 1892 — 1903 гг. двумя английскими учеными — Д. Рэлеем и У. Рамзаем.

Внутренний сюжет события гораздо сложнее и охватывает множество событий, как будто вовсе не связанных между собой. Появление спектрального анализа (1860 г.). Солнечное затмение 1868 г. Создание периодической системы элементов (1869 г.). Дискуссия между Прустом и Бертолле (1799 — 1808 гг.). Открытие радиоактивности (1896 г.). Разработка методов сжижения газов (1877 — 1900 гг.).

Со спектрального анализа и следует, видимо, начать. В 1860 г. появилась статья Г. Кирхгофа и Р. Бунзена

«Химический анализ с помощью наблюдений спектра». Опираясь на исследования Ньютона, Фраунгофера, Плутокера, Гершеля и других, авторы утверждали, что с помощью предлагаемого ими метода можно судить о составе любого предмета — лишь бы его свет достигал глаз наблюдателя. Этим способом можно, например, обнаружить присутствие незначительных количеств какого-либо вещества не только на Земле, но даже на Солнце.

Любопытное совпадение. Именно в эти годы получила распространение «позитивная философия» О. Конта, одним из центральных пунктов которой была мысль об ограниченных возможностях человеческого познания. В качестве примера того, чего мы никогда не узнаем, Конт называл химический состав небесных тел...

Философия — философией, а астрономы уже вели спор о природе солнечных протуберанцев — гигантских столбов раскаленных газов, выбрасываемых при взрыве. Солнечное затмение, которое ожидалось в 1868 г., давало прекрасную возможность проверить, кто прав в этом долгом и ожесточенном споре.

Ради этого стоило потрудиться. Известный французский астроном Жюль Жансен отправился в далекое путешествие — к восточному побережью Индии, где затмение должно было быть полным. Конечно, он вооружился и спектроскопом — новым прибором, который только начинал применяться.

Наблюдения прошли успешно, и в тот же день, 18 февраля, Жансен отправил в Париж первую телеграмму: «Наблюдалось затмение, протуберанцы, замечательный неожиданный спектр. Протуберанцы состоят из газов».

Затмение кончилось, но Жансен продолжал наблюдения. И на следующий день заметил в спектре короны наряду со знакомыми линиями водорода — синей, зелено-голубой и красной — очень яркую желтую линию.

Позднее он усомнился — сходную линию дает натрий. Но в тот момент Жансен решил: на Солнце обнаружен новый элемент. Свои наблюдения он описал в письме и отправил его по привычному адресу, в парижскую Академию наук.

Письмо шло долго и было доставлено только 24 октября 1868 г. В тот же день, несколькими часами раньше, академия получила письмо из Лондона, написанное английским астрономом Норманом Локьером.

Письмо Жаисена было раньше отправлено, письмо Локьера раньше прибыло... В общем, решено было оба письма рассматривать вместе. К счастью, спор о приоритете не возник: так поразили присутствующих и сама новость, и почти полная идентичность текстов: оба астронома сообщали об одном и том же.

Это означало, во-первых, что оба сообщения достоверны. А во-вторых, что спектральный анализ дал науке метод, позволяющий проникать в тайны космических тел. Событие огромной важности. И парижская Академия наук решает отметить его достойным образом. Была отчеканена медаль. На одной стороне — портреты Жансена и Локьера над скрещенными ветвями лавра; на другой — бог солнца Аполлон в колеснице, запряженной четверкой. По краю медали надпись: «Анализ солнечных выступов 1868 года».

На эту надпись стоит обратить внимание. Она свидетельствует, что медаль отчеканена в честь нового метода исследования, а отнюдь не нового элемента, само существование которого еще долго вызывало споры.

Сначала его принимали за натрий. Жансеи и Локьер доказали, что это неверно: линии спектра у них похожи, но не совпадают. К тому времени спектральный метод уже утвердился в правах, и стало ясно, что по спектрам можно так же различать элементы, как по национальным флагам — государства. Локьер предложил и название новому газу: гелий — солнечный.

Но, горячо возражая тем, кто отождествлял гелий с натрием, сам Локьер тоже не считал его элементом. Он был уверен, что это своеобразная — специфически солнечная — модификация водорода.

Кажется, итальянец Секки первым решился высказать смелую мысль, что гелий — новый элемент, которого не знают на Земле. словно в подтверждение небесной природы гелия его обнаружили в короне ряда звезд созвездия Орион и на белых неподвижных звездах. Но в 1882 г. другой итальянец — Пальмиери — сообщил об открытии гелия в вулканических газах (фумаролах). Сообщение было встречено молчанием — ему не поверили. Позднее было бесспорно доказано, что вулканические газы нередко содержат гелий. Тем не менее о приоритете Пальмиери до сих пор спорят — слишком много неясностей и противоречий в его описании.

На этом спорном открытии обрывается одна история. Начинается другая, связанная с работами Рэлея.

В 1890 г. известный английский физик Джон Уильям (Стретт) Рэлей занялся точным определением плотности и молекулярных весов некоторых газов. Случаю было угодно, чтобы работал он в лаборатории Кембриджского университета, носящей имя Кавендиша. Впрочем, это совпадение отметили позднее: сам Рэлей не подозревал, что его опыты как-то пересекутся с опытами Кавендиша.

Рэлей — опытный и изобретательный экспериментатор. Он усовершенствовал технику измерений, снизив возможную погрешность опыта до сотых долей процента. Это давало ему уверенность, что найденные им значения будут особенно точны и войдут в справочники. Чтобы избежать случайных ошибок, Рэлей пользовался системой взаимопроверок. Суть ее в том, что газ он получал из разных источников, для каждой порции проводил измерения отдельно, а полученные результаты сравнивал. Согласно закону Пруста, данные эти должны совпадать, ибо состав и характеристики вещества не зависят от того, кем, когда и каким способом оно получено.

Рэлей определил плотность водорода, затем кислорода и перешел к азоту. И тут начались неприятности. Азот, взятый из воздуха, весил больше, чем химический, полученный из азотистокислого аммония. Нисколько не удивившись (он предполагал, что ошибки неизбежны), Рэлей спокойно и терпеливо повторил опыты. Результат был тот же.

Снова и снова он повторял измерения: результат не менялся. Выявилась даже некоторая закономерность. Литр воздушного азота весил 1,2521 грамма; литр химического (полученного из закиси и окиси азота, селитры, мочевины и аммиака) — 1,2505. Разница была не столь велика, но явно выходила за пределы допустимых погрешностей.

Последовательно перебрав и отбросив все возможные объяснения, Рэлей вынужден был признать, что найти разгадку он не в состоянии. Тогда он направил в редакцию популярного в научных кругах Англии журнала «Nature» письмо, где говорилось, в частности: «Я очень удивлен недавними результатами определения плотности азота и буду признателен, если кто-нибудь из читателей сможет указать причину».

Объяснений не последовало. Химики (па них особенно рассчитывал Рэлей) либо не заинтересовались проблемой, либо не знали ответа. Не знал его и физик Уильям

Рамзай. Все, что он мог, это предложить Рэлею свое сотрудничество.

Рэлей охотно согласился. А поскольку оба они жили в Лондоне и принадлежали к одному кругу, то стали часто встречаться и обсуждать положение. Во время одной из таких бесед у Рамзая возникла идея: а что если в азоте воздуха присутствует примесь неизвестного газа? Развивая эту мысль, он уточнил: газ должен быть тяжелее азота и отличаться неуловимостью — иначе он давно был бы обнаружен.

Идея была не просто смелая, смелая до дерзости. С 1789 г., когда Лавуазье провел свои блестящие опыты, воздух изучали сотни исследователей. И ни один из них не обнаружил ничего нового.

Все это Рэлей, разумеется, знал. Но с обычной своей деликатностью он сказал, что предположение вероятно. Во всяком случае это пока единственное логичное объяснение фактов, которыми они располагают.

И тут Д. Дьюар — ученый, к личности которого мы еще вернемся, — обратил внимание Рэрея на забытый опыт Кавендиша. Рэлей и Рамзай с жадным интересом вчитывались в пожелтевшие страницы старого лабораторного журнала. Скупое и точно Кавендиш фиксировал факты. Год 1785-й. При пропускании через смесь воздуха с водородом электрических разрядов обнаружены окислы азота. Для поглощения окислов использована щелочь; для удаления избытка кислорода — раствор серной печени*. Установлено, что часть воздуха, составляющая примерно $1/120$ первоначального объема, не сгорает, не окисляется и обычно применяемыми для этой цели веществами не поглощается... Это был ориентир.

Рэлей и Рамзай выработали четкий план действий. Каждый в своей лаборатории будет пытаться выделить из воздуха скрытую часть, пользуясь тем методом, который он сочтет подходящим. Результатами коллеги будут обмениваться через посыльного.

Рэлей решил повторить опыты Кавендиша. Но просто повторять их было нелепо, прошло сто лет. Поэтому скромный воздушный колокол Кавендиша был заменен 50-литровой машиной, а ручная электрофорная машина —

* Серная печень — продукт, получаемый при сплавлении поташа и серы, состоит главным образом из K_2S_2 и сернокислого калия.

трансформатором на 6 тысяч вольт, посылавшим в азотно-кислородную смесь сноп электрических искр.

Специальная турбина, помещенная внутри колокола, разбрызгивала щелочь, ускоряя и без того интенсивный процесс поглощения бурных паров окиси азота и возможных примесей углекислоты. Оставшаяся часть газа пропусклась через фарфоровую трубку с медными опилками, чтобы вывести из игры случайно сохранившийся кислород.

Опыт длился несколько дней. Но Рэлея это не смущало. Он спокойно работал в библиотеке, куда провел телефонную линию из лаборатории. Вслушиваясь в мягкое гудение трансформатора, Рэлей следил за ходом опыта.

Рамзай выбрал другой путь. Он решил связать азот, пользуясь изобретенным им самим методом поглощения, основанным на реакции между азотом и раскаленным магнием. Образующийся при этом нитрид магния — твердое вещество, что значительно упрощает задачу.

Многokrатно пропуская азот через аппарат с нагретым магнием, Рамзай отметил момент (на это ушло десять дней), когда объем газа перестал уменьшаться. Затем — с помощью той же меди — он удалил примесь кислорода. Теперь можно было надеяться, что в аппарате остался лишь искомый газ.

Об этом свидетельствовали и косвенные данные. На протяжении всего опыта Рамзай регулярно измерял плотность газа (по водороду). Вначале она была близка к 14, к концу опыта превысила 19. К тому моменту Рамзай уже располагал довольно солидным запасом неизвестного газа: около 100 кубических сантиметров.

Конечно, в методике Рамзая было слабое место. Если бы искомый газ реагировал с магнием, из опыта ничего не вышло бы. Но Рамзай считал, что это маловероятно: будь газ активным, его давно обнаружили бы многочисленные исследователи.

