

Айзек Азимов

Краткая история химии

Азимов Айзек

Краткая история химии

Айзек Азимов
Краткая история химии
(Развитие идей и представлений в химии)
Перевод с английского З. Е. Гельмана
Глава 1 ДРЕВНИЕ
ОГОНЬ И КАМЕНЬ

Тысячелетия назад человек впервые создал искусственные орудия труда. Он научился обрабатывать камни, придавая им нужную форму, заостряя края. Прикрепив заостренный камень к деревянной палке, он сделал первый каменный топор. Но даже обработанный камень оставался камнем, а дерево - деревом.

Однако молния могла зажечь лес, дерево горело, и на месте пожара человек находил черную золу. Сладкий сок мог прокиснуть и странно бодрил. Люди заметили, что иногда природа вещества меняется.

Сейчас мы знаем, что это - результат химических превращений вещества. Они составляют предмет науки, которая получила название химии.

Как только человек научился разводить и поддерживать огонь, он получил возможность осуществлять Химические превращения некоторых веществ. Эти превращения могли быть результатом горения или вызываться выделяемым при горении теплом. Птицу можно было сварить, и она изменяла цвет, вкус, становилась мягче. Глину можно было обжечь, и она становилась прочнее. Если человек разжигал костер в песке, он мог в золе найти стеклянные шарики.

Сначала человек использовал только те материалы, которые он находил вокруг - камни, дерево, кости, шкуры животных. Самым прочным из них был камень. О тех давно прошедших временах нам рассказывают каменные орудия первобытного человека, поэтому мы называем этот период каменным веком.

Человечество находилось еще в каменном веке, когда - около 8000 г. до н. э. - произошло коренное изменение в способе добывания пищи. Раньше человек добывал пищу охотой, теперь он научился приручать животных и заботиться о них. Он научился выращивать растения. С развитием скотоводства и земледелия человек получил возможность создавать запасы пищи, и население Земли стало увеличиваться. Занимаясь земледелием, человек вынужден был оставаться на одном месте - возникли постоянные поселения и первые города. С этого началась цивилизация (само это слово происходит от латинского *civitas* - город).

На протяжении первых двух тысячелетий периода ранней цивилизации камень по-прежнему оставался основным материалом изготовления орудий труда, но способы его обработки значительно усовершенствовались. Для этого нового каменного века, или неолита, характерно умение человека шлифовать камень.

Значительно усовершенствовалось гончарное дело. Культура неолита, медленно распространяясь из центральных областей Ближнего и Среднего Востока, достигла европейского континента. К 4000 г. до н. э. пришла пора дальнейших изменений - человек начал осваивать новые материалы, обладавшие очень ценными свойствами. Мы называем эти материалы металлами, возможно, от греческого слова "искать".

МЕТАЛЛЫ

Первыми металлами, на которые человек обратил внимание, были самородные медь и золото. Красноватую медь и желтоватое золото, отливающие красивым металлическим

блеском, нельзя было не заметить среди тусклой серовато-коричневой породы.

Вначале металлы, как и цветные камешки или перламутровые морские раковины, служили лишь украшением. Однако вскоре оказалось, что металлы выгодно отличаются от всех других украшений. Камень при ударе рассыплется в пыль, дерево и кость дают трещины; ударяя же по кусочку металла, можно придать ему нужную форму. Это свойство металлов (ковкость) было обнаружено, безусловно, совершенно случайно. Но вскоре после того, как человек узнал о ковкости металлов, он, повинувшись чувству прекрасного (которое всегда живет в нем), начал изготавливать из металлических самородков различные украшения, стараясь подчеркнуть красоту металла.

Обрабатывая медь, человек заметил, что изготовить из нее наконечник для стрелы гораздо легче, чем из камня, да и тупятся медные наконечники медленнее, чем каменные. Более того, заточить затупившийся медный наконечник намного проще и быстрее. Но меди было мало, найти ее было непросто, поэтому долгое время она служила в основном материалом для украшений.

Однако со временем выяснилось, что медь можно получить из камней определенного вида и что найти такие камни значительно проще, чем чистую самородную медь. Когда и как было сделано это открытие, мы с вами не знаем, и, вероятно, это навсегда останется тайной.

Но можно представить, как это произошло. Загорелся лес, росший на почве, в которой содержались какие-то голубоватые камни. Пришедшие на пепелище люди нашли в золе сверкающие шарики меди, и кто-то первый догадался, что, нагревая эти голубоватые камни на костре, можно получить медь. Наверное, прежде чем такая догадка осенила человека, он много раз наталкивался на шарики меди на пожарищах.

Рис. 1. Плавильные печи устраивали таким образом, чтобы в них можно было получать из руды ковкий или плавкий металл. Медную руду (а) плавил в тигле. Железную руду (б) смешивали с древесным углем и, чтобы повысить температуру пламени, продували при помощи кузнечных мехов через горящую смесь воздух.

Возможность получения меди была окончательно установлена, по-видимому, около 4000 г. до н. э., и скорее всего это случилось на Синайском полуострове или в горных областях Шумера (территория современного Ирака), а возможно, и одновременно в этих двух районах.

Так или иначе, но с этого времени медь стала вполне доступным материалом, и ее начали использовать для изготовления орудий труда, предметов домашнего обихода и т. д. Медная сковорода, найденная в захоронении, расположенном на территории Египта, датируется 3200 г. до н. э. А к 3000 г. до н. э. начали выплавлять и значительно более твердый, чем медь, металл - бронзу - сплав меди и олова. Произошло это также, несомненно, случайно. Вероятно, кто-то по ошибке нагрел вместе с медной и оловянную руду (рис. 1). Изготовленные из бронзы орудия труда найдены в гробнице фараона Итети, который правил в XXX в. до н. э. К 2000 г. до н. э. бронза уже широко использовалась для изготовления оружия и доспехов.

Самым крупным событием бронзового века была Троянская война. Воины того времени были одеты в бронзовые доспехи и вооружены дротиками с бронзовыми наконечниками. Не оснащенный таким образом воин был обречен. Поэтому кузнецы, ковавшие доспехи и оружие, пользовались особым уважением. Даже среди греческих богов был свой кузнец - хромоногий Гефест. И не случайно среди европейских фамилий так распространены фамилии, основу которых составляет слово "кузнец".

И еще раз на человека снизошло озарение. Люди бронзового века узнали о существовании железа - более твердого металла, чем бронза. Вначале железо было очень редким и дорогим металлом, так как это были обломки метеоритов. Получить его из рудного камня, как получали медь, казалось невозможным. Дело в том, что железо прочнее меди связано с рудой, в состав которой оно входит. Выплавить железо из руды на костре не удастся, для этого необходимо более "жаркое пламя".

Секрет плавки железа был открыт примерно в 1500 г. до н. э. в Малой Азии. Как было

установлено, столь необходимое "жаркое пламя" может дать древесный уголь, если через горящий уголь продувать воздух. Первыми широко применять железо начали хетты (один из народов, населявших Малую Азию). В письме хеттского царя (датируемом 1280 г. до н. э.) наместнику богатого железом горного района совершенно определенно говорится о производстве железа.

Чистое железо не очень твердое. Однако в процессе плавки железо может вобрать в себя столько углерода из древесного угля, что в результате образуется поверхностный слой сплава железа и углерода, называемого сталью. Этот сплав тверже самой лучшей бронзы, и изготовленный из него наконечник после заточки долго остается острым. Получение стали явилось поворотным моментом в истории развития металлургии и в истории развития общества Наступил железный век.

Располагавшие железным оружием дорийцы вторглись в 1100 г. до н. э. на Балканский полуостров и разгромили микенских греков. Микенские греки были более высокоцивилизованным народом, но еще не имели стали и были вооружены бронзовым оружием. Часть греков проникла в Ханаан и принесла с собой железное оружие. Это были те самые филистимляне, о которых так много говорится в Ветхом завете. И пока евреи не получили железного оружия (а это случилось при царе Сауле), они были по существу беспомощны.

Ассирийская армия была первой армией, полностью оснащенной железным оружием хорошего качества. Благодаря такому превосходству в вооружении ассирийцы покорили многие соседние народы и к 900 г. до н.э. основали могущественное государство.

Расцвету древнегреческой философии предшествовали определенные успехи, достигнутые в прикладной химии. Египетские мастера занимались производством металлов, красителей, они научились бальзамированию.

Согласно одной из теорий, слово *khemeia* происходит от древнего названия Египта - *Kham* (в английском переводе Библии оно превратилось в *Ham*), и, таким образом, оно должно означать "египетское искусство". Однако в настоящее время более популярно другое объяснение. Предполагается, что слово *г ртуть* - современное название металла, а древнее название ртути - *hydrargium*. т. е. "жидкое серебро"; почти идентично старое английское название - "живое серебро" (*quicksilver*). Эта более или менее намеренная неясность языка химии имела два отрицательных следствия. Во-первых, она приводила к торможению прогресса, так как каждый работавший в этой области пребывал в неведении или по крайней мере терялся в догадках относительно того, чем же занимаются его коллеги, так что нельзя было ни учиться на ошибках, ни перенимать опыт. Во-вторых, любой мошенник и шарлатан мог, при условии, что он непонятно изъяснялся, выдать себя за серьезного ученого. Отличить ученого от плута было довольно трудно.

Первым значительным представителем греко-египетского *khemeia*, имя которого дошло и до нас, был Болос из Менде (ок. 200 г. до н. э.), города в дельте Нила. В своих работах Болос использовал имя Демокрита, и поэтому его называют "Болос-Демокрит" или иногда "Псевдо-Демокрит". Болос посвятил себя одной из важнейших задач *khemeia* - превращению одного металла в другой, и в частности превращению свинца или железа в золото (трансмутация).

Согласно теории о четырех элементах, различные вещества на Земле различаются только по характеру сочетания элементов. Эту гипотезу можно было принять вне зависимости от атомистических воззрений, так как элементы могут смешиваться и как атомы, и как однородные вещества. Действительно, предположение о том, что сами элементы взаимозаменяемы, не было лишено оснований. Вполне можно было допустить, что вода при испарении превращается в воздух, который в свою очередь превращается в воду во время дождя. Дерево при нагревании превращается в огонь и дым (вид воздуха) и т. п.

Почему же в таком случае не допустить возможность любого изменения? Может быть, все зависит только от выбора метода? Красноватый камень можно, используя ряд приемов, превратить в серое железо. Однако во времена Ахилла - храбрейшего из древнегреческих

героев эти приемы были неизвестны, и Ахилл вынужден был осаждать Трою, облачившись в бронзовые доспехи.

Почему же нельзя, используя какие-то другие способы, не известные во времена Александра Великого, превратить серое железо в желтое золото?

На протяжении столетий химики самозабвенно старались отыскать способ получения золота. Некоторые из них пришли к выводу, что проще и выгоднее сделать вид, что это им удалось, так как это давало власть и создавало репутацию. Подобные мошенничества продолжались вплоть до нового времени, но мы не будем касаться этой стороны *khemeia*.

Болос в своих работах приводил подробные описания методов получения золота, но это не было мошенничеством. Можно, например, сплавить медь с металлическим цинком и получить латунь - сплав желтого цвета, т. е. цвета золота. Весьма вероятно, что для древних исследователей изготовление металла цвета золота и означало изготовление самого золота.

Однако в эпоху Древнего Рима общий упадок греческой культуры сказался и на искусстве *khemeia*. После 100 г. н.э. к старым знаниям фактически перестали добавляться новые, зато работы старых авторов все чаще и чаще стали истолковываться в мистическом духе.

Например, приблизительно в 300 г. н.э. египтянин Зосима написал энциклопедию - 28 книг, которые охватывали все знания по *khemeia*, собранные за предыдущие пять или шесть веков. Ценность этой энциклопедии не слишком велика. Конечно, в ней можно найти любопытные сведения, в частности, о мышьяке. Зосима описал методы получения ацетата свинца; он указал, что у этого ядовитого соединения сладковатый вкус (название "свинцовый сахар" дошло до наших дней). Окончательный удар *khemeia* нанес страх. Римский император Диоклетиан боялся, что получение дешевого золота окончательно подорвет шаткую экономику разваливающейся империи. Он приказал уничтожить труды по *khemeia*, и это одна из причин того, почему их так мало дошло до наших дней.

