

В. Гольдманский В. Астахова

# Чудеса превращений

ХІІ СЕРИЯ • ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И РЕЛИГИЯ • 1964 • 9



Член-корреспондент АН СССР  
В. ГОЛЬДАНСКИЙ,  
В. АСТАХОВА

# ЧУДЕСА ПРЕВРАЩЕНИЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»  
Москва 1964

У этой брошюры — два автора — ученый и журналист. Журналисту (В. Г. Астаховой) принадлежит литературное изложение материала, данного в популярных лекциях и статьях члена-корреспондента АН СССР В. И. Гольданского.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Золото... из ртути?	3
Штурм крепости	5
Вместо «философского камня»	10
Тигли и реторты современных алхимиков	13
«Белые пятна» исчезают	19
Динозавры и трансураны	23
Мгновение, остановись!	29
Где предел числа элементов?	31

## АВТОРЫ

ВЯЧЕСЛАВ ИОСИФОВИЧ ГОЛЬДАНСКИЙ и  
ВАЛЕНТИНА ГРИГОРЬЕВНА АСТАХОВА

Редактор *К. К. Габова* Техн. редактор *А. С. Назарова*  
Худож. редактор *Т. И. Добровольнова*  
Корректор *Н. М. Краснопольская*  
Обложка *Е. Козловой*

Сдано в набор 2.VII 1964 г. Подписано к печати 14.VIII 1964 г. Изд. № 221.  
Формат бум. 60 × 90<sup>1/16</sup>. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,90.  
А 03219. Цена 6 коп. Тираж 35 300 экз. Заказ 2417.

Опубликовано тем. план 1964 г. № 282.  
Издательство «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

Есть многое на свете, друг  
Горацио, о чем не снилось  
даже нашим мудрецам.  
Шекспир. «Гамлет»

## Золото . . . из ртути?

Считают, что предвестница современной химии, алхимия, возникла в I веке нашей эры в Египте. Еще древние алхимики пытались превратить более дешевые металлы — железо, свинец, ртуть — в более ценные — золото и серебро. Отцом алхимии, как свидетельствуют древние египетские письмена, был легендарный Гермес Трисмегистус.

Когда в 296 году Александрию захватил римский император Диоклетиан, до него донесся слух, что записи египтян по алхимии хранятся в Александрийской библиотеке. Это была крупнейшая библиотека древности, насчитывавшая около 700 000 рукописных свитков, ее недаром называли восьмым чудом света. Диоклетиан испугался, что люди узнают секрет превращения металлов в золото, и тогда его деньги будут обесценены. Он приказал сжечь библиотеку. Так крепка была в то время вера в возможность превращения металлов.

Особенно бурного расцвета алхимия достигла в средние века.

В Европе в то время почти при каждом императорском дворе работали алхимики, стараясь добыть золото и тем самым улучшить плачевное состояние казны. Считали, что получение золота из других металлов дело вполне возможное и осуществимое. Нужно лишь запастись магическим «философским камнем» и тем самым заручиться поддержкой сверхъестественных сил. Но золото не получалось.

Наряду с подлинными энтузиастами своего дела алхимия привлекала к себе и бесчисленных шарлатанов.

Обманутые короли и герцоги, не различая добросовестно заблуждавшихся и обыкновенных жуликов, жестоко мстили алхимикам. Князь Вюрцбургский, например, на своем дворе построил выкрашенную в золотой цвет виселицу, которую он использовал только для алхимиков, не выполнявших своих обещаний.

Френсис Бэкон, говоря об алхимиках, вспомнил притчу о родителях, завещавших своим сыновьям золото, якобы зарытое где-то в винограднике. Хотя сыновья, перекопав все вокруг, и не нашли золота, зато они собрали обильный урожай винограда. Так и алхимики во время поисков «философского камня» в течение веков получили огромное количество новых веществ и сделали ряд важных открытий. Они впервые выде-

лили сурьму, мышьяк, висмут, фосфор, ввели в употребление многие аппараты и инструменты, без которых не может и сейчас обойтись химическая лаборатория.

Винченцо Каскариоло, сапожник из Болоньи, который на досуге увлеклся алхимией, однажды обнаружил, что сульфид бария светится в темноте, если его перед этим на некоторое время выставить на солнце. Так было открыто явление люминесценции.

Алхимики так и не достигли, конечно, своей призрачной цели в поисках «философского камня», но они проложили пути развития химии, фармацевтической промышленности и в какой-то мере предугадали достижения современной «алхимии» — ядерной физики.