Итак, незнакомца удалось задержать. Но личность его по-прежнему оставалась загадкой. Было известно только, что он в полтора раза тяжелее азота и составляет примерно $1/80$ часть объема воздуха. Что это: вещество, смесь или все тот же азот, только модифицированный, вроде озона?

В попытке ответить на эти вопросы ученые испробовали все, что только возможно. Новый газ пытались

соединять с фтором и хлором, с металлами и щелочами, нагревать и сжимать. Газ никак на это не реагировал, сохраняя полнейшее равнодушие.

Пришлось снова вернуться к физическим методам. Тут сразу же были получены интересные результаты. С помощью акустических измерений Рамзай доказал, что молекула газа состоит из одного атома. Полная неожиданность, ибо одноатомные газы в устойчивом состоянии не встречались. Это был и ответ на главный вопрос: вещество или элемент? Разумеется, элемент, ведь соединение явно не может состоять из одного атома.

Интересным оказался и спектр нового элемента: характерные оранжевые, синие и зеленые линии отличали его от всех известных газов. Когда за дело взялся Крукс — один из виднейших спектроскопистов того времени, — картина еще усложнилась: в спектре нового газа он насчитал около двухсот линий.

7 августа 1894 г. Рэлей и Рамзай выступили в Оксфорде с первым публичным сообщением об открытии. Крупнейшие ученые Англии с изумлением и недоверием выслушали диковинные вещи. Оказывается, в зале, где они сидят, имеются десятки килограммов неизвестного газа, который настолько ленив и бездеятелен, что не желает вступать в реакции ни с одним соединением; газ этот тяжелее азота и кислорода, молекула его состоит из одного атома...

Сообщение встретили долгим и тягостным молчанием. Чтобы как-то снять неловкость, председатель, доктор Мендан, предложил назвать элемент аргоном (от греческого *argos* — ленивый, безразличный). На том и порешили. Добрая половина присутствующих сразу же кинулась в лаборатории, чтобы проверить и опровергнуть. Но вместо опровержений последовали признания: опыты заняли всего несколько дней. А потом пришло сообщение из Кракова: польский ученый Ольшевский получил жидкий аргон и определил его критические постоянные.

Итак, новый элемент был признан. Однако сами авторы открытия чувствовали себя неуютно. Аргон как бы висел в воздухе: он не имел аналогов, для него не было места в периодической системе. Его примерный атомный вес 39 указывал ему место где-то между хлором (35,45) и калием (39,1) или калием и кальцием (40,08). Но на этом участке таблицы все клетки были заполнены. Да и какое место в системе химических элементов можно

было отвести веществу, начисто лишенному химическим свойствам?..

В то время на этот вопрос решился бы ответить только один человек. Но голос этого человека не был слышен. Известный революционер, народополец Н. А. Морозов был заточен сначала в Петропавловскую, а затем в Шлиссельбургскую крепость. Здесь он пробыл почти 25 лет.

Все это время он работал. Когда в 1905 г. он вышел на свободу, то в следующие четыре года опубликовал около 60 статей и книг — это был итог 25 лет труда.

Преклоняясь перед силой человеческого духа, надо быть, однако, осторожным в оценках самих работ. Изоляция от общего движения человеческой мысли никому не идет на пользу. В книгах и статьях Морозова много странного, наивного и просто ошибочного. Но как раз его химические идеи до сих пор привлекают внимание.

В начале восьмидесятых годов Морозов приступил к работе над книгой «Периодические системы строения вещества», где высказал спорную, но очень интересную мысль о том, что периодическая система Д. И. Менделеева — лишь частный случай периодических систем, охватывающих широкий круг самых различных природных явлений.

Сравнивая составленную им таблицу органических веществ с таблицей Менделеева, Морозов пришел к поразительным выводам. Поскольку, утверждал он, в органической химии переход от одного типа соединений к другому, с противоположными свойствами, совершается через посредство веществ инертных, то и в системе Менделеева переход от активнейших неметаллов (фтор, хлор и др.) к типичным металлам (литий, натрий, калий и т. д.) должен проходить как бы через нулевую линию — группу элементов с пассивными химическими свойствами.

Морозов предсказал, что инертные элементы окажутся газами, и поразительно точно обозначил их атомные веса: 4, 20, 40, 82.

Книга Н. А. Морозова вышла из печати в 1905 г. и, следовательно, прямого отношения к открытиям не имела. Но это тот случай, когда отступление от сюжета диктуется соображениями не литературы, а жизни.

Между тем события развивались своим чередом. В январе 1895 г. английский минералог Г. Майерс, слушавший сообщение Рэлея и Рамзая, направил последнему письмо, в котором советовал обратить внимание на статью амери-

канского химика В. Гиллебранда, опубликованную в геологическом журнале.

За несколько лет до этого Гиллебранд, проводя исследование газа, выделенного из уранита, пришел к выводу, что количество газа в минерале зависит от содержания урана. Самим газом Гиллебранд не очень интересовался, решив, что это азот. Теперь, однако, Майерс усомнился: а вдруг аргон?

Рамзай тут же послал помощника на поиски. Уранита в Лондоне не нашлось, но помощник приобрел несколько граммов другого редкого минерала — клевеита, о котором было известно, что из него тоже выделяется «азот».

С этим ничтожным количеством Рамзай и начал свои знаменитые опыты. Он долго кипятил клевеит в разбавленной серной кислоте и получил около 20 кубических сантиметров бесцветного газа. Осторожно «перелил» газ в трубку, ввел в нее платиновые проволочки и концы запалял. Пропустив ток, Рамзай убедился, что газ светится — это давало возможность наблюдать его спектр.

С удовлетворением Рамзай обнаружил уже привычные для него синюю, оранжевую и зеленую линии — «национальный флаг» аргона. Но рядом с ними отчетливо выделялась блестящая желтая полоса, похожая на линию натрия, но заметно отличающаяся от нее. «Со стыдом должен сознаться,— писал Рамзай впоследствии,— что я разобрал мой спектроскоп, так как предполагал скорее его неисправность, чем присутствие нового газа».

Это, впрочем, была не единственная его ошибка. В-первых, довольно скоро выяснилось, что в клевеите нет аргона — он попал в трубку из воздуха из-за погрешностей опыта. Во-вторых, Рамзай решил, что открыл совершенно новый газ и даже поторопился дать ему название — криптон (скрытый, секретный).

Не очень доверяя, однако, своим талантам спектроскописта, Рамзай отослал трубку Круксу. В тот же вечер Крукс произвел анализ и утром дал телеграмму. Текст ее гласил: «Криптон есть гелий точка приезжайте посмотреть точка». Это был тот самый гелий, что в 1868 г. открыли на Солнце Жайсен и Локьер...

Когда Рамзай приехал, Крукс продемонстрировал ему целый набор линий: кроме великолепной sdвоенной желтой, были и другие — красные, синие, фиолетовые. «Флаг» гелия был тоже не прост.

Любопытно, что Гиллебранд, анализируя спектрограмму неизвестного газа, тоже видел линию гелия. Но сообщить об этом он не решился. Печальный пример того, как отсутствие смелости мешает ученому сделать крупнейшее научное открытие.

Рамзай не боялся ответственности. Уже 23 марта 1895 г. он послал сообщение в английскую и французскую Академии наук. Это было сделано своевременно: через две недели аналогичное сообщение поступило от шведского химика Лангле.

Теперь уже два элемента — аргон и гелий — оказались не у дел, им не было места в периодической системе. Рамзай, горячий поклонник Менделеева, не мог с этим примириться. «Не кажется ли Вам,— писал он Рэлею,— что есть место для газообразных элементов в конце первой колонны периодической системы, то есть между галогенами и щелочными металлами?»

В 1897 г., выступая на научном собрании в Торонто с докладом «Неизвестный газ», Рамзай, пользуясь, как он выразился, «испытанным методом нашего учителя Менделеева», решился предсказать свойства еще одного неизвестного газа: плотность — около 10, атомный вес — 20.

Впрочем, двумя годами раньше Лекок де Буабодрай предсказал атомные веса сразу трех неизвестных газов, да еще с точностью до четвертого знака: 20,0945; 84,01; 132,71. Сам Менделеев на это никогда не решился бы...

Оставалось проверить предсказания — найти новый газ. Рамзай последовательно перебрал наиболее вероятные источники: минералы, выходы газа, даже метеориты. Безрезультатно. И тогда он обратился к старому и проверенному объекту — воздуху.

Было ясно, что обычный анализ ничего не даст, нужны новые методы. К тому времени техника глубокого охлаждения достигла довольно высокого уровня, а помощник Рамзая Траверс настолько усовершенствовал процесс, что экспериментаторы располагали практически неограниченными запасами жидкого воздуха и могли при желании получить жидкий водород.

Искомый газ, полагал Рамзай, есть нечто среднее между аргоном и гелием, но ближе к гелию. Поскольку добиться сжижения гелия не удавалось, то проще всего было действовать методом исключения, последовательно сжижая («выводя из игры») прочие газы воздуха. Когда

остаток собрали, поместили в разрядную трубку и дали ток, трубка вспыхнула ярким огненным светом. В блистательном спектре отчетливо выделялись красные, оранжевые, желтые и зеленые линии (потом их насчитали несколько сот). Автором знакомого нам названия «неон» стал 12-летний сын Рамзая: пораженный его красотой, он воскликнул (конечно, по-английски): «Новый!». Это уж потом название перевели на греческий...

Собственно, неон был уже четвертым газом семейства инертных. До него, пытаясь выделить из воздуха гелий, Рамзай случайно обнаружил еще один газ. Вспомнив свою оплошность с гелием, Рамзай дал ему освободившееся имя — криптон.

Тем же приемом исключения был получен и еще один инертный газ. Только теперь поиски велись в обратном порядке: из жидкого воздуха последовательно удаляли неон, кислород, азот, аргон. Осталась самая низкокипящая фракция — неочищенный, или сырой, криптон. После того как его откачали, в сосуде обнаружили пузырек газа (0,2 кубического сантиметра). Он излучал непривычный голубой свет и давал особый спектр — с линиями от оранжевого до фиолетового. Он совсем не был похож на криптон, и в его массе казался чужим, посторонним. Его так и называли ксенон — странный, чужой, необычный.

Автор одной старой книги по истории химии сравнил Рамзая с золотоискателем, которому повезло, — он напал на богатую жилу. Если и так, в разработку этой жилы Рамзай вложил колоссальный труд и поистине ювелирное искусство. Ксенон — чрезвычайно редкий газ: его содержание в воздухе не превышает по объему двух миллионных долей процента. Рамзай сумел доказать его индивидуальность, располагая всего 0,2 кубического сантиметра газа; определить физические свойства — по 4 кубикам. Всего же за два года он сумел получить менее 300 кубических сантиметров ксенона. Для этого ему пришлось переработать 77,5 миллиона литров воздуха. Ни мало и ни много — почти полных 100 тонн!