Другой причиной было распространение христианства. "Языческие знания" стали не популярны, а искусство *khemeia*, тесно связанное с древней египетской религией, казалось особенно подозрительным, и вскоре оно фактически стало нелегальным.

Древний Рим в целом стал отходить от древнегреческой культуры. Христианство разбивалось на секты, одна из них приняла название несторианской - по имени сирийского монаха Нестора, жившего в V в. Ортодоксальные христиане Константинополя преследовали несториан, и часть из них бежала на восток, в Персию; персидские монархи благоволили к ним (вероятно, надеясь использовать их против Рима). Несториане принесли с собой в Персию греческую культуру; наивысший подъем их власти и влияния приходится приблизительно на 550 г. н.э.

АРАБЫ

В VII в. на мировой арене появились арабы. До тех пор они жили изолированно в пустынях Аравийского полуострова, "но со второй половины первого тысячелетия под знаменем новой религии - ислама, начали победоносное шествие и захватили большие районы западной Азии и северной Африки. В 641 г. н. э. они вторглись в Египет и вскоре заняли всю страну, а через несколько лет такая же судьба постигла и Персию. Возникла огромная арабская империя.

Подражая древним властителям, арабские халифы начали покровительствовать наукам, и в VIII-IX вв. появились первые арабские химики. Арабы преобразовали слово *khemeia* в *al-kimiya*. Европейцы позднее заимствовали это слово у арабов, и в результате в европейских языках появились термины "алхимия" и "алхимик". Термин "алхимия" сейчас употребляют, когда говорят о периоде истории химии, охватывающем около двух тысячелетий, начиная с 300 г. и до 1600 г.

Впервые с *khemeia* арабы познакомились довольно необычным образом. В 670 г. корабли арабского флота, осаждавшего Константинополь (самый большой и сильный город христианского мира), были сожжены "греческим огнем" химической смесью, образующей при горении сильное пламя, которое нельзя погасить водой. По преданию, эту смесь

изготовил занимавшийся khemeia Каллиник, который бежал из своего родного Египта (или, может быть, Сирии), спасаясь от арабов.

Страницы европейской истории химии периода между 300 и 1100 гг. фактически пусты. После 650 г. развитие греко-египетской алхимии полностью контролировалось арабами, и так продолжалось в течение пяти веков. Следы этого периода сохранились в ряде химических терминов с арабскими корнями: alembic (перегонный куб), alkali (щелочь), alcohol (спирт), sarboi (оплетенный бутыль), narhta (лигроин), zircon (цирконий) и др.

Самым талантливым и прославленным арабским алхимиком был Джабир ибн Хайян (721-815), ставший известным в Европе позднее под именем Гебер. Он жил во времена наивысшего расцвета арабской империи (при Гарун аль-Рашиде, прославленном в "Тысяча и одной ночи"). Многочисленные труды Джабира написаны достаточно понятным языком. (Многие книги, приписанные ему, правда, могли быть написаны и позднее другими алхимиками.) Джабир описал нашатырный спирт и показал, как приготовить свинцовые белила. Он перегонял уксус, чтобы получить уксусную кислоту - самую сильную из известных в то время кислот. Ему удалось получить слабый раствор азотной кислоты.

Джабир изучал возможность трансмутации металлов, и эти его исследования оказали сильнейшее влияние на последующие поколения алхимиков. Джабир полагал, что ртуть является особым металлом, так как благодаря своей жидкой форме она содержит очень мало примесей. Столь же необычными свойствами обладает и сера: она способна воспламениться (и к тому же она желтая, как и золото). Джабир считал, что все остальные семь металлов образуются из смеси ртути и серы, "созревающей" в недрах земли. Труднее всего образуется золото - наиболее совершенный металл. Поэтому, чтобы получить золото, необходимо найти вещество, ускоряющее "созревание" золота.

В старинных преданиях говорилось, что это вещество представляет собой сухой порошок. Греки называли его хегіон, или "сухой", арабы изменили его на al-iksir, и в конце концов в европейских языках появилось слово эликсир. В Европе это удивительное вещество получило название философского камня, (Вспомним, что до 1800 г. "философами" называли всех "ученых".) Эликсир должен был обладать и другими чудесными свойствами: излечивать от всех болезней и, самое главное, давать бессмертие. И в последующие столетия алхимики шли двумя параллельными путями: одни искали золото, другие эликсир жизни, дававший бессмертие.

Другой арабский алхимик Ар-Рази (865-925), ставший известным в Европе под именем Разес, занимался медициной и алхимией. Он завоевал почти такую же известность, как и Джабир. Ар-Рази описал методику приготовления гипса и способа наложения гипсовой повязки для фиксации сломанной кости. Он изучил и описал металлическую сурьму. Джабир рассматривал серу как принцип горючести, ртуть как принцип металличности, Ар-Рази добавил к этим двум принципам третий - принцип твердости, или соль. Летучая ртуть и воспламеняющаяся сера образовывали твердые вещества только в присутствии третьего компонента - соли. Ар-Рази интересовался медициной больше, чем Джабир, но самым знаменитым врачом был бухарец Ибн-Сина (ок. 980-1037), гораздо более известный под латинизированным именем Авиценна. Его сочинения служили важнейшими руководствами для врачей в течение многих веков. Авиценна единственный из алхимиков не верил в возможность получения золота из других металлов.

ВОЗРОЖДЕНИЕ В ЕВРОПЕ

Авиценна был последним крупным ученым арабского мира; наступала пора упадка. Опустошительные набеги монгольских орд ускорили этот процесс. Центр научной мысли вновь переместился в Европу.

В 1096 г. начался первый Крестовый поход; христиане начали отвоевывать у мусульман захваченные ими земли. В 1099 г. христиане завоевали Иерусалим. Почти двести лет на побережье Сирии просуществовало христианское государство. Произошло некоторое смешение культур, и горсточка христиан, возвратившихся в Европу, познакомила европейцев с достижениями арабской науки. В то же самое время христиане постепенно

возвращали себе Испанию, захваченную арабами в начале VIII в. Во время этих войн христианская Европа узнала о блестящей мавританской цивилизации. Европейцы узнали, что арабы обладатели книжных сокровищ: переведенных ими трудов греческих ученых, например Аристотеля, и сочинений своих ученых, например Авиценны.

Несмотря на сопротивление арабов, не желавших передавать столь ценные труды своему заклятому смертельному врагу, начались попытки перевода этих трудов на латинский язык. Этому начинанию всячески способствовал французский ученый Герберт (ок. 940-1003), который в 999 г. стал папой Сильвестром II.

Английский ученый Роберт из Честера был среди тех, кто первым перевел (ок. 1144 г.) арабские труды по алхимии на латинский язык. У него нашлось немало последователей. Лучшим переводчиком был итальянец Герард Кремонский (ок. 1114-1187). Большую часть своей жизни он провел в испанском городе Толедо, который был отвоеван христианами в 1085 г., и перевел с арабского языка 92 трактата.

Начиная с 1200 г. европейские ученые могли, близко познакомившись с наследием алхимиков прошлого, попытаться вновь двинуться вперед по тернистому пути познания.

Первым видным европейским алхимиком был Альберт Больштедский (около 1193-1280), более известный как Альбертус Магнус (Альберт Великий). Он тщательно изучил работы Аристотеля, и именно благодаря ему философия Аристотеля приобрела особое значение для ученых позднего Средневековья и начала Нового времени. Альберт Великий в описаниях своих алхимических опытов дает настолько точную характеристику мышьяку, что ему иногда приписывают открытие этого вещества, хотя, по крайней мере в примесях, мышьяк был известен алхимикам и до него.

Современником Альберта Великого был английский ученый монах Роджер Бэкон (1214-1292), который известен сегодня прежде всего благодаря своему четко выраженному убеждению, что залогом прогресса науки являются экспериментальная работа и приложение к ней математических методов. Он был прав, но мир еще не был готов к этому. Бэкон попытался написать всеобщую энциклопедию знаний и в своих работах дал первое описание пороха. Иногда его называют изобретателем пороха, но это не соответствует действительности: настоящий изобретатель остался неизвестным. С изобретением пороха средневековые замки перестали быть неприступными твердынями, а пеший воин стал более опасен, чем закованный в латы всадник.

Сочинения средневековых алхимиков - испанского врача Арнальда из Виллановы (ок. 1240-1311) и Раймунда Луллия (1235-1313), современников Бэкона, пронизаны мистическим духом алхимии (правда, сомнительно, что они в действительности были авторами этих работ). Эти труды в основном посвящены трансмутации. Считалось, что Луллий даже изготавливал золото для расточительного короля Англии Эдуарда I.

Имя самого видного из средневековых алхимиков осталось неизвестным; он подписывал свои труды именем Джабира, арабского алхимика, жившего за шесть веков до него. Этот "Псевдо-Джабир" был, вероятно, испанцем и жил в XIV в. Псевдо-Джабир первым описал серную кислоту - одно из самых важных соединений сегодняшней химии (после воды, воздуха, угля и нефти). Он также описал, как образуется сильная азотная кислота. Серную и сильную азотную кислоты получали из минералов, в то время как все ранее известные кислоты, например уксусную кислоту, получали из веществ растительного или животного происхождения.

Открытие сильных минеральных кислот было самым важным достижением химии после успешного получения железа из руды примерно за 3000 лет до того. Используя сильные минеральные кислоты, европейские химики смогли осуществить многие новые реакции и смогли растворить такие вещества, которые древние греки и арабы считали нерастворимыми (у греков и арабов самой сильной кислотой была уксусная).

Минеральные кислоты дали человечеству гораздо больше, чем могло бы дать золото, если бы его научились получать трансмутацией. Если бы золото перестало быть редким металлом, оно мгновенно бы обесценилось. Ценность же минеральных кислот тем выше, чем

они дешевле и доступнее. Но, увы, такова человеческая природа - открытие минеральных кислот не произвело впечатления, а поиски золота продолжались.

Шло время, и алхимия после многообещающего начала стала вырождаться в третий раз (в первый раз у греков, второй - у арабов). Поиск золота стал делом многих мошенников, хотя и великие ученые даже в просвещенном XVII в. (например, Бойль и Ньютон) не могли устоять от соблазна попытаться добиться успеха на этом поприще,

И вновь, как при Диоклетиане, изучение алхимии было запрещено. Запрещение преследовало две цели: нельзя было допустить обесценивания золота (вдруг трансмутация удастся!) и необходимо было бороться против мошенничества. В 1317 г. папа Иоанн XXII предал алхимию анафеме, и честные алхимики, вынужденные скрывать, чем они занимаются, стали изъясняться еще более загадочно, хотя жульничество на почве алхимии процветало, как и прежде.

Однако ветры перемен в Европе уже бушевали. Восточно-Римская (или Византийская) империя доживала последние дни. В 1204 г. столица империи Константинополь был варварски разграблен крестоносцами, и большинство памятников греческой культуры, сохранившихся к тому времени, было полностью разрушено. В 1261 г. греки вернули город, но от прежнего его величия уже не сохранилось и следа. В последующие два столетия войска турецких завоевателей все неумолимо приближались к городу, и в 1453 г. Константинополь пал и навсегда стал турецким. Спасаясь от нашествия турок, греческие ученые бежали в Европу, и те знания, те традиции древнегреческой науки, которые они принесли с собой, оказали мощное стимулирующее действие. В Европе начался период кропотливых исследований и важных открытий.

В XIII в. был изобретен магнитный компас и начало развиваться мореплавание. Сначала было проведено изучение побережья Африки, а в 1497 г. совершено путешествие вокруг этого континента. Европа начала торговать непосредственно с Индией и другими странами этого региона, не прибегая к посредничеству мусульманских стран. Еще более впечатляющими были путешествия Христофора Колумба (1492-1504 гг.), благодаря которым (хотя сам Колумб никогда не признавал этого факта) была открыта другая половина мира.

Европейцы узнали так много нового, не известного великим греческим философам, что возникало ощущение, что греки, в конце концов, были обычными людьми, которые, как и все люди, могли ошибаться, и поэтому необязательно принимать на веру все их утверждения, Европейцы доказали свое превосходство в навигации, следовательно, можно было попытаться превзойти их и в других науках.