Неудачи алхимиков с превращением элементов привели к тому, что человечество впало в другую крайность. В XVII веке, когда начало создаваться современное представление о химических элементах, элементы эти были признаны первичными и неизменными. Считалось, что сколько их создано «всевышним», столько было, есть и будет. Превращение одного элемента в другой признавалось абсолютно невозможным.

Кто же прав? Средневековые алхимики, безуспешно пытавшиеся получить в своих тиглях и ретортах желанное золото, или химики-классики, скрупулезно взвешивавшие на весах с огромным трудом полученные чистые — «единые и неделимые», неизменные элементы?

Оказывается, ни те, ни другие.

— Превращение одного элемента в другой возможно, — говорим мы сегодня. И этого мало. Мы искусственно получаем такие элементы, которых в природе вообще нет. И творцом их является человек, а не бог. Помогают человеку не сверхъестественные силы, а знания.

Сегодня известны тысячи всевозможных ядерных реакций, сотни различных примеров превращения одних элементов в другие. Алхимики средневековья позавидовали бы нам. Ведь сейчас мы умеем превращать ртуть в золото. Правда, это золото было получено в ничтожных количествах и стоило намного дороже природного, но все же получено!

Однако совсем не в получении золота смысл сегодняшних опытов по превращению элементов. Эти опыты — лишь один из этапов наступления современного естествознания, направленного на разгадку строения вещества.

Носителем свойств любого элемента является атомное ядро. Именно оно, а не электронные оболочки, с которыми имеет дело химики в обычных химических реакциях, определяет природу элемента. Вот почему древняя мечта человека о превращении одних элементов в другие смогла осуществиться лишь тогда, когда было изучено строение ядра и возникла новая наука — ядерная физика.

## Штурм крепости

С химическими элементами люди познакомились с незапамятных времен. Впервые это «знакомство», очевидно, выглядело так: первобытный человек взял в руки уголек, оставшийся после сгорания дерева в его первом костре. Конечно, человек не думал тогда, что прикоснулся к почти чистому химическому элементу — углероду...

Еще в седой древности люди научились выплавлять из руд чистые металлы — железо, медь, свинец, олово, ртуть — и опять же не подозревали, что имеют дело с химическими элементами.

С давних времен людям известен и никель. В Индии археологи во время раскопок обнаружили никелевые монеты, отчеканенные царем Эвтидемом II за 170 лет до нашей эры.

Постепенно все больше и больше элементов начинало служить людям, однако долгое время они попросту не знали, с чем именно имеют дело.

Более двух тысячелетий назад греческий мыслитель Демокрит впервые высказал предположение о строении вещества. Он писал, что природа — это совокупность движущихся в пустоте атомов. Различные группировки атомов, их движения, по его мнению, объясняют все явления природы.

Большинство древних философов предполагало, что существуют четыре «начала» мироздания — огонь, воздух, вода и земля. Позднее к ним прибавилось пятое начало — эфир, или квинтэссенция. Алхимики дополнили этот список понятиями горючести, растворимости и металличности.

И только 300 лет назад на смену этим неограниченно делимым и подчас мистическим началам стали приходить химические элементы в современном понимании этого слова.

Элемент стали понимать как вещество, исключительно состоящее из атомов одного вида.

Окончательно атомно-молекулярные воззрения в химии восторжествовали лишь в 1860 году, в решениях Международного конгресса химиков в Карлсруэ.

Однако о строении самих атомов химики того времени, так же как и физики, не могли высказать ничего, кроме смутных догадок. Является ли атом цельным «зерном» вещества или он состоит из еще более мелких частиц?

Если атом состоит из более мелких частиц, то в чем причина различия химических элементов — в характере, природе этих частиц, составляющих атом или только в их числе? Все эти вопросы оставались в то время без ответа.

В 1869 году, задолго до объяснения строения атома, один из величайших наших ученых — Дмитрий Иванович Менде-

леев систематизировал известные в то время химические элементы, расположив их в ряд по возрастающим значениям атомного веса.

Закон Менделеева, доказавший периодическое изменение свойств элементов в зависимости от их атомного веса, явился, по меткому выражению академика Н. Д. Зелинского, «открытием взаимной связи всех атомов в мироздании». Он неизбежно должен был привести и привел к открытию строения атома, к подтверждению сложности атомов, казавшихся ранее простейшими из частиц, а в дальнейшем и к подтверждению сложности атомных ядер.

Из периодического закона следует, что атомы химических элементов состоят из более простых частиц и что построены они из различных количеств одинаковых составных частей. Это отлично понимал сам Менделеев. Он писал: «Легко предположить, но ныне пока еще нет возможности доказать... что атомы простых тел суть сложные существа, образованные сложением некоторых еще меньших частей... что называемое нами неделимым (атом) — неделимо только обычными химическими силами, как частицы (т. е. молекулы) неделимы в обычных условиях физическими силами... выставленная мною периодическая зависимость между свойствами и весом, по видимому, подтверждает такое предчувствие...».