Широко известно, что Дмитрий Иванович Менделеев отнесся к инертным газам с недоверием, полагая, что им нет места в периодической системе. Гораздо менее известно другое. В феврале 1869 г., готовя к печати первое сообщение о своем открытии, Менделеев составил множество таблиц. Среди них — совершенно особую, где элементы расположены не просто по величине атомного веса,

а двумя столицами: в левом — нечетноатомные, в правом — четноатомные.

Закономерности в нарастании атомных весов Менделеев определял тут не подряд для всех элементов, а для каждого столбца отдельно. В результате он обнаружил нехватку по крайней мере трех элементов в правом столбце: X-20 (между фтором и натрием); X-36 (между хлором и калием); X-2 (между водородом и литием). Легко догадаться, что это и есть еще не открытые тогда гелий, неон и аргон.

Однако Менделеев был в тот момент так увлечен основной идеей, что частности его не интересовали. А потом он забыл о своем открытии. И забыл столь прочно, что только 16 марта 1900 г. — при встрече в Лондоне — Рамзаю удалось убедить его в реальности новых элементов. Решено было образовать для них особую, нулевую группу. В 1903 г., при подготовке к печати седьмого издания «Основ химии», Менделеев, наконец, включил в таблицу инертные газы.

И сразу же стало очевидно, что в группе не хватает последнего, завершающего период элемента. Предсказать его свойства было нетрудно: газ, очень тяжелый, сжижающийся при относительно высокой температуре. Искали его упорно и долго, пользуясь проверенными, хорошо отработанными методами.

Открытие пришло, однако, со стороны. С момента, когда Антуан Анри Беккерель открыл радиоактивность, многие физики занялись исследованием этого нового и необычного явления. В 1900 г. Резерфорд обнаружил, что распад тория, радия и актиния сопровождается истечением неизвестных газов.

Сообщением заинтересовались Рамзай и Содди. В их распоряжении была ничтожная крупинка бромистого радия — меньше булавочной головки. Но Рамзай построил сверхчувствительные весы, позволяющие взвешивать с точностью до четырех миллиардных долей грамма. Оказалось, что этого недостаточно. И тогда Рамзай увеличил их чувствительность еще в 10 раз.

В конце концов Рамзай и Содди сумели изолировать газ — 0,1 кубического миллиметра. Работая с этим количеством, они сумели выяснить все его основные характеристики: одноатомный, химически недействительный, тяжелый, сжижающийся при высокой температуре... Это и был последний член нулевой группы.

Рамзай дал ему имя нитоп. Резерфорд и Дорн, Гизель и Дебьерн, открывшие его примерно в то же время, называли его по-разному: эманация тория, радия, актиния. Через несколько лет стало ясно, что все это — изотопы одного элемента. В 1923 г. Международный комитет по химическим элементам установил для последнего инертного газа окончательное название — радон.

Ксенон — очень редкий газ: при нормальных условиях 1000 кубических метров воздуха содержат лишь 87 кубических сантиметров ксенона. Чтобы дать представление об этом числе, обычно приводят такой пример. Если бы молекулы воздуха были видимы и проходили перед наблюдателем по одной в секунду, то молекула аргона появлялась бы перед ним каждые две минуты, криптона — раз в 8 месяцев, ксенона — по прошествии 5—6 лет.

При всем том абсолютное количество ксенона в атмосфере огромно. Чтобы загрузить им железнодорожные цистерны, понадобился бы состав длиной в 80 земных экваторов. Если бы поезд отправился в путь со скоростью 90 километров в час, то открытия шлагбаума пришлось бы ждать полных четыре года.

Содержание радона в земной атмосфере — $6 \cdot 10^{-18}$. Это, разумеется, еще меньше. Но насколько меньше? Тут можно обойтись без цистерн и шлагбаумов. Весь радон земной атмосферы свободно уместится в пивной бутылке на 230 литров. А весить он будет немногим более двух килограммов, примерно столько, сколько один том Большой Советской Энциклопедии.

Сплошная физика

Инертные газы не случайно открыты поздно. Они начисто лишены цвета, запаха и вкуса. Они не вступают в обычные реакции. Очень долго, исчерпав весь арсенал химических средств, химики занимались, в сущности, физикой: изучали строение атомов элементов нулевой группы, измеряли плотность и критическую температуру, температуру кипения и критическое давление.

Надо сказать, что инертные газы чрезвычайно интересны. Атомы всех элементов группы — от гелия до радона — построены удивительно симметрично. Их электронные конфигурации предельно замкнуты и максимально прочны.

Обычно прочность связей между внешним электроном и атомом измеряют ионизационным потенциалом. Его величина дает представление об энергии, которую надо затратить, чтобы оторвать электрон от атома. У инертных газов потенциал выше, чем у любого другого химического элемента. Поэтому атом гелия несравненно прочнее, например, устойчивой молекулы водорода или азота.

С точки зрения энергетической атому инертного газа просто невыгодно вступать в реакции. Чтобы оторвать электрон от атома и построить химическое соединение, надо вложить в операцию сотни килокалорий энергии на моль. А такой избыток энергии разрушает молекулу, как бы взрывая ее изнутри.

Обладая почти одинаковыми химическими свойствами, инертные газы во всем остальном совсем не похожи между собой. Это понятно: в периодической системе их отделяют друг от друга целые периоды. Если атом гелия имеет два электрона, то атом ксенона — 54, радона — 86.

Гелий — газ очень легкий и превосходно проводит тепло. Криптон, ксенон и радон — самые тяжелые из газов и обладают минимальной теплопроводностью. Теплота испарения ксенона почти в 150 раз больше, чем гелия. Критическая температура гелия (минус 267,9 градуса) близка к абсолютному нулю, критическая температура радона — плюс 104,5 градуса...

В свое время английский юмористический журнал «Панч» откликнулся на открытие гелия забавной карикатурой. Гелий — житель Солнца, узнав об этом событии, восклицает: «Ну наконец-то они нашли меня и на Земле! Это длилось достаточно долго! Сколько же времени пройдет, пока они догадаются, что со мной делать!» Догадаться было нетрудно: уж очень выразительны свойства инертных газов. Проблема состояла в другом: на протяжении многих лет их называли не только инертными, но и редкими. Казалось невероятным, что редкие элементы удастся получить в таких количествах и по такой цене, которые позволяют использовать их в сколько-нибудь широких промышленных масштабах.

Гелиевый дирижабль над Лондоном был первым свидетельством того, что невозможное — возможно. Страны Антанты, вступившие в первую мировую войну с запасом гелия... 2 кубических метра, уже к концу войны располагали сотнями тысяч кубометров. В 1959 г. в США работало пять гелиевых заводов производительностью 17 мил-

лионов кубометров. Крупные источники гелия есть и в нашей стране. Гелий у нас получают из газов «сухих» месторождений и попутных нефтяных газов. Гелий добывают сейчас во Франции, Англии, Бельгии и других странах.

Вообще термин «редкий» оказался не очень удачным. Радон, действительно, редчайший газ. С полным основанием могут быть названы редкими криптон и ксенон, хотя по абсолютной величине запасы их в атмосфере (соответственно 16,5 и 2,2 миллиарда тонн) достаточны, чтобы обеспечить потребности человечества на неопределенно долгий срок.

Что касается остальных элементов нулевой группы, то возможности их получения практически неограниченны, стоимость невелика и продолжает снижаться. Это особенно верно для аргона, который уже сейчас производится в десятках миллионов кубометров, и добыча его стремительно растет. Например, с 1951 по 1959 г. выпуск аргона в Советском Союзе увеличился в 10 раз, а за последние годы — более чем в 100 раз.

Тут надо иметь в виду любопытную тонкость. Инертные газы, как правило, не вступают в соединения и потому, как бы их не использовали, возрождаются и вновь попадают в воздух. Следовательно, запасы их не истощаются.

Совсем по-иному рисуется теперь и сфера применения. Гелий сохранил свое положение основного средства воздухоплавания. Неуправляемые и привязные аэростаты, шары для метеорологических зондов, многочисленные конструкции дирижаблей (пока они, правда, существуют лишь в проектах) — все это гелий. Он привлекает и водолазов: искусственный воздух, где азот заменен гелием, резко снижает опасность кессонной болезни. «Гелиевый воздух» врачи рекомендуют больным: он весит гораздо меньше обычного и им легче дышать.

Но основной потребитель гелия — металлургия, машиностроение, атомная и ракетная техника, авиация, морской флот. Естественно, далеко не все здесь стало достоянием гласности. Однако и то, что мы знаем, звучит внушительно.

В атмосфере гелия ведут электродуговую сварку и наплавку многих металлов. Например, на московском трубном заводе с 1959 г. трубы большого диаметра изготавливают сваркой в среде гелия. Эта же среда необходима для извлечения титана из руд, ибо расплавленный металл

активно взаимодействует с газами атмосферы — кислородом, азотом, двуокисью углерода.

В ракетах и управляемых снарядах сжатый гелий выполняет функции «толкателя» — подает топливо в камеру сгорания. Гелием гасят опасные пожары; в его атмосфере сушат взрывчатые вещества; консервируют пищевые продукты. Он незаменим при некоторых наиболее деликатных операциях в атомной технике.

Основная часть ламп накаливания заполнена аргоном (обычно в смеси с азотом). Еще лучше, однако, криптоно-ксеноновая смесь. Ее применение увеличивает световую отдачу на 25 — 30 процентов. Аргон находит применение в металлургии и металлообработке. Все большее распространение, в частности, получает аргонно-дуговая сварка.

Неповторимый облик современному городу придает прежде всего неон. Оранжево-красный свет неона — основной цвет рекламы. Его разбавляют другими цветами: голубым — ксенона, голубовато-зеленым — криптона, гаммой — от голубого до фиолетового — ртути...

Неон выполняет и особые функции. Он используется в электровакуумной и полупроводниковой технике, в сигнальных устройствах. Неоновый свет — свет маяков. Он далеко виден даже в тумане.

Применение радона ограничено почти исключительно лабораторией. Но свойства его уникальны — самый редкий, самый рассеянный, самый тяжелый, самый токсичный, самый дорогой из газов, созданных природой. Впрочем, в последнее время он находит и практическое применение: ничтожные его дозы определяют лечебное действие радоновых ванн.

Интересно, что все инертные газы действуют на человека как наркотики. В смеси с кислородом они вызывают опьянение более сильное, чем алкоголь. Аргон погружает человека в глубокий наркотический сон при давлении в 11 атмосфер, криптон — при 3,5 атмосферы, ксенон — при давлении ниже атмосферного.

Но как ни велико промышленное значение инертных газов, еще важнее, пожалуй, та роль, которую они сыграли в постижении глубинных тайн материи, в открытии новых, совершенно неожиданных ее свойств.