В этом же "веке открытий" немецкий изобретатель Иоганн Гутенберг (ок. 1397-1468) изобрел первый печатный станок с подвижными литерами, собирая которые в текст можно было напечатать любую книгу.

Впервые в истории стало возможным выпускать дешевые книги и в достаточном количестве. Одной из первых была напечатана поэма Лукреция (см. гл. 1), благодаря которой в Европе широко распространилось атомистическое учение. С изобретением книгопечатания непопулярные взгляды не исчезали только потому, что никто не хотел взять на себя труд по переписке таких книг.

В 1543 г. были напечатаны две книги, авторы которых высказывали очень смелые по тем временам взгляды. Автором одной из этих книг был польский астроном Николай Коперник (1473-1543), утверждавший, что центром Вселенной является не Земля, как считали древние астрономы, а Солнце. Автор другой книги - фламандский анатом Андрей Везалия (1514-1564) - с беспрецедентной до него точностью описал анатомию человека. Труд Везалия, опиравшегося на личные наблюдения, опровергал многие представления, восходившие к древнегреческим источникам.

Это одновременное ниспровержение греческой астрономии и медицины (хотя греческие представления в ряде мест еще господствовали в течение столетия и даже более) ознаменовало начало научной революции, которая проникала в мир алхимии весьма медленно, проявляясь в основном в минералогии и медицине.

КОНЕЦ АЛХИМИИ

Совершенно иное понимание задач химии наметилось в работах двух современников врачей - немца Георга Бауэра (1494-1555) и швейцарца Теофраста Бомбаста фон Гогенгейма (1493-1541).

Бауэр, более известный под именем Агриколы (что в переводе с латинского означает "крестьянин"), интересовался минералогией и ее возможной связью с медициной. Попытки обнаружить такую связь (как и сочетание врач-минералог) вообще характерны для химии того периода и последующих двух с половиной столетий. В своей книге "О металлургии" ("De Re Metallica") (рис. 3), изданной в 1556 г., Агрикола систематизировал практические знания, почерпнутые им у современных ему рудокопов.

Эта книга, написанная понятным языком, с прекрасными иллюстрациями шахтных устройств сразу же стала популярной и считается классической работой и в наше время. Это самая значительная работа по химической технологии, появившаяся до 1700 г.; со времени ее издания минералогия была признана как наука. (Самой ценной книгой по металлургии и общей прикладной химии до Агриколы считали труд монаха Теофила, вероятнее всего грека, жившего примерно в X в.) Фон Гогенгейм вошел в историю под выбранным им самим именем Парацельс, т. е. "превосходящий Цельса". Цельс - древнеримский ученый, писавший о медицине. Его труды, незадолго до того напечатанные, оказались (благодаря Парацельсу) предметом чрезмерного и необоснованного поклонения.

Парацельс, как и Авиценна (см. разд. "Арабы"), считал, что основная задача алхимии - не поиски путей получения золота, а изготовление лекарственных средств. До Парацельса в качестве таковых использовались преимущественно растительные препараты, но Парацельс свято верил в эффективность лекарственных средств, изготовленных из минералов. Несмотря на свое негативное отношение к идее трансмутации, Парацельс был алхимиком старой школы. Он принимал древнегреческое учение о четырех элементах-стихиях и учение арабов о трех элементах-принципах (ртуть, сера и соль), искал эликсир жизни (и даже утверждал, что нашел его). Парацельс был уверен, что он открыл металлический цинк, и иногда честь этого открытия действительно приписывают ему, хотя цинк в составе руды и в сплаве с медью (латунь) был известен еще в древности. Труды Парацельса вызвали споры даже полвека спустя после его смерти. Последователи Парацельса усилили мистическое содержание взглядов своего учителя и свели некоторые из них до суеверий, и это в тот период, когда алхимики начали стремиться к конкретности и рационализму!

Рис. 3. Титульный лист книги Агриколы.

Немецкий врач-алхимик Андрей Либав (ок. 1540-1616), известный под латинизированным именем Либавия, опубликовал в 1597 г. "Алхимию" - первый в истории учебник химии.

Либавий первым описал приготовление соляной кислоты, тетраоксида олова, сульфата аммония и "царской водки" (aqua regia) - смеси азотной и соляной кислот, получившей свое название из-за способности растворять золото. Либавий считал, что минеральные вещества можно опознать по форме кристаллов, полученных после испарения раствора. Тем не менее он был уверен, что превращение металлов в золото возможно и открытие способа изготовления золота явится венцом химической науки, хотя и он соглашался с Парацельсом в том, что основная задача алхимии - служить медицине. В своем труде, написанным четким, ясным языком, Либавий яростно атаковал туманные теории, которые он называл "парацельсианскими".

В 1604 г. немецкий издатель Иоганн Тельде выпустил книгу некоего средневекового монаха Василия Валентина (скорее всего это был псевдоним самого Тельде), озаглавленную "Триумфальная колесница антимония", которая получила широкую известность.

Наиболее видным представителем нового направления в химии был немецкий химик Иоганн Рудольф Глаубер (1604-1668). Врач по образованию, он занимался разработкой и совершенствованием методов получения различных химических веществ. Глаубер разработал метод получения соляной кислоты воздействием серной кислоты на поваренную

соль. Тщательно изучив остаток, получаемый после отгонки кислот (сульфат натрия), Глаубер установил, что это вещество обладает сильным слабительным действием. Он назвал это вещество "удивительной солью" (sal mirabile) и считал его панацеей, почти эликсиром жизни. Современники Глаубера назвали эту соль глауберовой, и это название сохранилось до наших дней. Глаубер занялся изготовлением этой соли и ряда других, по его мнению, ценных лекарственных средств и достиг на этом поприще успеха. Жизнь Глаубера была менее богата бурными событиями, чем жизнь его современников, занимавшихся поисками путей получения золота, но она была более благополучной.

Даже те, кто был глух к научным доводам, не могли не поддаться влиянию реальной жизни. Развивающиеся наука о минералах и медицина оказались настолько заманчивыми и доходными, что не было никакого смысла терять время на нескончаемые безуспешные попытки получить золото.

И действительно, в XVII в. значение алхимии неуклонно уменьшалось, а в XVIII в. она постепенно стала тем, что мы сегодня называем химией.

Глава 3 ПЕРЕХОДНЫЙ ПЕРИОД ИЗМЕРЕНИЕ

Несмотря на бурное развитие, химическая наука в определенном отношении все-таки отставала от других областей знания.

Так, например, в астрономии значение количественных измерений и необходимость математической обработки данных были уяснены еще в древние времена. Объясняется это скорее всего тем, что астрономические проблемы, рассматриваемые древними, были относительно просты и некоторые из этих проблем можно было решать, пользуясь только планиметрией.

Итальянский ученый Галилео Галилей (1564-1642), изучавший в 90-х годах XVI в. падение тел, первым показал необходимость тщательных измерений и математической обработки данных физического эксперимента. Результаты его работ почти столетие спустя привели к важным выводам английского ученого Исаака Ньютона (1642-1727). В своей книге "Начала математики" ("Principia Mathematica"), опубликованной в 1687 г., Ньютон сформулировал три закона движения, которыми завершилась разработка основ механики. На базе этих законов в последующие два столетия развивалась классическая механика. В той же книге Ньютон сформулировал и закон тяготения, который более двух веков также служил вполне приемлемым объяснением движения планет и звездных систем и до сих пор справедлив в пределах представлений классической механики.

При выведении закона тяготения Ньютон применил теорию чисел - новую и мощную область математики, которую он сам и разрабатывал.

При Ньютоне научная революция достигла своей высшей точки. Авторитет древнегреческих теорий был заметно поколеблен, ученые Западной Европы намного превзошли их, и можно было больше не оглядываться назад.

В химии переход от простого качественного описания к тщательному количественному измерению был осуществлен лишь столетие спустя после открытий Ньютона. Как это ни парадоксально, но, возводя здание классической астрономии и физики, грандиозность и красота которого восхитили научный мир, Ньютон оставался приверженцем алхимии и страстно искал рецепт превращения металла в золото.

Но химики лишь отчасти виноваты в том, что путь к неосуществимой цели оказался столь долгим. Все дело в том, что количественные методы Галилея и Ньютона очень трудно приложить к химии. Ведь для этого необходимо результаты химических опытов представить таким образом, чтобы их можно было подвергнуть математической обработке.

И все же химики делали успехи, и уже во времена Галилея наблюдались слабые приметы грядущей революции в химии. Эти приметы имелись, например, в работе фламандского врача Яна Баптиста Ван Гельмонта (1579- 1644). Ван Гельмонт выращивал дерево в заранее отмеренном количестве почвы, куда систематически добавлял воду, и систематически тщательно взвешивал дерево. Поскольку Ван Гельмонт надеялся обнаружить

источник живой ткани, образуемой деревом, то можно сказать, что он применял измерение и в химии, и в биологии.

До Ван Гельмонта единственным известным и изученным воздухоподобным веществом был сам воздух, который казался достаточно характерным и непохожим на другие вещества, чтобы древние греки посчитали его одним из элементов (гл. 1). Несомненно, алхимики в своих опытах часто получали что-то подобное "воздуху" и "пару", но эти вещества были почти неуловимы, их трудно было изучать и наблюдать и легко было не заметить. О том, что к этим веществам относились как к таинственным, говорят хотя бы их названия. Так, спирт в переводе с латинского означает "дух", "душа", "дыхание".

Ван Гельмонт первым из химиков обратил внимание на пары, образующиеся в процессе некоторых реакций, и начал их изучать. Он обнаружил, что пары в чем-то напоминают воздух, но во многом от него и отличаются. В частности, он нашел, что на воздух похожи и пары, образующиеся при горении дерева, хотя ведут себя они несколько иначе.

Эти воздухоподобные вещества, не имеющие постоянного объема или формы, напомнили Ван Гельмонту греческий "хаос" - вещество первоздания, бесформенное и беспорядочное, из которого (согласно древнегреческой мифологии) был создан космос. Ван Гельмонт назвал эти пары "хаосом", но, согласно фламандскому фонетическому строю, это слово произносится как газ⁴. Так называют воздухоподобные вещества и в наше время.

Газ, полученный при горении дерева и изученный им с особой тщательностью, он назвал "лесной газ" (*gas sylvestre*). Сегодня мы называем этот газ диоксидом углерода. При изучении газов как простейшей формы материи впервые была использована техника точных измерений, т. е. количественного исследования явлений, которая и послужила столбовой дорогой в мир современной химии.

ЗАКОН БОЙЛЯ

К концу жизни Ван Гельмонта интерес к газам и особенно к воздуху наиболее распространенному газу неожиданно возрос. В 1643 г. итальянский физик Эванджелеста Торричелли (1608-1647) сумел доказать, что воздух оказывает давление. Торричелли показал, что воздух может поддерживать столбик ртути высотой в 28 дюймов. Так был изобретен барометр. После этого открытия газы стали казаться менее загадочными. Как выяснилось, подобно жидкостям и твердым веществам, они имеют вес и от жидкостей и твердых веществ отличаются главным образом гораздо меньшей плотностью.

Немецкий физик Отто фон Герике (1602-1686) убедительно показал, что атмосферный воздух имеет вес. Герике изобрел воздушный насос, при помощи которого воздух выкачивали из сосуда, так что давление воздуха снаружи сосуда становилось больше, чем внутри. В 1654 г. по заказу Герике был изготовлен прибор, состоящий из двух медных полушарий (чтобы соединение было плотным, между полушариями помещали кожаное кольцо, пропитанное раствором воска в скипидаре). Соединив эти полушария, Герике откачал из полученного шара воздух. Наружный воздух давил на полушария и удерживал их вместе, так что их не могли разъединить упряжки лошадей, изо всех сил тянувшие полушария в разные стороны. Когда же Герике впускал в шар воздух, полушария распадались сами. Этот опыт пошел в историю науки как опыт с "магдебургскими полушариями".

Такого рода демонстрации повышали интерес к свойствам воздуха. В частности, они привлекли внимание ирландского химика Роберта Бойля (1627-1691). Сконструированный Бойлем воздушный насос был совершеннее насоса Герике. Освоив методику откачивания воздуха из сосуда, Бойль решил попытаться сделать обратное - сжать воздух.