Из каких же частиц построены атомы? Ответ на этот вопрос потребовал труда многих ученых в течение десятилетий.

В 1895 году немецкий физик Рентген обнаружил невидимые глазу лучи, названные в его честь рентгеновыми. Год спустя французский физик Анри Антуан Беккерель открыл, а супруги Кюри затем подробно изучили радиоактивность урана, тория и открытых ими радия и полония.

В 1897 году английским физиком Томсоном была открыта первая элементарная частица — отрицательно заряженный электрон — общая составная часть всех атомов, кирпичик всех атомных построек.

Вскоре было установлено, что при распаде радиоактивных элементов происходит испускание их атомами частиц, названных  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицами, и лучей, названных  $\gamma$ -лучами. Оказалось, что  $\beta$ -частицы — это те же электроны, а  $\alpha$ -частицы — лишённые двух электронов, а потому, положительно заряженные ионы гелия.

Следовательно, раз атом состоит из еще более мелких частиц, он не может быть неделимым, непревращаемым. Действительно, прямыми опытами было доказано, что при радиоактивном альфа-распаде радия — типичного металла, напоминающего по своим свойствам барий, стронций, кальций, — образуется... два инертных газа — гелий и радон, т. е. два совершенно других химических элемента.

Таким образом, идея неделимого, неизменного, созданного

богом атома, идея вечных, не превращающихся друг в друга элементов, которая много веков господствовала в умах ученых, внезапно рухнула, причем окончательно и навсегда.

Одно за другим следовали великие открытия в физике и происходила коренная ломка прежних представлений.

В 1911 году английский физик Эрнст Резерфорд, бомбардируя атомы  $\alpha$ -частицами, установил, что  $\alpha$ -частицы пронизывали атом во всех направлениях и на всех его участках, кроме центра. Близ центра эти положительно заряженные частицы явно отклонялись от прямолинейного пути, как если бы они испытывали отталкивающее воздействие, исходящее из центра атома. Когда же частицы оказывались направленными прямо в центр, они отскакивали обратно, словно налетали на очень прочное твердое зернышко.

Спустя много лет Э. Резерфорд так вспоминал о своих опытах: «Это было, пожалуй, самое невероятное явление, которое когда-либо встречалось в моей жизни. Оно было почти таким же невероятным, как если бы обстреливали 15-дюймовыми снарядами лист самой тонкой бумаги, а они отскакивали обратно и попадали в вас».

Отбрасывание альфа-частиц назад говорило о том, что в центре атома сосредоточен весь его положительный заряд, вся его масса, его ядро.

Так Э. Резерфордом было открыто атомное ядро. При дальнейших исследованиях было обнаружено, что действительно более 99,9% веса атома сосредоточено в его крошечном ядре.

Даже обладая изрядной фантазией, трудно представить, например, грецкий орех весом более миллиарда тонн. Однако именно столько весил бы орех, если бы он был сплошь заполнен «голыми» атомными ядрами, т. е. имел бы ту же необыкновенную плотность, что и атомное ядро. Ядро — невообразимо маленькая (диаметр ядра около  $10^{-12}$  сантиметра), но невероятно плотная частица материи.

Электроны внутри атома не находятся в неподвижном состоянии. Они движутся вокруг ядра по определенным орбитам, подобно тому как планеты солнечной системы вращаются вокруг Солнца.

Вскоре после открытия атомного ядра датским физиком Нильсом Бором была разработана теория строения атома и описан характер движения атомных электронов.

Эта революция в физике, этот грандиозный бросок естествознания вперед стал возможен прежде всего благодаря тому, что две линии научного развития — «химическая» (идущая от периодического закона) и «физическая» (от рентгеновых лучей, радиоактивности, электрона) слились, взаимно обогатив друг друга, и позволили начать прямой штурм одной из важнейших крепостей природы, еще не завоеванной к тому



времени человеческим разумом, — загадки строения атома и его ядра.

При этом оказалось, что главной характеристикой каждого химического элемента, определяющей его природу, является величина положительного заряда его атомных ядер. Будучи выражена в единицах элементарного электрического заряда, присущего электрону и протону ( $4,8 \cdot 10^{-10}$  единиц СГСЭ или  $1,6 \cdot 10^{-19}$  кулона), эта величина, называемая атомным номером  $Z$ , равняется номеру клетки, занимаемой данным элементом в менделеевской периодической системе. Таким образом, оказалось, что, руководствуясь атомными весами элементов, Менделеев предугадал важнейшую характеристику их атомов — величину положительного заряда еще неизвестных в его время атомных ядер.