В стране ультраполярных температур

Уже в глубокой древности человек обнаружил, что агрегатное состояние вещества зависит от внешних условий. Превращение воды в лед и пар — не только наглядный, но жизненно важный тому пример. В общем виде эту зависимость сформулировал А. Лавуазье. Впервые газ (аммиак) был сжижен в 1792 г. голландским физиком М. ван Марумом, затем М. Фарадей, начиная с 1823 г., перевел в жидкое состояние хлор, сернистый и углекислый газы.

Это было сравнительно просто — промежуточные газы сжижаются при не столь уж низкой температуре. Чтобы перевести в жидкое состояние истинные газы, потребовалось более 50 лет. Только в 1877 г. Р. Пикте и Л. Кальете получили жидкий кислород и жидкий азот. И лишь в 1895 г. сжижение воздуха в промышленных масштабах осуществил немецкий инженер К. Линде.

Именно эти работы — исходная точка пути, который подвел к абсолютному нулю. Кальете помог случай. Он работал с ацетиленом, стремясь перевести его в жидкое состояние с помощью высокого (до 60 атмосфер) давления. Однако при 50 атмосферах аппаратура дала течь, и сжижаемый газ стал просачиваться наружу. Внимательно наблюдая за толстостенным стеклянным сосудом, Кальете успел заметить, что в сосуде мелькнуло и мгновенно исчезло легкое облачко. Столь же мгновенно возникла и осталась мысль: облачко — результат резкого охлаждения, вызванного падением давления.

Кальете решил не спешить с выводами. Облако могло появиться и случайно, при конденсации паров воды. Он повторил опыт с абсолютно сухим ацетиленом, на сей раз сознательно вызвав утечку. И снова увидел облачко. Случайная мысль сформировалась в идею: на этом эффекте (его называют дросселированием, или эффектом Джоуля — Томсона) можно построить новый метод сжижения газов.

Кальете попробовал таким способом охладить кислород и получил ясно видимое облако. Сообщение было передано парижской Академии наук и прочитано на заседании 24 декабря 1877 г. Сразу вслед за тем, однако,

секретарь академии М. Дюма огласил телеграмму из Женева: «Сегодня получен жидкий кислород при давлении 320 атмосфер и температуре минус 140 градусов Цельсия, достигнутой с помощью сернистой и угольной кислот. Рауль Пикте».

Пикте шел совсем иной дорогой. Он осуществлял сжижение в несколько этапов. Каждый последующий газ он охлаждал с помощью предыдущего. Метод, получивший впоследствии название каскадного.

Между тем, продолжая опыты, Кальете 31 декабря получил жидкий азот. Так в течение недели была взята приступом первая твердыня холода.

Любопытно, что холодильный аппарат, использующий, в сущности, тот же эффект, был запатентован Сименсом еще в 1857 г. Никому, однако, не пришло в голову, что облачко Кальете имеет что-то общее с поршневой холодильной машиной Сименса...

В первой половине XIX в. многие сомневались, что сжижение постоянных газов вообще возможно. Майкл Фарадей, пытавшийся применить свой метод к кислороду, азоту и водороду, не обнаружил ни малейших признаков сжижения. Эме погружал цилиндры с этими газами на глубину в милю, где давление достигает почти 200 атмосфер. Газ остался газом. В 1844 г. венский врач Наттерер разработал и вместе с прославленным механиком Крафтом построил компрессор, развивавший давление в 3 тысячи атмосфер. Он-то и доказал, что даже при этом — неслыханном в те годы — давлении кислород не сжижается.

В шестидесятых — семидесятых годах XIX в. француз Шарль Каньяр де ла Тур, ирландец Томас Эндрюс и поляк Зигмунд Вроблевский ввели понятие критической температуры. С того времени (а особенно после успеха Пикте и Кальете) пессимизм сменился безудержным оптимизмом. Казалось, по той же — однажды отработанной — схеме легко удастся перевести в жидкое состояние любой, самый непокорный газ.

Скоро, однако, выяснилось, что кроме правил бывают и исключения. Большинство газов при расширении действительно охлаждаются. Но водород, неон и гелий ведут себя вопреки правилам: при расширении они нагреваются. Да и наивно думать, что разница между минус 180 и минус 240 чисто арифметическая. Чем ближе к абсолютному нулю, тем труднее каждый шаг.

1 сентября 1894 г. лондонская «Таймс» опубликовала интервью с профессором Королевского института Джемсом Дьюаром. Дьюар полон оптимизма: он не сомневается, что сумеет в ближайшие месяцы получить жидкий кислород. Он описал корреспонденту путь, которым намерен идти, и заявил, что сжижение водорода — последний шаг на пути к абсолютному нулю.

Ни одно из этих предсказаний не сбылось. Жидкий водород Дьюар получил через четыре года и совсем другим способом. На пути к абсолютному нулю возник еще один барьер — жидкий гелий, преодолеть который Дьюару не удалось. Да и сам путь оказался куда более долгим и сложным, чем он думал.

Джеймс Дьюар был человеком незаурядным. Младший сын в большой семье небогатого ирландца, он всем, чего достиг, был обязан себе. Десятилетний Джеймс провалился под лед, и это навсегда подорвало его здоровье. Но он дожил до золотой свадьбы и играл в этот день на скрипке, которую сделал сам еще мальчиком, в 1854 г.

Гибкий ум, почти сверхъестественное искусство экспериментатора, блестящая эрудиция — все эти качества сделали его одним из пионеров криогенной техники. Кстати, и сам термин (от греческого *kryos* — холод), и знаменитый «сосуд Дьюара» принадлежат ему.

К концу XIX в. было уже ясно, что казавшийся непреодолимым барьер можно обойти, водород и гелий можно заставить подчиняться правилам: для этого необходимо лишь предварительно охладить их до сравнительно низкой температуры.

Началась, да простится нам это ненаучное слово, форменная гонка. Ольшевский в Кракове, Камерлинг-Оннес в Голландии и Дьюар в Англии стремились первыми прийти к финишу. В этом состязании победил Дьюар: 10 мая 1898 г. он получил 20 кубических сантиметров жидкого водорода, а через два дня Королевское общество слушало его блестящее сообщение с демонстрацией опытов. Через несколько месяцев он сумел получить твердый водород. Теперь от абсолютного нуля его отделяло всего 14 градусов.

Но гелиевый барьер упорно не давался. 9 июля 1908 г. пришло известие, что доктор Камерлинг-Оннес из Лейденского университета осуществил ожижение гелия. От этого поражения Дьюар не смог оправиться всю свою еще достаточно долгую жизнь...

Итог, однако, был глубоко закономерен. Интуиции и мастерству Дьюара Камерлинг-Оннес противопоставил систему, способности великолепного организатора. Его знаменитую лабораторию в Лейдене (ее директором он стал в 29 лет) называют первой моделью научно-исследовательского института XX в. Он организовал при лаборатории школу прибористов и стеклодувов. Стал издавать свой журнал — настольную книгу всех, кто занимался криогенной техникой. Первая холодильная установка, построенная в 1892—1894 гг., была спроектирована в расчете скорее на будущее, чем на настоящее.

Как в свое время Лавуазье, Камерлинг-Оннес не торопился. Жидкий водород в ощутимых количествах он получил лишь в 1906 г., на восемь лет позже Дьюара. С этого момента началась долгая и тщательная подготовка к штурму гелиевого барьера. Не удивительно, что описание эксперимента выдержано в тонах эпических. 9 июля — артиллерийская подготовка — получено 75 литров жидкого воздуха. 10 июля, 5.45 утра — штурм начался. 13.30 — ожигено 20 литров водорода. 16.20 — включена система циркуляции гелия. 19.30 — результатов нет, впечатление, что попытка окончилась неудачей. 20.08 — один из наблюдателей предложил осветить сосуд снизу. Появился ясно видимый уровень жидкости. В первом же эксперименте было получено 60 кубических сантиметров жидкого гелия.

В конце опыта Камерлинг-Оннес предпринял попытку получить твердый гелий. Это ему не удалось. Не удалось и потом, когда он дошел до температуры 1,38, а затем и 1,04 градуса Кельвина. Не понимая причины этого странного явления, он, однако, заставил себя отступить и перешел к следующему пункту намеченной программы — к исследованию свойств металлов при гелиевой температуре.

Оннес измерил электросопротивление золота, платины и взялся за ртуть. И тут начались неожиданности. 28 апреля 1911 г. он сообщил Нидерландской королевской академии, что сопротивление ртути достигло столь малой величины, что «приборы его не обнаружили». 27 мая сообщение было уточнено: сопротивление ртути падает не постепенно, а резко, скачком, и снижается настолько, что можно говорить об «исчезновении сопротивления».

В статье, опубликованной в марте 1913 г., Оннес впервые употребит термин «сверхпроводимость». Еще через 10 лет он кое-что начнет понимать в этом странном явлении. Через 50 лет явление будет объяснено, хотя и далеко не полностью. Несколько раз Оннес наблюдал и другое достаточно странное явление — необычно высокую подвижность гелия. Но это уже было настолько неестественно, что Оннес даже не пытался что-то понять.

Он продолжал свою линию — все ближе к абсолютному нулю. Пользовался он, в сущности, одним методом: чтобы уменьшить давление паров жидкого гелия, ставил все более мощные насосы. В конце концов Оннес дошел до 0,83 градуса Кельвина. Казалось, это предел. Однако в апреле 1926 г. — через два месяца после смерти Камерлинг-Оннеса — американский профессор Латимер, развив идею канадца Уильяма Джоока, предложил новый способ охлаждения — магнитный. В 1956 г. Френсис Симон из Оксфорда получил температуру 0,00001 градуса Кельвина, лишь на одну стотысячную градуса выше абсолютного нуля.

Но не менее поразительно другое. Прошло целых тридцать лет с момента сжижения гелия, прежде чем было открыто наиболее экзотическое его свойство — сверхтекучесть. За эти годы проводились тысячи экспериментов, многие наблюдали поразительное изменение свойств гелия. И только однажды группа канадских ученых осмелилась привести описание, решительно отказавшись от выводов. «Правильное заключение относительно нового явления, — осторожно заметили они, — нетрудно сделать даже студенту первого курса. Но лишь зрелые и опытные физики взяли бы на себя смелость вполне серьезно предположить, что теплопроводность жидкости внезапно увеличивается в миллионы раз».

В начале 1938 г. журнал «Nature» опубликовал две статьи: советского ученого П. Л. Капицы и Аллена и Мизенера из Кембриджского университета. И результаты их опытов, и выводы совпали: поток жидкого гелия почти совершенно лишен вязкости. Капице принадлежит и ставший общепринятым термин «сверхтекучесть».

Может показаться странным, что столь разные ансамбли, как атомы гелия и свободные электроны металла, ведут себя одинаково. Но в том-то и состоит величайшее значение открытия, что оно позволило связать

оба явления (сверхпроводимость — это сверхтекучесть электронного потока в проводнике) и ввело нас в тайны квантового мира, в самые глубины строения вещества.