В ходе опытов Бойль обнаружил, что объем данной массы воздуха обратно пропорционален давлению (рис. 4). Заливая ртуть в очень длинную трубку особой U-образной формы, Бойль запирал пробу воздуха в коротком запаянном конце трубки. Добавляя ртуть в длинный открытый конец трубки, можно было увеличить давление. Когда Бойль добавил такое количество ртути, при котором давление на воздух увеличилось вдвое

(удвоенная масса ртути), объем воздуха уменьшился также вдвое. Если давление увеличивалось втрое, объем уменьшался втрое. В то же время, если давление снижалось, объем увеличивался. Открытая Бойлем обратная зависимость объема от давления получила название закона Бойля, Первое сообщение об этом законе было опубликовано в 1662 г.

Бойль не оговорил особо, что его закон действителен только при постоянной температуре. Возможно, он понимал это и считал само собой разумеющимся. Французский физик Эдм Мариотт (1630- 1684), независимо от Бойля открывший этот закон в 1676 г., особо подчеркивал, что такая зависимость объема от давления наблюдается только при постоянной температуре. По этой причине закон Бойля в континентальной Европе часто называют законом Мариотта.

Рис. 4. Схема опыта (а), показывающего, что объем газа обратно пропорционален давлению при постоянной температуре (закон Бойля), и полученная кривая зависимости объем - давление (б). Ртуть, налитая в длинное плечо U-образной трубки, запирает воздух в коротком плече. С увеличением массы ртути высота столбика воздуха уменьшается.

Закон Бойля явился первой попыткой применить точное измерение при выяснении причин изменения веществ⁵. опыты Бойля привлекли внимание атомистов, к числу которых принадлежал и сам Бойль. Как уже отмечалось выше, атомистические взгляды античных ученых, изложенные в поэме Тита Лукреция Кара (см. гл. 1), разделяли многие европейские ученые того времени. Убежденным атомистом был и французский философ Пьер Гассенди (1592-1655), под влиянием которого сторонником атомистической теории стал и Бойль⁶.

Однако, пока химики занимались изучением только жидкостей и твердых веществ, доказать справедливость этой теории было чрезвычайно трудно, и во времена Бойля таких доказательств было ничуть не больше, чем во времена Демокрита (см. гл. 1). Жидкости и твердые вещества подвергаются сжатию лишь в незначительной степени. Если эти вещества и состоят из атомов (материя дискретна) и атомы в них соприкасаются между собой, то больше сблизить их нельзя. Если же жидкости и твердые вещества представляют собой "сплошное" вещество (материя непрерывна), то их также очень трудно подвергнуть сжатию. Поэтому доказать, что жидкости и твердые вещества состоят из атомов, было очень трудно. Как же доказать, что атомы существуют?

В отличие от твердых веществ и жидкостей воздух, как наблюдали еще в древности, а Бойль в свое время наглядно доказал, легко сжимается. Объяснить это можно, только приняв, что воздух состоит из мельчайших атомов, разделенных пустым пространством. Сжатие воздуха в этом случае обусловлено сближением атомов в результате сжатия пустого пространства между ними.

Если газы состоят из атомов, то вполне можно допустить, что жидкости и твердые вещества также состоят из атомов. Например, как испаряется вода? В процессе испарения "исчезают" одна за другой мельчайшие частички воды. Совсем нетрудно представить себе, что вода превращается в пар атом за атомом. Если воду нагревают, она кипит, и при этом образуется пар. Водяной пар имеет физические свойства воздухоподобного вещества, и, следовательно, вполне естественно предположить, что он состоит из атомов. Но если вода состоит из атомов, будучи в газообразной форме, то почему она не может состоять из атомов, находясь в жидком или твердом (в виде льда) состоянии? А если это справедливо для воды, то почему не может быть справедливо для всех видов материи?

Доводы такого рода производили впечатление, и впервые за свою двухтысячелетнюю историю атомизм начал завоевывать приверженцев, число которых быстро росло (например, к атомизму пришел Ньютон). И тем не менее понятие "атом" оставалось неясным. Об атомах ничего нельзя было сказать, кроме того, что если они существуют, то с их помощью проще объяснять поведение газов. Лишь спустя полтора столетия атомизм вновь привлек внимание химиков.

НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ЭЛЕМЕНТЫ

Ко времени начала научной деятельности Бойля термины "алхимия" и "алхимик" почти исчезли из научной литературы. Не удивительно, что Бойль опустил первый слог слова

"алхимик" в названии своей книги "Химик-скептик" ("The Sceptical Chymist"), опубликованной в 1661 г. С тех пор наука стала называться химией, а работающие в этой области - химиками.

Бойль называл себя "скептиком", потому что не хотел более слепо следовать представлениям античных авторитетов. В частности, Бойль не принимал утверждения древних философов, считавших, что элементы мироздания можно установить умозрительно. Вместо этого он определял элементы как таковые практическим путем. Элемент, как считалось еще со времен Фалеса (см. гл. 1), - это одно из основных простых веществ, составляющих Вселенную. Но установить, что предполагаемый элемент действительно является элементом, можно только с помощью эксперимента. Если вещество можно разложить на более простые компоненты, следовательно, оно не является элементом, а полученные более простые вещества могут представлять собой элементы или по крайней мере могут считаться таковыми до тех пор, пока химики не научатся разлагать и их на еще более простые вещества. Если два вещества являются элементами, то они могут соединиться и образовать третье однородное вещество, называемое соединением. Такое соединение можно разложить на два исходных элемента. Но с этой точки зрения термин "элемент" имеет только условное значение. Вещество типа, например, кварца может считаться элементом до тех пор, пока химику-экспериментатору не удастся получить из него два или более простых вещества. В соответствии с этой точкой зрения считать какое-либо вещество элементом можно было лишь условно, поскольку с развитием науки этот предполагаемый элемент удастся расщепить на еще более простые вещества. Только в XX столетии стало возможным установить природу элементов не в условном плане (см. гл. 13).

Тот простой факт, что Бойль добивался экспериментального подхода к определению элементов (подхода, который в конечном счете и был принят), не означал, что он знал о существовании различных элементов. Вполне могло оказаться, что экспериментальный подход подтвердил бы существование "греческих элементов": огня, воздуха, воды и земли.

Бойль, например, был убежден в обоснованности воззрений алхимиков, считавших, что металлы не являются элементами и что одни металлы можно превратить в другие. В 1689 г. Бойль настоял, чтобы Британское правительство отменило закон, запрещающий алхимикам производить золото (правительство, кроме всего прочего, опасалось экономических последствий), так как верил в возможность получения золота из "основного металла"⁷ и считал, что, получив таким образом золото, удастся подтвердить атомную структуру материи.

Однако в этом Бойль ошибался: металлы оказались элементами. В самом деле, девять веществ, которые мы сегодня считаем элементами, были известны еще древним: семь металлов (золото, серебро, медь, железо, олово, свинец, ртуть) и два неметалла (углерод и сера). Кроме того, элементами являются и четыре вещества, также известные еще средневековым алхимикам. Это мышьяк, сурьма, висмут и цинк,

Один из элементов едва не открыл сам Бойль, В 1680 г. он выделил фосфор из мочи. Однако лет за десять до него то же самое сделал немецкий химик Хенниг Бранд (? - после 1710 г.), которого иногда называют "последним алхимиком". Он открыл фосфор совершенно случайно во время поисков философского камня, который собирался найти в моче. Правда, ряд литературных источников свидетельствует, что способ получения фосфора, вероятно, знали еще арабские алхимики XII в.

ФЛОГИСТОН

К числу открытий XVII в., имевших особое значение для развития химии, следует отнести открытие существования давления столба атмосферного воздуха, возможности использования этого давления и возможности создания вакуума. Некоторые исследователи стали приходить к мысли, что вакуум можно получить и без использования воздушного насоса. Предположим, вы вскипятили воду и заполнили камеру паром, затем снаружи остудили камеру холодной водой. При этом пар внутри камеры конденсируется в водяные капли, и в камере создается вакуум. Если одну из стенок такой камеры сделать подвижной,

то под действием давления воздуха эта подвижная стенка будет втягиваться в камеру. Когда же в камеру попадет новая порция пара, стенка будет вновь выталкиваться, а затем при конденсации пара вновь втягиваться в камеру. Можно представить себе, что подвижная стенка - это своего рода поршень, совершающий возвратно-поступательные движения; такси поршень можно использовать, например, в насосе, работающем на паре.

Рис. 5. Насосное устройство конструкции Ньюкомена, работавшее при атмосферном давлении. Впрыснутая в цилиндр вода вызывает конденсацию пара, в цилиндре создается вакуум, и поршень опускается вниз. Новая порция пара, поступающая в цилиндр из парового котла, возвращает поршень в исходное положение.

В 1696 г. такая паровая машина и в самом деле была создана английским горным инженером Томасом Севери (ок. 1650-1715). В этом устройстве использовался пар под большим давлением, что по тем временам было небезопасно. Примерно в то же время (1705 г.) Томас Ньюкомен (1663-1729), работавший совместно с Севери, изобрел паровую машину, которая могла работать на паре под более низким давлением (рис. 5). Однако машина Ньюкомена не была универсальной, и ее можно было использовать практически только для поднятия воды. Конструкция машины была значительно усовершенствована шотландским механиком Джеймсом Уаттом (1736-1819), который и считается создателем универсальной паровой машины.

Появление паровой машины ознаменовало собой начало промышленной революции: человек получил машину, которая, казалось, могла переделать всю тяжелую работу на свете. Человек перестал зависеть от капризов силы ветра или месторасположений падающей воды, энергию которой можно было использовать для механической работы.

Не совсем обычное использование огня в паровой машине возродило у химиков интерес к процессу горения. Почему одни предметы горят, а другие не горят? Что представляет собой процесс горения? По представлениям древних греков все, что способно гореть, содержит в себе элемент огня, который в соответствующих условиях может высвободиться. Алхимики придерживались примерно той же точки зрения, но считали, что способные к горению вещества содержат элемент "сульфур" (хотя необязательно саму серу).

В 1669 г. немецкий химик Иоганн Иоахим Бехер (1635-1682) попытался дать рационалистическое объяснение явлению горючести. Он предположил, что твердые вещества состоят из трех видов "земли", и один из этих видов, названный им "жирная земля" (*terra pinguis*), принял за "принцип горючести". Последователем весьма туманных представлений Бехера был немецкий врач и химик Георг Эрнст Шталь (1660-1734). Он еще раз обновил название "принцип горючести", назвав его флогистоном - от греческого $\phi\lambda\omicron\gamma\iota\sigma\tau\omicron\varsigma$ Резерфорд был близок к открытию четвертого газа - азота. Пристли сопутствовала удача: он выделил и изучил еще ряд газов.

Опыты Пристли с углекислым газом показали, что газы могут растворяться в воде и, следовательно "теряться", поэтому он попытался собирать газы не над водой, а над ртутью. Таким образом Пристли сумел собрать и изучить такие газы, как оксид азота (I), аммиак, хлорид водорода и диоксид серы (мы даем современные названия газов). Все эти газы настолько хорошо растворяются в воде, что, проходя через нее, полностью поглощаются.

В 1774 г. Пристли сделал, возможно, самое важное свое открытие. Как уже говорилось выше, он собирал газы над ртутью. При нагревании на воздухе ртуть образует кирпично-красную "окалину" (оксид ртути). Пристли клал немного окалины в пробирку и нагревал ее, фокусируя на ней с помощью линзы солнечные лучи. Окалина при этом вновь превращалась в ртуть, и в верхней части пробирки появлялись блестящие шарики металла. При разложении окалины выделялся газ с весьма необычными свойствами. Горючие вещества горели в этом газе быстрее и ярче, чем на воздухе. Тлеющая лучина, брошенная в сосуд с этим газом, вспыхивала ярким пламенем.

Пристли пытался объяснить это явление, используя теорию флогистона. Поскольку горючие вещества горели в этом газе весьма ярко, то они должны были очень легко выделять флогистон. Чем объяснить это? Как следует из теории флогистона, воздух легко поглощает

флогистон, но до определенного предела, после чего горение прекращается. В открытом Пристли газе горение шло лучше, чем в воздухе, и он решил, что этот газ совсем не содержит флогистона. Пристли назвал открытый им газ "дефлогистированным воздухом". (Однако через несколько лет его переименовали в кислород, этим названием мы пользуемся и сегодня.)