Сейчас еще трудно представить все последствия этого открытия. Вот лишь несколько направлений, в которых уже достигнуты ощутимые результаты. Созданы и работают сверхпроводящие магнитные системы с уникальными характеристиками. Фирма «Локхид», например, построила электромагнит, который весит 85 килограммов и дает магнитное поле 15 тысяч эрстед.

Крупнейшие сверхпроводящие магниты с полем 30—40 тысяч эрстед и размером порядка 4 метра уже работают в ряде ускорительных лабораторий Европы и Америки, созданы магниты с полем до 170 тысяч эрстед.

Ведутся работы по созданию крупнейших электрических машин — турбо- и гидрогенераторов со сверхпроводящими системами возбуждения.

Сверхпроводники открывают совершенно новые возможности при создании вычислительных машин. Ток в сверхпроводящих системах — идеальное запоминающее устройство, способное хранить колоссальное количество данных и выдавать их с фантастической скоростью. Нужная информация может быть выделена из 10^{11} ее единиц в течение 10^{-6} секунды!

Уже получены сплавы, сохраняющие сверхпроводимость при 18—20 градусах Кельвина. Создание вещества, которое обладало бы свойствами при температуре хотя бы в 100 градусов Кельвина, привело бы к революции в электротехнике. Современная наука считает, что задача реальна, а последствия ее решения определяют одним словом — фантастические.

Когда спящий проснется...

Инертные — инертны. Эта очевидная истина, установленная Рамзаем в самых первых опытах, проверялась с тех пор бесчисленное число раз. Кажется, не было вещества, с которым их не пробовали бы соединять. Результат оставался прежним: инертные снова и снова подтверждали свою поразительную химическую пассивность, косность, бездеятельность.

Основное свойство элементов нулевой группы легко было обосновать и теоретически. Полностью законченная, совершенная структура электронных оболочек. Прочнейшая связь между ядром и электронами. Максимальный ионизационный потенциал. Энергетическая «невыгодность» реакций...

Все так. Однако же и у безукоризненно прочной, отлично сбалансированной конструкции, где практика опиралась на теорию, а теория подкреплялась практикой, были свои маленькие слабости, мельчайшие, почти неуловимые трещины.

Первая возникла очень давно, еще на заре открытия. В 1896 г. французский физик Р. Вайяр, ничего не зная об электронных оболочках и энергетических уровнях, просто взял и соединил аргон с водой, получив довольно устойчивое соединение — гидрат аргона. Следующие тридцать лет химики пытались разгадать этот феномен. В теорию он не укладывался. Практике противоречил: другие элементы группы с водой не соединялись, с другими веществами аргон не реагировал. Это походило на чудо — единственное и неповторимое. Тем более что ни к каким особым ухищрениям Вайяр не прибегал: невысокая температура и довольно высокое давление — вот и все премудрости. О гидрате аргона писали как о забавном курьезе, странном парадоксе химии: не может быть, и все-таки есть. Значит, чудеса случаются...

В тридцатые годы «химией инертных газов» (без кавычек не обойтись, ибо единственное соединение — какая же тут химия?) заинтересовался молодой советский ученый Б. А. Никитин. Но Никитин увидел в гидрате аргона не странный парадокс, не исключение, а признак того, что существуют какие-то правила, которых мы не знаем, условия, при которых инертные перестают быть инертными.

Этой работе Никитин отдал шестнадцать лет. Формально он сумел добиться не столь уже многого: получил несколько новых гидратов — соединений инертных газов с водой. Связал криптон и ксенон с некоторыми органическими веществами — фенолом, толуолом, параклорфенолом. Доказал, что при низких температурах инертные газы взаимодействуют с летучими гидридами — сероводородом, галогеноводородами и даже с двуокисью серы и угольной кислотой, образуя изоморфные кристаллы.

Нельзя сказать, что Никитин решил проблему. Но он ее поставил. Его работы вызвали острые споры. Химики по-прежнему считали, что инертные газы не способны образовывать чистые химические соединения, т. е. с ионной, или ковалентной, связью.

Напомним, что ионная (электровалентная) химическая связь обусловлена образованием электронных пар за счет перехода валентных электронов от одного атома к другому. Она характерна для соединений металлов с наиболее типичными неметаллами. Ковалентная (атомная) связь обусловлена наличием электронных пар, общих для соединяющихся атомов. По такой схеме построены молекулы простых газов — O_2 , H_2 , Cl_2 и соединений типа H_2O , NH_3 , CO_2 , HCl .

Полученные Никитиным соединения принадлежали к типу молекулярных, возникающих исключительно за счет так называемых ван-дер-ваальсовых сил* и дающих в твердом состоянии молекулярную кристаллическую решетку. В этих соединениях нейтральный атом газа плотно окружен, как бы взят в клещи полярными молекулами других веществ (воды, фенола и т. д.), которые связаны между собой. Конечно, такие комплексы малоустойчивы, но формально они обладают признаками химического соединения: в частности, определенным химическим составом.

Тут можно было спорить. Однако трещина расширилась. Работы Никитина бесспорно доказывали, что открыта новая глава неорганической химии — химия инертных газов. Химия, которая интересна уже тем, что позволяет лучше понять природу «истинно химических» соединений, их отличия от псевдохимических, молекулярных.

И вдруг произошло событие, от которого дрогнуло и зашаталось все прочное здание теории. В 1961 г. канадский химик Нейл Бартлетт, исследуя фторидные комплексы благородных металлов, почти случайно пришел к соединению $XePtF_6$, гексафтороплатинату ксенона. Платинат оказался твердым оранжево-желтым веществом, вполне устойчивым и вообще ничем не отличающимся от обычных химических соединений. Это была сенсация —

* Ван-дер-ваальсовы силы — силы притяжения между незаряженными атомами и молекулами, относительно малые в сравнении с силами химическими (валентными).

крупнейшая химическая сенсация за все послевоенные годы.

Но что еще важнее, Бартлетт нащупал путь: первую, сначала узенькую тропинку, которая позволила проникнуть в неприступный бастион химии — в нулевую группу периодической системы. Тропинку эту проложил фтор.

Удалось последовательно получить целый ряд соединений ксенона с фтором: XeF_2 , XeF_4 , XeF_6 , XeF_8 . Синтез тетрафторида ксенона (XeF_4) при давлении в 15 атмосфер шел настолько бурно, что часто кончался взрывом.

Затем пришла очередь криптона. Когда через смесь криптона и фтора, охлажденную до минус 190 градусов, пропустили высоковольтный электрический разряд, образовалось еще одно соединение — тетрафторид криптона, KrF_4 .

Какое-то время — уже по инерции — продолжали считать неприступным гелий. По всем канонам это самый благородный, самый неприступный элемент — прочнейшее строение Вселенной.

Оказалось, однако, что из инертных газов активнее других именно гелий. Для него известны, например, гидрид гелия — HHe , соединение с ртутью — HgHe , вольфрамовый гелий — WHe и др.

...История элементов нулевой группы начиналась буквально с нуля: ни своего места в периодической системе, ни химических свойств, ни сферы использования. За 80 лет благородные изгои дали науке столько новых идей, что с полным правом вошли в высшее — химическое — общество...

НОВЫЙ ВИТОК СПИРАЛИ

Четвертое состояние

Гелий был открыт на Солнце, представление о четвертом состоянии вещества, плазме, пришло из космоса. Не потому, что такое состояние на Земле невозможно. Северное сияние, падающие звезды, воздух в канале молнии, обычная кварцевая лампа или световая реклама — все это плазма. Но, в общем, четвертое состояние веще-

ства для земных условий не характерно. И напротив, чрезвычайно характерно для космоса. Холодные твердые тела, вроде нашей Земли,— явление во Вселенной редкое; основная ее масса — звезды, туманности, бесконечные пространства «пустоты» — представляет собой плазму.

Может быть, этим объясняется и название: *plasma* (греч.) — вылепленное, оформленное. Американские физики Ленгмюр и Тонкс, предложившие этот термин в 1923 г., заимствовали его из гематологии, науки о составе крови. В гематологии плазма — исходная среда, жидкость, в которой плавают белые и красные кровяные шарики. Плазма во Вселенной — тоже основная среда, самое распространенное, обычное, естественное состояние вещества.

Наиболее наглядный (но не самый простой) путь к плазме — повышение температуры. Изменяя температуру, мы можем провести любое вещество через все три обычных состояния — твердое, жидкое, газообразное. Естественно, возникает вопрос: что произойдет с веществом, если нагревание будет продолжаться и температура выйдет за обычные на Земле пределы в несколько тысяч градусов?

Уже при 3000 — 5000 градусах появляются первые признаки того, что в газе происходят какие-то новые процессы, связанные с изменением свойств самих атомов вещества. Как известно, атом состоит из положительно заряженного ядра и электронов, вращающихся вокруг ядра и образующих в совокупности так называемую электронную оболочку атома. Эта оболочка и в особенности ее внешний слой, содержащий электроны, сравнительно слабо связанные с ядром, обладают довольно хрупкой структурой. При столкновении атома с какой-либо быстро движущейся частицей один из электронов может быть выбит из атома, и тогда сам атом превратится в положительно заряженный ион. При высокой температуре такие столкновения, потери и превращения становятся явлением обычным.

В твердом теле атомы и молекулы подчинены строгой дисциплине, как бы стоят в строю. В жидкости они могут двигаться, но свобода их ограничена. В газе молекулы или даже атомы движутся свободно; однако в атомах электроны совершают гармонический танец по орбитам, предписанным законами квантовой механики. Наконец, в плазме уже и электроны оторвались от атомов и приобрели

полную свободу движения; изменились и атомы, потеряв часть своих электронов, они стали ионами — частицами с положительным зарядом.

В образовавшейся «смеси» присутствуют, как минимум, три вида частиц: электроны, ионы, нейтральные атомы. Соотношение их может быть самым различным, но в любом случае полный электрический заряд системы близок к нулю, ибо появление новых отрицательно заряженных электронов неизбежно приводит к образованию соответствующего числа ионов, так что система в целом остается электрически нейтральной.

Понятно, что из трех известных состояний вещества плазма ближе всего к газу. Более того, между плазмой и газом вообще нет четкой границы. Плазма подчиняется общим газовым законам (например, объединенному закону Бойля — Мариотта и Гей-Люссака) и во многих отношениях ведет себя как газ. Почему же тогда говорят о каком-то новом состоянии вещества? Потому что и многочисленные наблюдения за плазменными объектами во Вселенной, и наш (пока скромный) земной опыт свидетельствуют, что плазма обладает некоторыми новыми свойствами, настолько необычными и важными, что это дает право рассматривать ее как особое состояние.

Да, в целом плазма электрически нейтральна. Но по своим электрическим и магнитным свойствам она напоминает скорее металл, чем газ: она проводит ток и реагирует на магнитное поле. Обстоятельства чрезвычайно существенные.

В плазме свои понятия о температуре. За единицу здесь принят не градус, а электронвольт — энергия, которая соответствует температуре 11 600 градусов. О плазме, нагретой до 10 или 100 тысяч градусов, физик скажет: «Один (или несколько) электронвольт, плазма холодная». Температура горячей плазмы должна составлять хотя бы сотни электронвольт, т. е. миллионы градусов.

Если бы газ при этих температурах сохранял все свои свойства, он представлял бы для нас чисто теоретический интерес — как обитатель Солнца, звезд, туманностей. В земных условиях использовать его было бы невозможно: никакая стенка не выдержит такого жара, и газ мгновенно разлетится.

В плазме частицы ведут себя, как молекулы в газе — они движутся в беспорядке. Но движение их можно упорядочить, заставить их маршировать в строю. Делает это

магнитное поле. Поведение плазмы в магнитном поле настолько необычно, что ее так и называют — замагниченной.

К сожалению, даже в замагниченной плазме бывают нарушения дисциплины. Нормально частица плазмы должна винтообразно вращаться вокруг силовой линии и не сходить со своего пути до тех пор, пока она не столкнется с другой частицей. Столкновения же в горячей плазме редки как на железной дороге.

На практике, однако, существует и иная причина нарушений — коллективное взаимодействие частиц, предвидеть влияние которого чрезвычайно трудно. Время от времени эта сложная цепь взаимодействий вызывает ничтожное отклонение в поведении одной из частиц. И тогда происходит то же, что при движении колонны машин по шоссе: стоит сбиться одной, и общий порядок нарушится. Плазма выходит из-под контроля, становится неуправляемой. Препятствие, которое пока что не позволяет решить, например, проблему такой важности, как мирное использование термоядерной энергии.

Но и то, что уже достигнуто в управлении плазмой, потрясает воображение. Скажем, «бублик» — тороидальная ловушка — с помощью системы магнитных зеркал удерживает плазму в трубе, заставляя ее вращаться по кругу*. Или магнитная пушка, из которой можно стрелять сгустками плазмы со скоростью 100 километров в секунду. Это в сто раз быстрее пули и в десять раз быстрее космической ракеты.

По принципу действия «бублик» похож на электродвигатель: только проводником здесь служит не металл, а плазма. Двигатель, как известно, легко превратить в динамо-машину. Торможение плазменной струи в магнитном поле дает тот же эффект — в системе генерируется электрический ток. Использование этого эффекта может привести к подлинной революции в электротехнике: к замене тяжелого и неуклюжего металла легкой и подвижной плазмой.

Конечно, в земных условиях достичь температуры в сотни тысяч и миллионы градусов совсем непросто. В этом, однако, и нет необходимости. Для получения плаз-

* Низкотемпературную плазму ловушка удерживает достаточно долго; плазму с температурой в десятки миллионов градусов — сотые доли секунды.

мы можно использовать не только тепловую энергию (термическая ионизация), но излучение и электрический разряд. Последний путь обычно и применяют в технике.

Всякая электрическая искра, вольтова дуга, вспышка газосветной лампы вызывают ионизацию газа. Процесс этот — при благоприятных условиях — приобретает характер электронной лавины, т. е. развивается так же стремительно, как цепная реакция или размножение микробов. Даже малое число электронов, образовавшихся под действием космических лучей или слабого электрического разряда, может привести к ионизации всего газа, превратив его в плазму.

Физические свойства плазмы привлекают исследователей уже давно. Но лишь в последние годы плазмой заинтересовались химики. Оказалось, что и вещества в четвертом состоянии ведут себя необычно, позволяя осуществлять реакции, которые трудны или вовсе недоступны обычной, молекулярной, химии.

Горизонты плазмохимии

Термин «плазмохимия», строго говоря, неудачен. Химия имеет дело с молекулами. Между тем при температуре выше 10 000 градусов нет молекул и могут существовать атомы лишь некоторых элементов. Дело, однако, не в названии, в сущности.

Первые шаги высокотемпературной химии преследовали довольно скромную цель: осуществить давно известные типовые химические процессы (фиксация азота, синтез ацетилена) более экономичными методами.

Первые опыты показали, что в плазматронах постоянного тока образуется широкий спектр соединений, которые, реагируя друг с другом, дают возможность получать ацетилен и окись азота, аммиак и синильную кислоту.

Но важнее этих конкретных результатов были общие выводы. Стало ясно, например, что скорость реакций в плазме необычайно велика, а концентрация основных продуктов, полученных даже при сравнительно невысокой температуре, намного превышает теоретически возможную — при любой температуре. Это поразительное явление обусловлено тем, что процессы в плазме идут с участием не молекул, а свободных радикалов, которые способны вступать друг с другом в очень простые реакции.

Опыты были перенесены на СВЧ, сверхвысокочастотный плазмотрон. В разрядах СВЧ дробятся на атомы молекулы водорода и хлора, брома и азота, кислорода и фтора. На атомном уровне относительно легко протекают реакции, которые в обычных условиях не идут или требуют сложных и хитроумных операций.

В плазмотроне осуществляется, например, высокоскоростной пиролиз (разложение) угля, что позволяет получать широкую гамму самых разнообразных органических продуктов. Удаётся получить цианистый водород, необходимый для производства пластмасс, дициан — очень ценное вещество, которое используется и как топливо, и как исходное сырьё для синтеза сложных органических соединений. Значительно упрощаются процессы образования озона, получения водорода и сажи из метана, восстановления окислов металлов, производства карбидов урана и тантала, нитридов вольфрама и циркония, фторорганических соединений и т. п.

Однако наибольшее внимание по-прежнему уделяется связыванию азота. Разумеется, важную роль тут играют соображения практические: производство связанного азота в США — только в виде аммиака — превысило в 1965 г. 7 миллионов тонн. Но это лишь одно из соображений. «Наряду с промышленными интересами,— подчеркивают американские ученые Р. Тимминс и П. Амман,— детальное исследование кинетических и термодинамических закономерностей высокотемпературных систем азота в значительной мере стимулируется требованиями программ по изучению космоса, в частности, в связи со сверхзвуковыми полетами и движением ракет».

В последние годы изучено уже свыше шестидесяти основных химических процессов, проведение которых в плазме дает весьма ощутимые преимущества. Но главной сферой действия плазмохимии будет, очевидно, получение совершенно новых веществ, сама возможность существования которых кажется сейчас невероятной.

Мы не можем, конечно, предсказать их свойства — занятие это бесплодное. Но тут важно понять идею. В традиционной химии существуют определенные ограничения, запреты: такие-то реакции в таком-то направлении на молекулярном уровне не идут или идут медленно и трудно. Плазмохимия, работающая с атомами и радикалами, позволяет обойти эти запреты, конструировать вещества любого состава: сложнейшие белки и

ферменты, сверхкалорийные топлива, сверхтвердые материалы. Те вещества — новые источники энергии, продукты питания, материалы, лекарства, — которые являются необходимым компонентом прогресса.

МЫСЛИ О БУДУЩЕМ

(Вместо эпилога)

Гадание, наверно, старо как мир. Всегда и во все времена человек хотел знать будущее. Библейский Иосиф разгадал хитроумный сон фараона о худых коровах, которые съели тучных. Гадали жрецы, астрологи, маги, оракулы, пифии. До сих пор гадают на Западе колдуны, чародеи, предсказатели, ясновидцы. Гадали и гадают по звездам, по линиям рук, по зеркалу, на картах и на кофейной гуще...

Для современного человека умение предвидеть будущее неизмеримо важнее, чем когда-либо раньше. Человечество располагает колоссальными силами, и очень многое в нашей судьбе зависит от того, куда и как будут направлены эти силы.

Но именно в наш век, с его стремительными темпами, строить прогнозы особенно трудно. Не так давно, в 1955 г., сэр Джордж Томсон, доктор наук и член Королевского общества Великобритании, лауреат Нобелевской премии, опубликовал книгу, где старался строго держаться в рамках реального. И вот что получилось. Д. Томсон подробно объясняет, например, какой вес должна иметь ракета, чтобы забросить в межпланетное пространство тонну груза. «Сомнительно, — пишет он, — чтобы такая огромная ракета оказалась практически осуществимой». Известно, что уже третий советский искусственный спутник весил 1327 килограммов...

Итак, «недогадать» так же опасно, как «перегадать». И все-таки начнем с задач вполне реальных, поставленных жизнью в повестку дня. Первая из них — наиболее общая, глобальная: сохранение ареала, зоны обитания человека.

Было время, когда человек мог об этом не думать. Его деятельность не играла заметной роли в том великом круговороте веществ, который происходит на Земле. Сейчас положение меняется. Производство оперирует ныне такими количествами энергии, такими массами самых различных веществ, что эти искусственные процессы по своим масштабам вполне сравнимы с естественными. Сегодня мы уже должны всерьез считаться с проблемами уменьшения кислородных запасов атмосферы, возможностью (из-за избытка в атмосфере углекислоты) парникового эффекта, угрозой необратимых изменений климата планеты.

Разумеется, ни одна из этих опасностей не носит фатальный характер. В принципе мы можем получить энергию, не сжигая углерод, увеличить поступление кислорода в атмосферу, ввести в действие технические способы поглощения и расщепления углекислого газа. Однако любой из этих проектов, вполне реальный в пределах предприятия, улицы или даже города, трудно выполним в масштабах отдельной страны и всего земного шара.

И тут решающее значение приобретает способ производства, социальная природа общества. Научно-техническая революция требует от человека сознательных, целеустремленных действий, а от общества — высокой организованности, умения планировать и осуществлять проекты огромных масштабов с учетом всего комплекса факторов — в том числе и природных.

Ясно, что в условиях капиталистического строя такая целенаправленная, организованная деятельность невозможна. В погоне за прибылью капиталист преследует свои собственные, сугубо утилитарные цели, природа — как нечто всеобщее (т. е. не имеющее конкретной рыночной стоимости) — его не интересует. Правда, буржуазные государства, сознавая глобальный характер опасности, как-то пытаются в последнее время регламентировать производственную деятельность. Но меры эти, как правило, неэффективны, ибо противоречат самим основам капиталистического строя.

Разумеется, проблемы сохранения среды обитания существуют и у нас. В январе 1973 г. ЦК КПСС и Совет Министров СССР приняли постановление «Об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов».

С высокой трибуны XXV съезда партии было сказано со всей определенностью, что по мере развития народ-

ного хозяйства, роста городов и промышленных центров все больше средств будет расходоваться на сохранение окружающей среды. Только в нынешней пятилетке на эти цели выделяется 11 миллиардов рублей. И эта сумма будет увеличиваться!

Как сказал Леонид Ильич Брежнев, «принимая меры для ускорения научно-технического прогресса, необходимо сделать все, чтобы он сочетался с хозяйским отношением к природным ресурсам, не служил источником опасного загрязнения воздуха и воды, истощения земли... Не только мы, но и последующие поколения должны иметь возможность пользоваться всеми благами, которые дает прекрасная природа нашей Родины».