"Дефлогистированный воздух" Пристли казался своего рода антиподом "флогистированного воздуха" Резерфорда. В последнем газе мыши умирали, тогда как в первом были весьма деятельными.

Пристли сам попробовал подышать "дефлогистированным воздухом" и почувствовал при этом себя "легко и свободно".

Однако в открытии кислорода и Резерфорда и Пристли опередил шведский химик Карл Вильгельм Шееле (1742-1786) - представитель той плеяды химиков, которые вывели Швецию в XVIII в. на передовые позиции науки.

Приблизительно в 1735 г. шведский химик Георг Брандт (1694-1768) начал изучать голубоватый минерал, напоминавший медную руду. Несмотря на такое сходство, получить из этого минерала медь при обычной обработке не удавалось. Рудокопы полагали, что эта руда заколдована земными духами "кобольдами". В 1742-1744 гг. Брандт сумел показать, что голубоватый минерал содержит не медь, а совершенно иной металл, напоминающий по своим химическим свойствам железо. Этот металл получил название кобальт.

В 1751 г. Аксель Фредрик Кронстедт (1722-1765) открыл новый металл никель, очень похожий на кобальт; Иоганн Готлиб Ган (1745-1818) выделил в 1774 г. марганец, а Петер Якоб Гьельм (1746-1813) получил в 1782 г. молибден.

Рис. 6. Паяльная трубка, введенная в лабораторную практику шведским химиком Кронстедтом (1722-1765), более века была ключевым инструментом химического анализа; этот метод используется до сих пор. Струя воздуха повышает температуру пламени и может менять его направление.

Кронстедт при изучении минералов впервые применил паяльную трубку (рис. 6). Это была длинная, постепенно сужающаяся трубка, из узкого конца которой выходила струя сжатого воздуха.

Когда такую струю направляли в пламя, температура его повышалась. Минералы, нагреваемые в пламени паяльной трубки, окрашивали его в различные цвета, поэтому по цвету пламени можно было судить о природе и составе минерала, о природе образовавшихся паров и твердого остатка. На протяжении столетия паяльная трубка оставалась основным инструментом химического анализа.

Благодаря использованию новых технических приемов, подобных анализу в пламени паяльной трубки, химикам удалось накопить достаточно много данных о минералах. Исходя из этих данных Кронстедт вполне справедливо полагал, что минералы следует классифицировать не только в соответствии с их внешним видом, но и в соответствии с их химической структурой. В 1758 г. он выпустил книгу "Система минералогии", в которой детально описал новую систему классификации.

Эта работа была продолжена другим шведским минералогом Торберном Улафом Бергманом (1735-1784). Бергман развил теорию, объясняющую, почему одно вещество реагирует с другим веществом, но не реагирует с третьим. Он же предположил, что между веществами существует "сродство" (affinities), и составил тщательно выверенные таблицы различных величин сродства. Эти таблицы пользовались широкой известностью при жизни их создателя и пережили его на несколько десятилетий.

Шееле, еще будучи помощником аптекаря, обратил на себя внимание Бергмана, который помогал ему и поддерживал его. Шееле открыл ряд кислот растительного и животного происхождения, в том числе винную, лимонную, бензойную, яблочную, щавелевую, галловую, молочную, мочевую, а также такие минеральные кислоты, как молибденовая и мышьяковая.

Шееле получил и изучил три сильно ядовитых газа: фторид водорода, сульфид

водорода и цианид водорода. (Предполагают, что его ранняя смерть явилась результатом медленного отравления химикалиями, так как он имел обыкновение пробовать на вкус те вещества, с которыми работал.)

Шееле был в числе тех химиков, исследования которых привели к открытию многих элементов, и пользовался большим уважением шведских коллег. Наиболее важные его открытия - получение кислорода и азота (соответственно в 1771 и 1772 гг.). Шееле получал кислород, нагревая вещества, непрочно его удерживающие. В частности, он нагревал тот самый красный оксид ртути, которым несколько лет спустя воспользовался Пристли. Шееле подробно описал свои опыты по получению и столь же подробно описал свойства "огненного воздуха" (так он называл кислород), но из-за небрежности его издателя эти описания не появлялись в печати до 1777 г. К этому времени вышли труды Резерфорда и Пристли, которые и завоевали честь первооткрывателей.

ТРИУМФ ИЗМЕРЕНИЯ

К концу XVIII в. был накоплен большой экспериментальный материал, который необходимо было систематизировать в рамках единой теории. Создателем такой теории стал французский химик Антуан-Лоран Лавуазье (1743-1794). С самого начала своей деятельности на поприще химии Лавуазье понял важность точного измерения. Его первая значительная работа (1764 г.) была посвящена изучению состава минерального гипса. Нагревая этот минерал, Лавуазье удалял из него воду и определял количество полученной таким образом воды. Лавуазье принял сторону тех химиков, которые, подобно Блэку и Кавендишу, применяли измерение при изучении химических реакций. Однако Лавуазье использовал более систематический подход, что позволило ему доказать несостоятельность старых теорий, уже не только бесполезных, но и мешавших развитию химии. Даже в 1770 г. ряд ученых придерживались старого определения элементов и утверждали, что трансмутация возможна, поскольку воду, например, при длительном нагревании можно превратить в землю. Предположение о возможности превращения воды в землю считалось справедливым (вначале даже самим Лавуазье), так как при длительном нагревании воды (в течение нескольких дней) в стеклянном сосуде образовывался твердый осадок. Лавуазье решил проверить возможность превращения воды экспериментальным путем. С этой целью он в течение 101 дня кипятил воду в сосуде, в котором водяной пар конденсировался и возвращался обратно в колбу, так что возможность какой-либо потери вещества в процессе опыта была исключена. И разумеется, Лавуазье не забывал о точности эксперимента. Он взвешивал и сосуд и воду до и после нагревания.

Осадок при этом действительно появился, но вес воды не изменился. Следовательно, вода не могла образовать осадок. Однако вес самого сосуда, как выяснилось, уменьшился как раз на столько, сколько весил осадок. Другими словами, осадок появился не в результате превращения воды в землю, а в результате медленного разъедания стеклянных стенок сосуда горячей водой. Осадок образовывало выщелоченное стекло, осаждавшееся в виде твердых пластинок. Этот пример наглядно показывает, что простое наблюдение может привести к ошибочным выводам, тогда как количественное измерение позволяет установить истинные причины явления.

Вопрос о том, что такое процесс горения, интересовал всех химиков XVIII в., и Лавуазье также не мог не заинтересоваться им. В 60-х годах XVIII в. он получил золотую медаль за исследование, посвященное улучшению способов уличного освещения. В 1772 г. Лавуазье в складчину с другими химиками приобрел алмаз. Он поместил этот алмаз в закрытый сосуд и нагревал до тех пор, пока алмаз не исчез. При этом образовался углекислый газ. Таким образом было убедительно доказано, что алмаз состоит из углерода и, следовательно, алмаз ближе всех других веществ к углю.

Продолжая свои опыты, Лавуазье нагревал в закрытых сосудах с ограниченным объемом воздуха такие металлы, как олово и свинец. Сначала на поверхности обоих металлов образовывался слой окалина, но в определенный момент ржавление прекращалось. Сторонники теории флогистона сказали бы, что воздух поглотил из металла весь

содержащийся в нем флогистон. В то время уже доподлинно было известно, что окалина весит больше, чем сам металл, однако, когда после нагревания Лавуазье взвесил сосуд вместе со всем содержимым (металлом, окалиной, воздухом и пр.), оказалось, что он весит ровно столько же, сколько и до нагревания.

Из этих данных следовало, что если, частично превратившись в окалину, металл увеличил свой вес, то что-то еще из содержащегося в сосуде потеряло эквивалентное количество веса. Это "что-то еще" могло быть и воздухом. Однако в этом случае в сосуде должен был образоваться вакуум. Действительно, когда Лавуазье открыл сосуд, туда устремился воздух, и вес сосуда и его содержимого увеличился.

Таким образом Лавуазье показал, что металл превращается в окалину не в результате потери мистического флогистона, а вследствие присоединения порции самого обычного воздуха.

Это открытие позволило выдвинуть новую теорию образования металлов и руд. Согласно этой теории, в руде металл соединен с газом. Когда руду нагревают на древесном угле, уголь адсорбирует газ из руды; при этом образуются углекислый газ и свободный металл.

Таким образом, в отличие от Штала, который считал, что плавка металла включает переход флогистона из древесного угля в руду, Лавуазье представлял себе этот процесс как переход газа из руды в уголь. Однако имело ли смысл толкование Лавуазье предпочесть толкованию Штала? Да, имело, поскольку предположение Лавуазье о переходе газа позволяло объяснить причины изменения веса веществ в результате горения.

Окалина тяжелее металла, из которого она образовалась, ровно на столько, сколько весит соединившееся с металлом количество воздуха. Горение дерева также сопровождается присоединением воздуха, но увеличения веса в этом случае не наблюдается, так как образовавшееся новое вещество углекислый газ улетучивается в атмосферу. Оставшаяся зола легче сгоревшего дерева. Если бы горение дерева проходило в закрытом сосуде и образующиеся при этом газы оставались бы в сосуде, тогда можно было бы показать, что вес золы плюс вес образовавшихся газов плюс вес того, что осталось от воздуха, равняется начальному весу дерева и воздуха.

Обдумывая результаты проведенных им опытов, Лавуазье пришел к мысли, что если учитывать все вещества, участвующие в химической реакции, и все образующиеся продукты, то изменения в весе никогда наблюдаться не будет⁸. (Говоря более точным языком физиков, не произойдет изменения массы.) Другими словами, Лавуазье пришел к выводу, что масса никогда не создается и не уничтожается, а лишь переходит от одного вещества к другому. Это положение, известное как закон сохранения массы, стало краеугольным камнем химии XIX в.⁹

Успехи, достигнутые Лавуазье благодаря использованию метода количественных измерений, были настолько велики и очевидны, что этот метод был безоговорочно принят всеми химиками.

ГОРЕНИЕ

Однако сам Лавуазье был не вполне доволен полученными результатами. При соединении воздуха с металлом образовывалась окалина, а при соединении с деревом - газы. Но почему в таком взаимодействии участвовал не весь воздух, а только примерно пятая часть его?

В октябре 1774 г. Париж посетил Пристли и рассказал Лавуазье о своем открытии "дефлогистированного воздуха". Лавуазье сразу же оценил значение этого открытия. В 1775 г. он выступил с докладом в Академии наук, а вскоре подготовил и статью, в которой утверждал, что воздух является не простым веществом, а смесью двух газов. Одну пятую воздуха, по мнению Лавуазье, составляет "дефлогистированный воздух" Пристли (Лавуазье, к сожалению, оспаривал у Пристли честь открытия кислорода). И именно эта часть воздуха соединяется с горящими или ржавеющими предметами, переходит из руд в древесный уголь и необходима для жизни.

Рис. 7. Схемы опытов, проведенных Лавуазье, показанные в его книге "Элементарный курс химии" (рисунки сделаны женой Лавуазье).

Лавуазье назвал этот газ кислородом, т. е. порождающим кислоты, так как полагал, что кислород - необходимый компонент всех кислот. В этом, как в дальнейшем выяснилось, он ошибался.

Второй газ, составляющий четыре пятых воздуха ("флогистированный воздух" Резерфорда), был признан совершенно самостоятельным веществом. Этот газ не поддерживал горения, мыши в нем гибли. Лавуазье назвал его азотом безжизненным. Позднее азот был переименован в N_2 , что в переводе с латинского означает селитрообразующий, поскольку выяснилось, что азот является составной частью распространенного минерала селитры.

Лавуазье был убежден (и, надо сказать, совершенно справедливо), что жизнь поддерживается процессом, сходным с процессом горения: ибо мы вдыхаем воздух, богатый кислородом и бедный углекислым газом, а выдыхаем воздух, бедный кислородом и значительно обогащенный углекислым газом. Он и его коллега Пьер Симон де Лаплас (1749-1827), впоследствии известный астроном, попытались измерить количество вдыхаемого животным кислорода и выдыхаемого им углекислого газа. Результаты оказались озадачивающими - часть вдыхаемого кислорода не превратилась в выдыхаемый углекислый газ.