Современные масштабы и темпы развития производства требуют совершенно нового подхода ко всему комплексу проблем среды обитания. Вот лишь некоторые из них. Глубокое и полное изучение атмосферы — ее прошлого и будущего. Детальное исследование механизмов кислородобразующих процессов, в частности фотосинтеза. Разработка новых химических процессов и источников энергии, не связанных с загрязнением среды.

С этой точки зрения чрезвычайно интересен проект «Фотоводород», над которым работают сейчас Институт фотосинтеза Академии наук СССР, химический и биологический факультеты Московского государственного университета. Цель проекта в том, чтобы подобрать биологические системы, которые будут использовать солнечную энергию для извлечения из воды не только кислорода, но и водорода.

Водород как источник энергии имеет много достоинств. По теплотворной способности на единицу веса он в 8,3 раза превосходит древесину, в 3,3 раза — нефть, в 2,5 раза — природный газ. Водородное топливо не загрязняет атмосферу; продукт его сгорания — обычная вода. В СССР, как и в некоторых других странах, разработаны на его основе экспериментальные двигатели для кораблей, самолетов, автомобилей. Остановка — за водородом, настолько дешевым, чтобы он мог конкурировать с традиционными видами топлива.

Не станем вдаваться в суть весьма сложных окислительно-восстановительных процессов, происходящих в клетке. Скажем лишь, что управляемый человеком промышленный фотосинтез может быть остановлен на нужной стадии. На той именно, когда в живых клетках обра-

зуется водород. В лаборатории уже создан активнейший белок — фермент гидрогеназа. С его помощью можно заставить микроводоросли или хлоропласты превращать воду в водород и кислород. Расчеты показывают: если разместить фабрику-плантацию на такой площади, какую занимает сейчас Москва, производство водорода обеспечит энергетические нужды страны...

Не ослабевает интерес и к другой вечной проблеме — фиксации азота. Атака на азот ведется с разных направлений. Одно из них, предложенное профессором М. В. Федоровым, — управление процессом биологической фиксации азота. Второе — проведение реакций синтеза в плазме. Наконец, третье — традиционно химическое — использование переходных металлов: титана, ванадия, хрома, молибдена, железа. Работы в этой области ведутся давно, но лишь в последние годы в лабораториях институтов элементоорганических соединений и химической физики Академии наук СССР, руководимых М. Вольпиным и А. Шиловым, удалось получить комплексы, которые активируют молекулу азота, делают ее способной к реакциям даже при пониженной температуре.

Давно ушли в прошлое времена, когда ученые думали, чем занять фтор и инертные газы. Теперь и самый активный, и самые пассивные элементы периодической системы находят широкое применение. Настолько широкое, что уже обсуждается возможный дефицит инертных газов и способы его покрытия. Не в фантастической, а в сугубо научной литературе сравниваются экономические характеристики таких путей пополнения резервов, как транспортировка инертных газов с других планет космическими кораблями, бурение скважин на десятки километров в глубь Земли, использование ядерных превращений. «Алхимический» способ, кстати, признан наиболее рациональным...

Опять-таки не фантастам, а ученым принадлежат и оригинальные идеи, связанные с применением кислорода. Первая относится к Черному морю. Многие помнят, конечно, строчки Багрицкого: «...Ай, Черное море, хорошее море!...», но мало кто знает, что у «хорошего моря» есть существенный недостаток: оно обитаемо лишь до глубины 125 — 200 метров.

Черное море гораздо беднее рыбой, чем родственное ему Средиземное. Причина в том, что растительный и животный мир Черноморья сосредоточен в верхнем узком

слое воды. Ниже 200 метров (а средняя глубина здесь около 1300 метров) простирается мертвая зона.

Это явление редкое. Обычно моря и океаны заселены на всю глубину. Даже на дне Марианской впадины Пикар видел в иллюминатор батискафа креветок и плоскую рыбу, похожую на камбалу.

Но в Черном море обитают бактерии, вырабатывающие сероводород. Сероводород отравляет воду, затрудняя насыщение ее кислородом. А рельеф дна таков, что перемешивание воды идет медленно. Основная идея проекта — в общем, вполне реальная — перестройка моря: вымывание сероводорода из воды кислородом. Мысль эту можно и развить. Насыщение кислородом озер и других крупных водоемов можно использовать и для подкормки водорослей и рыб.

Другая идея (впервые ее высказал американский ученый Саган) состоит в том, чтобы забросить на Венеру один из видов хлореллы. Быстро размножаясь, хлорелла превратит углекислый газ атмосферы в кислород. Парниковый эффект исчезнет, температура поверхности снизится. Растения сделают планету пригодной для жизни.

Сведения о Венере, которыми мы сейчас располагаем, заставляют отнестись к этому проекту скептически. Никакое растение не выдержит температуры в 400 — 500 градусов. Но для некоторых бактерий эти условия вполне приемлемы. Есть и иная возможность: создать на ограниченном участке планеты микроклимат, который был бы пригоден для земных растений.

В наши земные представления космическая эпоха вошла с быстротой ракеты. Недавно мысль о полете к Луне или Марсу казалась верхом дерзости. Сейчас звезда Проксима Центавра, удаленная от нас на 40 000 миллиардов километров, считается объектом довольно близким. Ученых интересуют более трудные цели — звезда Бетельгейзе — 300 световых лет, шаровое звездное скопление в Геркулесе — 34 тысячи, туманность Андромеды — полтора миллиона световых лет.

Резкая смена масштабов (от земных к космическим) с трудом укладывается в сознании. Сначала кажется, что возможность космических полетов зависит почти исключительно от двигателя. И только потом понимаешь, что не менее важна проблема питания: питания двигателя, питания экипажа.

В условиях космического корабля человеку нужно ежедневно около 1100 граммов кислорода, 900 граммов пищевых продуктов, не менее 4 литров воды — для питья и гигиены. Итого: 6 килограммов.

Как будто немного. Однако уже полет на ближайшие планеты Солнечной системы продлится 2 — 3 года. Это значит, что экипажу из трех — четырех человек пришлось бы взять с собой багаж весом минимум в 15 тонн!

Ясно, что для дальних космических полетов, которые продлятся, видимо, десятки лет, багаж оказался бы слишком тяжелым. Над этой проблемой думал еще Циолковский. Ему и принадлежит идея замкнутого цикла: круговорота веществ внутри корабля.

В принципе путь этот вполне реален, ведь такой круговорот осуществляется на Земле. Однако воспроизвести его в ограниченном объеме космического корабля — задача достаточно сложная. В этом направлении делаются пока лишь самые первые шаги...

Еще сложнее проблема топлива. К сожалению, замкнутый цикл тут невозможен — продукты сгорания будут теряться безвозвратно. А расход горючего и окислителя огромен, даже при полетах внутри Солнечной системы.

В недавно вышедшей книге В. Н. Зрелова и Е. П. Серегина «Жидкие ракетные топлива» приводятся некоторые сведения о том, какие виды топлива применяются в современных ракетах.

Так, у нас в стране на жидком кислороде работали первая и вторая ступени корабля «Восток», в США — первая ступень ракеты-носителя «Сатурн», в Англии — ракеты «Блюк-стрик»; на смеси жидкого водорода и жидкого кислорода — вторая ступень американской ракеты «Центавр». «В США, — пишут В. Зрелов и Е. Серегин, — наибольший удельный импульс тяги предполагают получить на ЖРД (жидкостных реактивных двигателях. — Р. Б.), работающих на жидком водороде и жидком фторе».

Конечно, возможности химического горючего можно несколько расширить. В свое время еще А. Цандер предлагал использовать металлические добавки: сгорание металла позволит повысить температуру выходящих газов и, следовательно, увеличить тягу. Еще большие возможности в этом плане открывают ядерные реакции. Однако для полетов в дальний космос и ядерное горючее, видимо, недостаточно энергоемко. Где же выход?

Тут есть, по крайней мере, два пути. Один — использовать в качестве топлива (термоядерного горючего) тот самый водород, который составляет межзвездную среду.

Второй путь кажется еще более фантастическим — фотонные ракеты, построенные на принципе аннигиляции. Совсем недавно такими ракетами интересовались почти исключительно фантасты.

Но в последнее время получены результаты, которые заставляют по-новому оценить перспективы этого пути. И снова, как случалось уже не однажды, «возмутителем спокойствия» стал гелий.

...Во второй половине XIX столетия в Оксфордском университете преподавал математику Чарлз Доджсон. В среде коллег он пользовался определенной известностью, но мировую славу приобрел как писатель-сказочник Льюис Кэрролл. Маленькую героиню своих повестей Алису он отправил в Зазеркалье — страну чудес, где все наоборот по сравнению с нашим миром. Так впервые в литературу вошла идея о двух абсолютно симметричных системах: мире и антимире.

В науку она вошла гораздо позднее, в XX в. Идея эта «вылезла» из знаменитого уравнения Дирака, которое допускало — правда, теоретически — возможность существования электрона с положительным зарядом, т. е. антиэлектрона. Но физики уже знали: то, что запрещено законами природы, что допустимо теоретически, может быть обнаружено или «построено» практически. И действительно, вначале был найден антиэлектрон (его называли позитроном), позднее — антипротон, антидейтрон и антитритон — ядра атомов антиводорода.

Конструирование на ускорителях усложненных антиядер и регистрация их приборами начались в 1965 г. Тогда группа американских физиков во главе с Л. Ледерманом обнаружила первые одиночные ядра антидейтерия — комплекс антипротона с антинейтроном.

Через четыре года на Серпуховском протонном синхротроне с колоссальной энергией в 70 ГэВ ($1 \text{ гигаэлектронвольт} = 1,602 \times 10^{-10} \text{ Дж}$) такие ядра уже получали десятками тысяч. Там же, в Серпухове, член-корреспондент Академии наук СССР Ю. Д. Прокошин с сотрудниками впервые зафиксировал образование ядер одной из модификаций антигелия — аптигелия-3, состоящих из двух антипротонов и одного антинейтрона.

Все работы по получению антивещества требуют огромных затрат энергии и достижения скоростей, близких к скорости света. Но даже на этом фоне серпуховский эксперимент поражает воображение своими масштабами и сложностью.

Протоны, которым сообщалась максимальная энергия, с колоссальной силой ударяли в алюминиевую мишень, вызывая поток частиц и античастиц, ядер и антиядер. Поток делили на фракции и отводили в вакуумированный магнитооптический канал, оснащенный многотонными магнитными линзами. На пути в 100 метров (частицы пробегали его за полторы секунды) их исследовали десятки приборов. Замерялись характеристики каждой из 4—5 миллионов пронесившихся в магнитном поле частиц. Информация сразу же передавалась группе электронно-вычислительных машин, проводивших анализ каждого регистрируемого события по пятидесяти независимым параметрам. Только такая сложная, обладающая высокой степенью надежности техника позволила открыть и исследовать антигелий.