Как мы отмечали выше, в 1783 г. Кавендиш все еще изучал "горючий газ". Он сжигал часть определенного объема этого газа и тщательно изучал образующиеся при этом продукты. Кавендиш выяснил, что образующиеся при горении газы конденсируются в жидкость, которая, как показали анализы, является всего-навсего водой.

Важность этого открытия трудно было переоценить. Теории элементов-стихий был нанесен еще один тяжелый удар, поскольку выяснилось, что вода не простое вещество, а продукт, образующийся при соединении двух газов.

Лавуазье, узнав об этом опыте, назвал газ Кавендиша водородом ("образующим воду") и отметил, что водород горит, соединяясь с кислородом, и, следовательно, вода является соединением водорода и кислорода. Лавуазье также полагал, что пищевая субстанция и живая ткань представляют собой множество различных соединений углерода и водорода, поэтому при вдыхании воздуха кислород расходуется на образование не только углекислого газа из углерода, но и воды из водорода. Таким образом Лавуазье объяснил, куда расходуется та часть кислорода, которую он никак не мог учесть в своих первых опытах по изучению дыхания¹¹.

Новые теории Лавуазье повлекли за собой полную рационализацию химии. Было покончено со всеми таинственными "элементами". С того времени химики стали интересоваться только теми веществами, которые можно взвесить или измерить каким-либо другим способом.

Заложив таким образом фундамент химической науки, Лавуазье решил заняться надстройкой. В течение 80-х годов XVIII в. Лавуазье в сотрудничестве с тремя другими французскими химиками - Луи Бернардом Гитоном де Морво (1737-1816), Клодом Луи Бертолле (1748-1822) и Антуаном Франсуа де Фуркруа (1755-1809) - разработал логическую систему химической номенклатуры. Этот труд был опубликован в 1787 г.

Таблица простых веществ, относящихся ко всем царствам природы,
которые можно рассматривать как элементы
Новые названия Старые названия
Свет Свет
Теплота
Составная часть
Теплород Ранее не были известны
Борный радикал
Простые металлические вещества,

способные окисляться и образовывать кислоты

Новые названия Старые названия

Антимоний (сурьма) Антимоний (сурьма)

Мышьяк Мышьяк

Висмут Висмут

Кобальт Кобальт

Медь Медь

Золото Золото

Железо Железо

Свинец Свинец

Марганец Марганец

Ртуть Ртуть

Молибден Молибден

Никель Никель

Платина Платина

Серебро Серебро

Олово Олово

Вольфрам Вольфрам

Цинк Цинк

Простые солеобразующие вещества земного происхождения

Новые названия Старые названия

Известь кислород-17 + водород-1.

Рис. 23. Схема опыта Резерфорда. Испускаемые альфа-частицы отклоняются при прохождении через золотую фольгу; величина отклонения фиксируется при соударении частиц с флуоресцентным экраном.

Преобразовав один элемент в другой, он осуществил трансмутацию. Так в XX в. осуществилась самая заветная мечта алхимиков.

В последующие пять лет Резерфорд провел серию других ядерных реакций с использованием альфа-частиц. Однако возможности его были ограничены, поскольку радиоактивные элементы давали альфа-частицы только со средней энергией. Необходимы были частицы с гораздо большими энергиями.

Физики принялись за создание устройств, предназначенных для ускорения заряженных частиц в электрическом поле. Заставив частицы двигаться с ускорением, можно было повысить их энергию. Английский физик Джон Дуглас Кокрофт (1897-1967) совместно со своим сотрудником ирландским физиком Эрнестом Томасом Синтоном Уолтоном (род. в 1903 г.) первыми разработали идею ускорителя, позволявшего получать частицы с энергией, достаточной для осуществления ядерной реакции. В 1929 г. такой ускоритель был построен. Спустя три года эти же физики бомбардировали атомы лития ускоренными протонами и получили альфа-частицы. Эту ядерную реакцию можно записать следующим образом:

водород-1 + литий-7 \rightarrow гелий-4 + гелий-4.

В ускорителе Кокрофта - Уолтона и ряде других подобных ускорителей частицы перемещались по прямолинейной траектории. Получить в таком ускорителе частицы с высокой энергией можно было только при достаточной длине пути частиц, поэтому ускорители такого типа были чрезвычайно громоздки. В 1930 г. американский физик Эрнест Орландо Лоуренс (1901-1958) предложил ускоритель, в котором частицы двигались по слабо расходящейся спирали. Этот относительно небольшой циклотрон мог давать частицы с крайне высокой энергией.

Первый очень маленький циклотрон Лоуренса является предшественником современных гигантских установок в полкилометра в окружности, которые используются в поисках ответов на сложнейшие вопросы, связанные со строением материи.

В 1930 г. английский физик Пауль Адриен Моррис Дирак (1902-1984) теоретически обосновал предположение о том, что и протоны и электроны должны иметь свои

античастицы. Антиэлектрон должен обладать массой электрона, но должен быть заряжен положительно, антипротон должен обладать массой протона, но быть заряжен отрицательно.

Антиэлектрон был обнаружен в 1932 г. американским физиком Карлом Дэвидом Андерсоном (1905-1991) во время исследования космических лучей⁵¹. Когда космические лучи сталкиваются с ядрами атомов в атмосфере, то при этом образуются частицы, которые отклоняются в магнитном поле на такой же угол, что и электроны, но в противоположном направлении. Частицы такого рода Андерсон назвал позитронами.

Антипротон не удавалось обнаружить еще в течение четверти столетия. Поскольку масса антипротона в 1836 раз больше массы антиэлектрона, то для образования антипротона требуется в 1836 раз больше энергии, и поэтому до 50-х годов XX в. это превращение было неосуществимо. В 1955 г. американским физикам Эмилио Сегре (1905-1989) и Оуэну Чемберлену (род. в 1920 г.) удалось, используя мощные ускорители, получить и обнаружить антипротон.

Было установлено, что могут существовать такие своеобразные атомы, у которых отрицательно заряженные ядра, содержащие антипротоны, окружены положительно заряженными позитронами. Естественно, что такое антивещество не может долго существовать ни на Земле, ни, вероятно, даже в пределах нашей Галактики, поскольку при контакте вещества с антивеществом они аннигилируют (уничтожаются), высвобождая огромное количество энергии. И все-таки астрономы задаются вопросом, не могут ли существовать Галактики, построенные из антивещества? Если такое возможно, то обнаружить такие Галактики будет очень трудно.

ИСКУССТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

В результате успешного проведения первых ядерных реакций были получены уже известные, встречающиеся в природе изотопы. Однако полученные таким образом нейтронно-протонные комбинации могли отличаться от комбинаций, характерных для природных изотопов. Ведь первые органические молекулы, синтезированные химиками, отличались от молекул природных соединений (см. гл. 6). Нейтронно-протонные комбинации нового типа были получены в 1934 г. французскими физиками супругами Фредериком Жолио-Кюри (1900-1958) и Ирен Жолио-Кюри (1897-1956) (дочь известных физиков супругов Кюри, прославившихся открытием радия, см. гл. 13).

Супруги Жолио-Кюри бомбардировали алюминий альфа-частицами и при этом выяснили, что алюминий продолжает испускать частицы и после окончания бомбардировки. В результате проведенных исследований были открыты алюминий-27 (13 протонов плюс 14 нейтронов) и фосфор-30 (15 протонов плюс 15 нейтронов).

Но фосфор, встречающийся в природе, имеет только одну разновидность атомов - фосфор-31 (15 протонов плюс 16 нейтронов), следовательно, фосфор-30 - искусственный изотоп. Причина, по которой этот изотоп не встречается в природе, очевидна: период полураспада фосфора-31 составляет всего 14 дней. Излучение именно этого изотопа и наблюдали супруги Жолио-Кюри.

Супруги Жолио-Кюри первыми открыли явление искусственной радиоактивности. К настоящему времени получено более тысячи радиоактивных изотопов, не встречающихся в природе. У каждого элемента имеется один или несколько радиоактивных изотопов. Один радиоактивный изотоп имеется даже у водорода; период полураспада водорода-3, называемого также тритием, составляет 12 лет.

В 1940 г. американский химик Мартин Д. Камен (род. в 1913 г.) открыл необычный радиоактивный изотоп углерода - углерод-14. Некоторое количество этого изотопа образуется в атмосфере в результате бомбардировки азота космическими лучами. Это означает, что все живые существа, в том числе и мы, постоянно вдыхаем некоторое количество углерода-14, который потом попадает в ткани. Американский химик Уиллард Фрэнк Либби (1908-1980) предложил определять возраст археологических находок исходя из содержания углерода-14. Аналогичный метод используется при определении возраста земной коры: его определяют исходя из содержания урана и свинца. Таким образом, химия

пришла на помощь историкам и археологам.

Осуществляя синтез химических веществ, можно часть обычных изотопов заменить на редкие стабильные изотопы. Например, водород-1 можно заменить на водо-род-2, углерод-12 - на углерод-13, азот-14 - на азот-15, а кислород-16 - на кислород-18. С помощью таких меченых соединений можно изучать механизмы реакций, происходящих в живых тканях. Новатором в такого рода работе был американский биохимик Рудольф Шонхеймер (1898-1941), который, используя водород-2 и азот-15, провел важные исследования жиров и белков. После окончания Второй мировой войны такие изотопы стали более доступны, что позволило провести более тщательное изучение механизмов реакций. Примером того, какую роль могут сыграть изотопы, служит работа американского биохимика Малвина Келвина (род. в 1911 г.). В 50-х годах XX в. он применил углерод-14 для изучения механизма реакций фотосинтеза. Работу эту Келвин проделал с такой обстоятельностью, которая всего лишь двадцать лет назад считалась совершенно невозможной.

Вслед за искусственными изотопами физикам удалось получить и искусственные элементы. В 1937 г. изобретатель циклотрона Лоуренс провел бомбардировку образца молибдена (порядковый номер 42) дейтронами (ядра водорода-2), после чего отправил этот образец Сегре в Рим. (Позднее Сегре переехал в США и уже там открыл антипротон.) Сегре тщательно изучил образец и обнаружил, что он содержит следы нового радиоактивного вещества - как впоследствии выяснилось, элемента с порядковым номером 43. К этому времени элемент еще не был открыт в природе (несмотря на несколько неподтвердившихся известий), и поэтому его назвали технецием (от греческого - искусственный).

Со временем были заполнены три оставшихся в периодической таблице пробела (см. гл. 8). В 1939 и 1940 гг. были открыты элементы номер 87 (франций) и номер 85 (астат), а в 1947 г. - элемент номер 61 (прометий). Все эти элементы радиоактивны.

Астат и франций образуются из урана в очень малых количествах; по-видимому, именно по этой причине их не удалось открыть раньше. Технеций и прометий образуются в еще меньших количествах. Это единственные элементы с порядковыми номерами меньше 84, не имеющие стабильных изотопов.

ТРАНСУРАНОВЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Вначале бомбардировка атомных ядер велась положительно заряженными частицами: протонами, дейтронами и альфа-частицами. Поскольку одноименно заряженные частицы отталкиваются, то положительно заряженные ядра атомов отталкивают положительно заряженные частицы, и заставить движущиеся с большей скоростью частицы преодолеть отталкивание и столкнуться с ядром весьма сложно, так что ядерные реакции трудно осуществимы.

С открытием нейтрона (см. гл. 12) у химиков появились новые возможности. Нейтроны представляют собой незаряженные частицы, и атомные ядра их не отталкивают. Направив нейтрон в нужном направлении, его легко можно заставить столкнуться с ядром.

Итальянский физик Энрике Ферми (1901-1954) первым обстоятельно изучил бомбардировку нейтронами. Свою работу он начал почти сразу же, как только узнал об открытии нейтрона. Он обнаружил, что пучок нейтронов инициирует ядерные реакции особенно эффективно, если он проходит через воду или парафин. Легкие атомы этих веществ при каждом столкновении поглощают некоторое количество энергии нейтронов, но самих нейтронов при этом не поглощают. Следовательно, нейтроны замедляются настолько, что в конечном счете движутся со скоростью обычных молекул, находящихся при комнатной температуре. Такие тепловые нейтроны находятся вблизи отдельных ядер в течение секунды или немногим более, следовательно, вероятность того, что ядро поглотит нейтрон, в этом случае выше, чем при бомбардировке быстрыми нейтронами.

Когда атомное ядро поглощает нейтрон, оно необязательно становится новым элементом; при этом может образоваться просто более тяжелый изотоп. Так, если кислород-16 приобретает нейтрон (массовое число 1), то он становится кислородом-17. Однако, присоединяя нейтрон, элемент может превратиться в радиоактивный изотоп. В этом

случае элемент обычно распадается с излучением бета-частицы, а согласно правилу Содди, это означает, что он становится элементом, занимающим более высокое место в периодической таблице. Таким образом, если кислород-18 получает нейтрон, то он превращается в радиоактивный кислород-19. Этот изотоп излучает бета-частицу и становится стабильным фтором-19. Таким образом, бомбардируя кислород нейтронами, его можно превратить во фтор.

В 1934 г. Ферми занялся бомбардировкой урана нейтронами с тем, чтобы узнать, нельзя ли получить атомы с большей массой, чем уран (трансурановые элементы). В то время у урана был наибольший порядковый номер в периодической таблице, но возможно, что у элементов с большими порядковыми номерами слишком короткий период полураспада.

Сначала Ферми действительно подумал, что он синтезировал элемент с номером 93, но результаты эксперимента оказались очень запутанными и привели к еще более драматическому повороту, что будет описано чуть позднее. Именно эти разработки отвлекли на несколько лет внимание ученых от изучения возможностей получения трансурановых элементов.

В 1940 г. американский физик Эдвин Маттисон Макмиллан (1907-1991) и его коллега химик Филипп Ходж Эйблсон (род. в 1913 г.), проводя нейтронную бомбардировку урана, действительно обнаружили новый тип атома - атом с порядковым номером 93, который они назвали нептунием. Период полураспада даже наиболее долгоживущего изотопа нептуния-237 составляет немногим более двух миллионов лет, т. е. содержащийся когда-то в земной коре нептуний должен уже давно распасться. Нептуний-237 - первый элемент четвертого радиоактивного ряда.

Затем, в 1941 г., Макмиллан и американский физик Гленн Теодор Сиборг (род. в 1912 г.) получили и идентифицировали плутоний - элемент с порядковым номером 94. Группа ученых Калифорнийского университета, возглавляемая Сиборгом, на протяжении последующих десяти лет выделила более полудюжины элементов, в том числе америций (номер 95), кюрий (номер 96), берклий (номер 97), калифорний (номер 98), эйнштейний (номер 99) и фермий (номер 100).

Однако получать каждый следующий элемент становилось все труднее и труднее, и выделить его удавалось все в меньших и меньших количествах. Более того, период полураспада каждого последующего элемента оказывался короче, чем у предыдущего, так что каждый новый элемент после получения все быстрее и быстрее распадался. Несмотря на это, в 1955 г. был получен менделевий (номер 101), в 1957 г. - nobelium (номер 102), в 1961 г. лоуренсий (номер 103). В 1964 г. советские физики сообщили о получении (микроколичеств) элемента с порядковым номером 104.

Сиборг и его группа установили, что трансурановые элементы похожи друг на друга, как похожи друг на друга редкоземельные элементы (см. гл. 8). Объясняется это сходство теми же самыми причинами: новые электроны размещаются на внутренних электронных оболочках, а внешняя электронная оболочка с тремя электронами остается неизменной. Первый ряд элементов, начинающийся с лантана (порядковый номер 57), получил название ряда лантаноидов, а более новый, начинающийся с актиния (порядковый номер 89) ряда актиноидов.

С открытием лоуренсия были получены все актиноиды. Предполагалось, что элемент с порядковым номером 104 будет значительно отличаться по химическим свойствам от актиноидов.

ЯДЕРНАЯ БОМБА

Вернемся теперь к работе Ферми по бомбардировке урана нейтронами. Предположение о том, что в результате бомбардировки получен элемент с порядковым номером 93, в то время подтвердить не удалось, так как попытки выделить этот элемент успехом не увенчались.

Среди ученых, занимавшихся изучением результатов такой бомбардировки, были Ган и Мейтнер, открывшие двадцать лет назад протактиний (см. гл. 13). Эти исследователи

обработали барием бомбардированный уран, в результате в осадок выпала какая-то фракция сильно радиоактивного вещества. Эта реакция заставила Гана и Мейтнер усомниться в том, что одним из продуктов бомбардировки был радий: элемент по своим химическим свойствам очень был похож на барий, и можно было ожидать, что радий сопровождает барий в любых химических превращениях. И тем не менее из этих барийсодержащих фракций получить радий не удалось.

Примерно в 1938 г. Ган предположил, что полученная фракция может быть радиоактивным изотопом самого бария, образовавшимся из урана. Такой радиоактивный барий может соединиться с обычным барием, и разделить их обычными химическими способами невозможно. Однако образование такого соединения представлялось весьма сомнительным. Все ядерные реакции, известные к 1938 г., приводили к изменению порядковых номеров элементов только на 1 и 2 единицы. Переход от урана к барию означал, что порядковый номер элемента уменьшился на 36 единиц. Это могло произойти только в том случае, если бы атом урана разделился примерно пополам (расщепление ядра атома урана). Ган не решался - по крайней мере публично - даже обсуждать возможность такого расщепления.

В 1938 г. нацистская Германия вторглась в Австрию и аннексировала ее. Австрийская гражданка Лизе Мейтнер вынуждена была эмигрировать в Швецию. В свете пережитого последствия возможной научной ошибки представлялись ей столь малозначащими, что она опубликовала теорию Гана о том, что атомные ядра урана при бомбардировке нейтронами подвергаются расщеплению.

Эта статья вызвала большой переполох, так как ученые сразу поняли, к каким ужасным последствиям может привести это явление. Если атом урана после поглощения нейтрона распадается на два меньших атома, в ядрах которых меньше нейтронов, чем в ядре атома урана⁵³, то избыточные нейтроны должны излучаться, и если их поглотят другие атомы урана, то они в свою очередь также разделятся, что приведет к излучению еще большего числа нейтронов.

Расщепление одного атома урана приведет к расщеплению нескольких атомов. Результат цепной ядерной реакции окажется подобен результату обычной химической цепной реакции, например реакции водорода и хлора (см. гл. 9). Однако поскольку ядерные реакции связаны с обменом гораздо большими энергиями, чем химические реакции, то результаты ядерной цепной реакции окажутся несравнимо более мощными.

Мир стоял на пороге Второй мировой войны. Правительство США, понимая, что смертоносная энергия атомных ядер может быть использована нацистами, приступило к реализации исследовательской программы создания цепной ядерной реакции и получения ядерного оружия.

Трудностей оказалось очень много. Прежде всего выяснилось, что цепная ядерная реакция возможна лишь при наличии некоторой довольно большой массы урана - так называемой критической массы. К моменту же начала работ ученые располагали незначительным количеством урана, так как до 1940 г. уран как таковой почти не применялся. Кроме того, нейтроны необходимо было замедлять с тем, чтобы вероятность их поглощения ураном увеличилась. В качестве таких замедлителей, как выяснилось, можно использовать блоки графита или тяжелую воду (воду, в которой водород заменен на дейтерий).

Другая трудность заключалась в том, что не каждый атом урана, поглотивший нейтрон, претерпевает ядерное расщепление. Ядерному расщеплению подвергается довольно редкий изотоп - уран-235. Поэтому необходимо было разработать способы отделения и накопления данного изотопа. Это была беспрецедентная задача: разделение изотопов в таких больших масштабах никогда ранее не проводилось. Исследования показали, что в этих целях можно использовать гексафторид урана, поэтому одновременно требовалось отрабатывать методику работы с соединениями фтора. После открытия плутония, который, как выяснилось, также подвергается ядерному расщеплению, было налажено производство его в больших

количествах.

Возглавлял всю эту работу Ферми, который в 1938 г. покинул Италию и поселился в США. Второго декабря 1942 г. атомный реактор, работавший на уране, оксиде урана и графите, был приведен в "критическое состояние". В нем поддерживалась цепная реакция, и в результате деления атомного ядра урана была получена энергия.

К 1945 г. были изготовлены устройства, в которых при подрыве небольшого заряда взрывчатого вещества происходило сближение двух порций урана. Суммарная масса этих двух порций урана превышала критическую. Благодаря воздействию космических лучей в атмосфере всегда имеются случайные нейтроны, так что в критической массе урана сразу же начиналась цепная ядерная реакция, которая сопровождалась взрывом неведомой до тех пор силы.

Первая такая "А-бомба", или "атомная бомба" (или правильнее бомба расщепления), была взорвана в июле 1945 г. в Аламогордо, штат Нью-Мехико. К следующему месяцу были изготовлены еще две бомбы, которые в конце Второй мировой войны были сброшены на японские города Хиросима и Нагасаки.

Однако деление ядра атома урана применяется не только в целях разрушения. Когда процесс получения энергии поддерживается на постоянном безопасном уровне, расщепление ядра можно использовать и в целях созидания. В пятидесятых - шестидесятых годах было построено большое число ядерных реакторов, предназначенных для получения электрической энергии.

Выделением большого количества энергии сопровождается не только деление тяжелых атомов, но и объединение двух легких ядер в одно более тяжелое (термоядерный синтез). Колоссальное количество энергии выделяется, например, при соединении ядер водорода, приводящем к образованию гелия.

Для того чтобы заставить объединиться атомы водорода, необходимо преодолеть заслон из электронного облака, что требует огромной энергии. Такие реакции происходят в глубинах Солнца и других звезд. Солнечная энергия (количество которой не уменьшается в течение миллиардов лет) является энергией ядерного синтеза.

В 50-х годах XX в. был разработан способ получения энергии, необходимой для ядерного синтеза. В качестве источника энергии была использована бомба расщепления, и в результате была получена ядерная бомба еще большей разрушительной силы, которую называют по-разному: "водородная бомба", "H-бомба", "термоядерная бомба", но более правильное название бомба термоядерного синтеза.

Разработаны и испытаны бомбы термоядерного синтеза с потенциалом разрушения в тысячи раз большим, чем у первых бомб расщепления. Одна большая бомба термоядерного синтеза может полностью разрушить самый крупный город мира, а если взорвать все имеющиеся сейчас бомбы термоядерного синтеза, то взрывная волна, пожары и радиоактивные осадки уничтожат все живое на Земле.

Однако термоядерный синтез можно (и должно!) использовать не для разрушения. Одной из наиболее важных экспериментальных работ, проводимых в настоящее время, является попытка получить чрезвычайно высокие температуры, в сотни миллионов градусов, управляемым способом (а не в центре взрывающейся бомбы расщепления) и поддерживать эти температуры достаточно долго, с тем чтобы началась реакция термоядерного синтеза.

Управляя скоростью такой реакции, можно создать фантастические запасы энергии. В качестве топлива пригоден дейтерий, или тяжелый водород, который в огромных количествах (вполне достаточных на миллионы лет) имеется в воде океанов.

Никогда раньше человечеству не грозило так реально полное уничтожение, но и никогда раньше человечество не могло рассчитывать на то процветание, которое возможно в случае отказа от применения термоядерного оружия. Но судьба человечества не может зависеть от прогресса только одной из областей науки.

Мы приобретаем знания. Эти знания дает нам наука.

Теперь мы должны быть еще и мудрыми!

1 "Элемент" - латинское слово неизвестного происхождения. Греки не употребляли его, но, поскольку это одно из важнейших понятий современной химии, обойтись без него невозможно, даже в тех случаях, когда речь идет о греках.

2 На первый (и не очень внимательный) взгляд эти рассуждения представляются очень наивными. Но, подумав немного, мы оценим, насколько глубоки были в действительности догадки древних греков. Заменяем воздух, воду, землю и огонь на газ, жидкость, твердое вещество и энергию. Как известно, при охлаждении и сжатии газы сжижаются - образуют жидкости, которые при охлаждении и сжатии в свою очередь образуют твердые вещества. Разве представления Анаксимена противоречат такой схеме? А разве представления Гераклита об огне не похожи на современные представления об энергии, инициирующей химические реакции и выделяющейся при протекании химических реакций?