Значение серпуховского эксперимента трудно переоценить. Впервые было доказано на практике существование антигелия, принцип симметрии вещества и антивещества получил еще одно подтверждение. Факт, который существенно расширяет наши представления о происхождении и эволюции Вселенной...

Сейчас об антигелии-3 известно довольно много. Его ядро так же стабильно, как и ядро обычного гелия. Антигелий-3 образуется из ядер антитрития (антитритонов), столь же радиоактивных, как и ядра обычного трития.

В принципе антигелий (и другие легкие антиядра) можно получить в достаточно больших количествах. Трудность в том, чтобы «защитить» их, не дать им проаннигилировать, столкнувшись с атомами обычных веществ.

Опыт показывает, что задача эта вполне разрешима. Ядра антигелия могут существовать сколь угодно долго, если хранить их в глубочайшем вакууме. Чтобы предупредить их столкновение со стенками ионопровода, пользуются уже знакомым нам средством — магнитным или электрическим полем.

Понятно, что по химическим свойствам антигелий ничем не будет отличаться от обычного. Однако это очевидное допущение (оно вытекает из принципа симметрии) пока нельзя проверить экспериментально. Не толь-

ко потому, что запасы антигелия-3 крайне ограничены. Важнее другое: чтобы антигелий мог вступить в реакции, полученные ядра надо оснастить оболочкой. Только, разумеется, не электронной (ведь это антивещество!), а позитронной. Мы же пока располагаем лишь антиядрами, а для химических реакций нужны антиатомы.

Получение антигелия-3 примечательно еще в одном отношении. Его можно рассматривать как этап на пути к получению антиальфа-частицы, ядра антигелия-4. Почему это так важно?

Ученые полагают, что синтез антигелия-4 был бы очень серьезным экспериментальным доказательством возможности существования антимира. Дело в том, что мировая материя более чем на 99 процентов состоит из протонов и альфа-частиц, включая, возможно, и их антиподы. Там, где условия этому благоприятствуют, протоны и альфа-частицы имеют электронное обрамление. Однако основная часть вещества Вселенной (на звездах, в межзвездном и межгалактическом пространстве) существует в виде «голых» ядер.

Но это лишь один аспект проблемы. Другой — практический — связан с тем, что именно ядрам гелия-4 предсказывают особую роль в технике будущего — роль основного источника энергии аннигиляции.

На то есть серьезные основания. У ядра антигелия (его называют еще антигелионом) есть ряд достоинств. Оно отличается прочностью и легкостью, синтез его сравнительно прост. Гелиону нет равных по компактности и устойчивости, ядро «упаковано» максимально плотно. Это дает основания полагать, что сочетание гелионов и антигелионов позволит использовать энергию аннигиляции значительно полнее, чем в любых других сочетаниях (протон плюс антипротон и т. п.).

Конечно, о конструкциях будущих фотонных ракет сейчас можно говорить лишь в самых общих чертах. Образующиеся при аннигиляции фотоны, отражаясь от зеркальных стенок двигателя, будут вылетать через сопло, создавая колоссальную тягу. Предполагается, что скорость фотонных кораблей будет близка к световой.

С позиций сегодняшней науки мы не можем себе представить более мощный источник энергии, чем аннигиляция. По эффективности он будет примерно во столько же раз превосходить ядерное топливо, во сколько последнее превосходит каменный уголь...

Трудно сказать, как человек будет «добывать» анти-вещество. Если в природе и существуют антиматерии, то доступ в них нам, представителям обычного мира, видимо, закрыт наглухо. Гораздо вероятнее, что на земле удастся создать технические устройства, в которых анти-вещество будет производиться, накапливаться и сохраняться.

Понятно, закон сохранения энергии не отменяется. Поэтому даже если удастся обеспечить высокий КПД установки, производство антивещества потребует очень больших затрат энергии. Но такие затраты имеют смысл, ибо откроют человечеству путь в дальний космос. Собственно, так было всегда: и каравеллы Колумба, и самолет Чкалова, Байдукова, Белякова, и космический корабль Гагарина оснащались на земле, и тут никак не подходят утилитарные критерии: столько-то энергии вложено на земле, столько-то использовано на море, в воздухе или в космосе...

Пока мы можем лишь в самом общем виде представить себе технические средства, которые позволят практически осуществить аннигиляцию. Какими будут баки будущих фотонных ракет? Как «заморозить» антивещество на годы полета? Как управлять процессом аннигиляции, учитывая его каскадный характер?

На эти и многие другие вопросы еще предстоит ответить. Но сама идея использования самого мощного из возможных источников энергии чрезвычайно заманчива. Ее осуществление открыло бы совершенно новые перспективы в исследовании космоса, освоении планет Солнечной системы, добыче полезных ископаемых из глубинных слоев земли, создании промышленных предприятий на дне морей и океанов, позволило бы решать задачи, которые сегодня нельзя даже представить...

Конечно, это дело будущего. Но насколько далекого? «Самая большая ошибка всех предсказаний,— писал Норберт Винер,— это чересчур узкое проецирование в будущее сегодняшних возможностей науки».

Еще совсем недавно работы М. Вольпина и А. Шилова по связыванию атмосферного азота при обычных условиях вызывали споры и сомнения. Однако на Международном конгрессе по координационной химии в Гамбурге, который состоялся летом 1976 г., несколько видных химиков обратились к А. Шилову, который выступал на

конгрессе с докладом о результатах исследований, с вопросом, нельзя ли повторить эти опыты в студенческой аудитории?

Шилов ответил, что некоторые реакции весьма просты, их можно демонстрировать в лекционных опытах и даже включать в учебные лабораторные работы. Характерный пример — получение гидразина — N_2H_4 . Мы не будем приводить здесь описание опыта (его можно найти в журнале «Химия и жизнь», 1977, № 4). Важно другое: эксперимент и в самом деле настолько прост, что его можно воспроизвести в хорошей школьной лаборатории.

Вообще, с газами сейчас происходит любопытная история. С одной стороны, они все шире начинают применяться в промышленности, становятся общедоступными. Скажем, на бакинском заводе «Азэлектросвет» (предприятии, специализирующемся на выпуске люминесцентных ламп, и, следовательно, отнюдь не химическом) действует установка по получению кислорода из воздуха методом глубокого охлаждения, вводится в строй оборудование для получения водорода, широко используются инертные газы.

С другой стороны, исследование «общедоступных» газов продолжается и приносит все новые, часто неожиданные открытия. Недавно, например, специалисты по трению и износу машин столкнулись с любопытной технической загадкой. В узле трения керосинового насоса работали две детали — стальная и бронзовая. Когда насос разбирали, на поверхности бронзы были обнаружены частицы закаленной стали.

Это противоречило здравому смыслу. Не мягкая бронза «намазалась» на твердую сталь, а твердая сталь — на мягкую бронзу!

Нечто подобное происходит иногда с тормозами железнодорожных составов. Чугун колесных ободов, как масло, намазывается на пластмассовую тормозную колодку.

Исследования, проведенные недавно у нас в стране, показали, что в этом противоречии виноват водород. Он проникает в металл, заполняя мельчайшие трещины, а при трении выделяется, вызывая водородный износ. Металл теряет прочность.

Таким образом, бронза побеждает сталь потому, что у нее есть «союзник» — водород, враг, который разрушает сталь изнутри...

Другая загадка — простейший бороводород, диборан (B_2H_6). Более полувека, с тех пор как его открыли, он буквально терроризировал химиков. Было совершенно непонятно, какие атомы в его молекуле связаны между собой, а какие — нет, и почему он не существует в своей мономерной форме — BH_3 .

В 1960 г. американскому ученому Уильяму Липскомбу удалось раскрыть этот секрет. Оказалось, что бороводороды по своей структуре напоминают корзину без ручки: между двумя атомами бора остается столько места, сколько требуется для двух небольших атомов. Если же «ручку» приделать, образуется тело, обладающее высокой степенью симметрии. Так было получено целое семейство борорганических соединений, которые быстро приобрели важнейшее научное и практическое значение. За эти работы Уильям Липскомб был удостоен в 1976 г. Нобелевской премии по химии.

Открытия почти непредсказуемы. Это было верно всегда, но особенно верно сейчас. Именно сейчас химия стоит на пороге нового периода своей истории. Проникновение в мир сверхнизких и сверхвысоких температур, высочайших давлений и глубочайшего вакуума, исследование плазмы, применение методов других наук (прежде всего физики и биологии) — все это необозримо расширяет горизонты химии.

...Мы живем в мире, где меняется все. Только одно остается неизменным: стремление человека идти вперед, все глубже проникая в тайны природы. В этом смысл короткой человеческой жизни, оправдание бесконечно долгой жизни человечества.

ОГЛАВЛЕНИЕ

<i>Мир</i> простой и загадочный	3
С чего начать?	3
Истоки	4
Не прямолинейное, но целенаправленное	9
В поисках автора	16
Вопреки логике	16
Спор о приоритете	25
Визитная карточка героя	36
«Если бы даже мы умели...»	36
Законы, которым они подчиняются	40
Там, где начинается жизнь	46
Далекое и близкое	46
Атомы Вселенной	52
Дважды второй	55
Истоки спора	55
Польза сомнения	60
Когда предсказания сбываются	65
«И путь свой отметит огнями...»	71
Устремленный в небо	75
Разные судьбы	75
Элемент физиков	80
Метаморфоза?	83
Слово древнее и новое	87
История повторяется	87
Либих, Буссенго и другие	88
Как устранить дефицит?	96
Обращенье времен...	100
Случайность или закономерность?	103
Страницы биографии	103
Вещество Джо	105
Назад — к элементу	112

Путь в высшее общество	116
Логика открытия	116
Сплошная физика	128
В стране ультраполярных температур . . .	132
Когда спящий проснется	137
Новый виток спирали	140
Четвертое состояние	140
Горизонты плазмохимии	144
Мысли о будущем (Вместо эпилога)	146

Р. Бахтамов

ФИГУРЫ НЕ ИМЕЕТ...

Редактор *Н. Яснопольский*
Художники *В. Горловин, Р. Горловина*
Худож. редактор *В. Савела*
Техн. редактор *Г. Пичугина*
Корректор *С. Ткаченко*

А 08748. Индекс заказа 77722. Сдано в набор 9/XI-1976 г. Подписано к печати 19/VII-1977 г. Формат бумаги 84 X108^{1/32}. Бумага типографская № 1. Бум. л. 2,5. Печ. л. 5,0. Усл. печ. л. 8,40. Уч.-изд. л. 8,85. Тираж 100 000 экз. Издательство «Знание». 101 835. Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 1586. Цена 30 коп.

Киевская книжная фабрика республиканского производственного объединения «Полиграфкнига» Госкомиздата УССР, ул. Воровского, 24,

30 кон.

H

F

N

L

Ne

C