3 Интересно, что единственный перевод на английский язык работы Агриколы, опубликованный в 1912 г., с иллюстрациями из оригинала был сделан Гербертом Гувером - бывшим президентом США (по профессии горным инженером) и его женой.

4 Происхождение названия "газ" иногда связывают с голландским словом *gisten* - бродить или *gist* - дрожжи, закваска. (Прим. перев.)

5 Необходимо отметить, что исследования Бойля как таковые не относятся к химии. Воздух, как бы его ни сжимали или разрезали, остается воздухом. Подобные изменения в объеме являются физическими изменениями и, таким образом, относятся к области физической химии, изучающей физические изменения веществ, Бойль заложил основы физической химии, однако эта область науки еще не получила признания и два столетия спустя (см. гл. 9).

6 Бойль испытывал также влияние воззрений Рене Декарта (1596-1650). Атомизм, лежащий в основе его системы взглядов (картезианства - от латинизированного имени Декарта - Картезий), был ближе Бойлю.

7 Представление Бойля об "основном металле" отличалось от представлений алхимиков, которые считали, что золото можно получить, в частности, из ртути. "Основной металл" Бойля - это корпускулярная основа металлов, которую, по Бойлю, еще предстояло найти.

8 5 июля 1748 г. М. В. Ломоносов впервые сформулировал закон сохранения материи и движения. В письме к Л. Эйлеру он писал: "Все встречающиеся в природе изменения происходят так, что если к чему-либо нечто прибавилось, то это отнимается у чего-то другого. Так, сколько материи прибавляется какому-либо телу, столько же теряется у другого... Так как это всеобщий закон природы, то он распространяется и на правила движения, столько же теряет от своего движения, сколько сообщает другому, им двинутому" (Ломоносов М. В. Полн. собр. соч. М.; Л., 1950-1959, т. 2, с. 183).

9 В 1756 г. М. В. Ломоносов, повторив опыт Р. Бойля, раньше А. Лавуазье высказал мысль, что увеличение массы металлов при обжигании следует приписать присоединению частиц воздуха. И в отличие от своих современников он исключил "огненную материю" из числа химических агентов (указ. соч., т. 10, с. 392). (Прим. перев.)

10 В начале XX столетия этот закон был уточнен, но введенная поправка настолько мала, что если рассматриваются обычные реакции, проводимые в обычных лабораторных условиях, то ею можно пренебречь.

11 Это название получило распространение во французском (*nitrogene*) и английском (*nitrogen*) языках.

12 Русский химик Михаил Васильевич Ломоносов (1711-1765) еще в 1756 г., т. е. почти за двадцать лет до работ Лавуазье по горению, отказался от теории флогистона и предположил, что при горении вещества соединяются с частью воздуха. К сожалению, труды Ломоносова были опубликованы на русском языке, и западноевропейские химики, включая Лавуазье, не смогли с ними ознакомиться. Примечательно также, что Ломоносов имел почти современные взгляды на теорию атомов и теорию теплоты, опередив, таким образом, свое время почти на сто пятьдесят лет. (Прим. перев.)

13 Термин стехиометрия (от греческого у Мир, 1967).

18 Либих был одним из талантливейших преподавателей химии за всю историю ее существования. Он преподавал в Гиссенском университете, где организовал первый настоящий лабораторный курс химии. Очень многие химики работали с Либихом и учились у него методике лабораторных работ. Либих сумел создать научную школу, в которой сформировались многие прославленные химики. Благодаря трудам Либиха к концу XIX в. Германия стала "химической державой" Европы, опередив даже Францию.

19 Некоторые, но не все. Хлорид натрия необходим для жизни, бромид натрия оказывает небольшое токсическое действие, а цианид натрия быстродействующий яд.

20 В истинных металлоорганических соединениях атом металла прочно связан с атомом углерода. Соединения, подобные ацетату цинка (вещества такого типа были известны и до Франкланда), являются солями органических кислот. В таких солях атом металла присоединяется к атому кислорода, и они не считаются истинными металлоорганическими соединениями.

21 Главные положения теории строения высказал А. М. Бутлеров в докладе "О химическом строении вещества", сделанном 9 сентября 1861 г. на съезде немецких естествоиспытателей и врачей. Бутлеровым были сформулированы правила, которыми можно было руководствоваться при определении строения органических соединений, а также было объяснено явление изомерии. А. Кекуле в 1865 г. распространил положения теории строения на ароматические соединения. Экспериментальное подтверждение теории химического строения Бутлеровым и его учениками имело огромное значение для ее утверждения. (Прим. перев.)

22 Однако объяснить загадку двойных связей бензола, которые ведут себя не так, как двойные связи в других соединениях, удалось лишь спустя примерно три четверти века (см. гл. 12).

23 Теория напряжения Байера в свое время удовлетворительно объясняла нестойкость циклов малого размера (трех и четырехчленных). Однако впоследствии было установлено, что тетраэдрические атомы углерода в циклических системах не находятся в одной плоскости, поэтому возможно построение шестичленных циклов и любых циклов большего размера, свободных от углового напряжения.

24 Указанное соотношение выполняется лишь приблизительно, поскольку атомы различных элементов не всегда заполняют одинаковые части занимаемого веществом пространства.

25 В данном случае Менделеев интуитивно принял правильное решение, однако объяснить, почему элементы следует располагать именно таким образом, удалось лишь спустя около полувека (см. гл. 13).

26 Открытие Д. И. Менделеевым периодического закона датируется 17 февраля (1 марта) 1869 г., когда им была составлена таблица, озаглавленная "Опыт системы элементов, основанной на их атомном весе и химическом сходстве". В 1864 г. Л. Мейер предложил таблицу для нескольких групп элементов, в которой он показывал соотношение их атомных масс, но никаких теоретических выводов не сделал. Менделеев же развил свои представления, придав уже к 1871 г. своей периодической системе современный вид.

27 В 1892 г. эта работа была переведена на русский язык. (Прим. перев.)

28 По решению Международного союза чистой и прикладной химии теперь называется энергией Гиббса (G). Она является термодинамическим потенциалом и описывается равенством $G = H - TS$, где H - энтальпия, S - энтропия, T температура.

29 Приведем пример одного из важных дополнений. В 1923 г. американский химик Джильберт Ньютон Льюис (1875-1946) в классической книге по термодинамике ввел понятие активность. Активность вещества не то же самое, что его концентрация, но связана с ней. Уравнения химической термодинамики можно сделать более точными в более широких пределах, если заменить концентрацию на активность.

30 Накопление знаний в области биохимии (т. е. химических реакций, обычно регулируемых ферментами и происходящих в живых тканях) в настоящей книге

затрагивается лишь вскользь. Этот вопрос более подробно рассматривается в кн. "Краткая история биологии" (Азимов А. Краткая история биологии. М.: Мир, 1967).

31О творчестве В. Оствальда см.: Родный Н. И., Соловьев Ю. И. Вильгельм Оствальд. М.: Наука, 1969.

32Понятие абсолютный нуль - самая низкая из возможных температур впервые было введено Томсоном (лордом Кельвином) в 1848 г. В признание его приоритета шкала абсолютных температур получила название шкалы Кельвина. В 1906 г. Нернст показал, что при стремлении температуры к абсолютному нулю все изменения состояния системы не изменяют ее энтропии (третье начало термодинамики), или, другими словами, при помощи конечной последовательности термодинамических процессов нельзя достичь температуры, равной абсолютному нулю.

33Тетрациклин был впервые синтезирован М. М. Шемякиным. См.: Шемякин М. М., Гуревич А. И., Карапетян М. Г., Голосов М.Н., Коробко В. Г., Поправко С. Л. Докл. АН СССР, 1967, т. 174, No 2, с. 358-361. (Прим. перев.)

34В 1833 г. Грэхем изучал различные формы фосфорной кислоты и показал, что в некоторых из них на металл можно заместить более одного атома водорода. В результате химии узнали о существовании многоосновных кислот.

35Читатель, интересующийся более подробно этим предметом, может обратиться к моей книге "Генетический код" (Ogion Press, 1963). (Прим. авт.)

36Впервые нитроцеллюлозу получил французский химик Т. Пелуз в 1838 г., однако это открытие осталось незамеченным. (Прим. перев.)

37Точности ради надо заметить, что эту работу Дж. У. Хайятт проводил вместе со своим братом И. С. Хайятгом. (Прим. перев.)

38Первая целлулоидная фабрика была основана в Нью-Йорке в 1872 г., а в 1878 г. аналогичная фабрика появилась на европейском континенте - во Франции. С 20-х годов нашего века целлулоид стал производиться повсеместно. (Прим. перев.)

39Каучук - природный полимер, получаемый из сока тропических растений (каучуконосов). При нагревании каучук становится мягким и липким, а при охлаждении - твердым и ломким, поэтому применять его непосредственно нельзя. Американский изобретатель Чарлз Гудьир (1800-1860) открыл (отчасти случайно), что нагретый в присутствии серы каучук не размягчается и остается эластичным в широком диапазоне температур. В 1844 г. Гудьир запатентовал полученный им вулканизированный каучук. По-настоящему широко каучук стал применяться лишь в XX в., когда из него начали изготавливать шины.

40При снятии давления такие вещества, как правило, возвращаются в обычное состояние. Алмаз составляет исключение.

41Начиная с Бенджамина Франклина, все физики, исследовавшие электричество в XVIII и XIX вв., полагали, что ток течет от так называемого положительного полюса к отрицательному (см. гл. 5). Крукс показал ошибочность этого предположения. На самом деле ток течет от отрицательного полюса к положительному.

42Или просто фотоэффектом. (Другие названия - внешний фотоэффект, фотоэлектронная эмиссия.) Систематическое исследование фотоэффекта в 1888 г. начал русский физик Александр Григорьевич Столетов (1839-1896). (Прим. перев.)

43Еще в 1920 г. Чедвик экспериментально доказал равенство заряда ядра порядковому номеру элемента. (Прим, перев.)

44Эти значения основаны на допущении, согласно которому заряд протона произвольно установлен равным +1, а заряд электрона равен -1.

45От лат. nucleus - ядро.

46Положительные ионы образуются в результате потери электронов, а отрицательные ионы - в результате присоединения электронов. Следовательно, у иона натрия меньше электронов, чем у атома натрия, а у иона хлора их больше, чем у атома хлора.

47Здесь и далее автор чрезмерно преувеличивает роль концепции резонанса, не

упоминая о ее недостатках. Критический анализ теории резонанса см.: Реутов О. А. Теоретические основы органической химии, изд. МГУ, 1964, стр. 94-98, а также: Хюккель В. Химическая связь. Пер. с англ. М.: ИЛ, 1959. (Прим. перев.)

48Во времена Содди считали, что в ядре имеются электроны и потеря ядром бета-частицы оставляет неуравновешенным дополнительный протон и, следовательно, увеличивает положительный заряд. В настоящее время принято считать, что ядро содержит только протоны и нейтроны. Электрон же образуется и выталкивается, когда нейтрон преобразуется в протон, так как увеличение положительного заряда эквивалентно потере путем выбрасывания отрицательного заряда.

49В действительности масса атома не совсем кратна массе атома водорода. Небольшие отклонения в массе не имеют значения для химии, но имеют отношение к той огромной энергии, заключенной в ядрах, которая позволила создать атомную бомбу и перейти к атомной энергетике (см. гл. 11).

50Этими же причинами объясняется также различие в периодах полураспада природного тория (торий-232) и тория, полученного в результате распада урана (торий-234), о котором говорилось в начале главы.

51Космические лучи состоят из частиц, проникающих в атмосферу Земли из космического пространства. Эти частицы, главным образом протоны, разгоняются до почти невообразимых энергий электрическими полями звезд и самой Галактики.

52Имеется в виду курчатовий, названный в честь советского физика Игоря Васильевича Курчатова (1902-1960) - выдающегося ученого и организатора атомной промышленности в нашей стране. (Прим. перев.)

53Строго говоря, атом с большей массой имеет большее число нейтронов по отношению к его массовому числу. Таким образом, кальций-40 содержит 20 нейтронов, что составляет 0,5 от его массового числа, а уран-238 содержит 146 нейтронов, что составляет 0,65 его массового числа.