Итак, атомные ядра заряжены положительно. Но атомы в целом, как мы знаем, электронейтральны. Дело в том, что положительный заряд ядра компенсируется равным по величине отрицательным зарядом электронов, вращающихся вокруг ядра по своим орбитам, или, лучше сказать, группирующихся вокруг ядра в различных «электронных оболочках».

Число электронов в нейтральном атоме равняется атомному номеру элемента  $Z$ . Но это не означает, что, изменив число или расположение электронов (а так и поступали, в конечном счете, алхимики, когда они проводили в своих тиглях и ретортах всевозможные реакции), мы получили из одного элемента другой. Нет, мы просто получим ион или другое валентное состояние того же самого атома. Малые перестройки в электронных оболочках — эта «вотчина химиков» не затрагивает природы химического элемента. Но стоит изменить заряд ядра, как мы получим из одного элемента другой и вслед за этим изменением заряда ядра перестроятся нужным образом и электронные оболочки.

Теперь мы знаем, что ядра атомов состоят из протонов и нейтронов. Протоны — это положительно заряженные атомы водорода, нейтроны — электронейтральные частицы, масса которых всего на 0,136% превышает массу протона. Число протонов в ядре — это и есть атомный номер элемента  $Z$ , который определяет положительный заряд атомного ядра.

Например, в таблице Менделеева кислород значится под порядковым номером 8.

$^{16}\text{O}$
15,9994

Значит, число протонов и положительный заряд ядра кислорода тоже равны восьми.

Другой характеристикой атомного ядра является число, называемое массовым, а именно — сумма числа протонов и

числа нейтронов в ядре, т. е. атомный вес элемента, выраженный округленно, в целых числах.

В той же клетке менделеевской таблицы, где изображен кислород, внизу стоит его атомный вес, округленно равный шестнадцати. Следовательно, массовое число кислорода равно шестнадцати. Количество нейтронов в кислородном ядре равно разности  $16 - 8 = 8$ .

Заряд ядра и массовое число принято обозначать индексами. В таком обозначении кислород будет выглядеть так:  ${}^8_{16}\text{O}$ . Индекс 16 сверху обозначает массовое число кислорода, индекс 8 внизу — количество протонов или заряд ядра. Так как заряд ядра равен порядковому номеру в системе Менделеева, этот индекс можно не писать — он уже задан химическим символом элемента.

Изменив число протонов в ядре, мы, как это теперь уже ясно читателю, перейдем от одного элемента к другому. Но и для атомов одного и того же элемента числа нейтронов в ядрах этих атомов могут быть различными.

На Конгрессе английских ученых в 1913 году английский физик Содди предложил называть разновидности одного и того же элемента, различающиеся атомным весом (т. е. как сейчас нам известно — числом нейтронов), изотопами, что означает по-гречески «одинаково местные».

Таким образом, массовое число для различных изотопов одного элемента будет различным, и изотопы еще можно определить как разновидности данного элемента, различающиеся по массовым числам. Так, например, у кислорода, окружающего нас в природе, имеются три таких разновидности — с массовыми числами 16, 17 и 18. В ядрах атомов этих протонов содержится по 8 протонов и соответственно по 8, 9 и 10 нейтронов. Однако примеси изотопов  $\text{O}^{17}$  и  $\text{O}^{18}$  к основному изотопу  $\text{O}^{16}$  очень невелики — они равняются всего 0,0037 и 0,204%. Поэтому общий атомный вес кислорода и оказывается так близок к целому числу — к 16.

Силы, связывающие ядерные частицы, в миллионы раз больше сил, связывающих атомы в молекулы. Энергия связи нейтронов и протонов в ядрах в десятки и сотни раз выше энергии связи электрона с ядром. Она обычно близка к 8—10 миллионам электрон-вольт<sup>1</sup>. Природа этих так называемых ядерных сил в настоящее время еще не вполне выяснена.

Для осуществления ядерных реакций необходимы гораздо более мощные средства, чем для химических. И те превращения элементов, которые не могли получиться у алхимиков,

---

<sup>1</sup> В ядерной физике энергию частиц обычно выражают в электрон-вольтах (Эв). Один электрон-вольт равен энергии, которую приобретает электрон или другая частица с единичным зарядом, двигаясь в электрическом поле с разностью потенциалов в один вольт. Один миллион электрон-вольт называется мегаэлектрон-вольт (Мэв).

удались физикам вовсе не с помощью мистического «философского камня». Средства для «чудесных» превращений элементов дала впервые в руки исследователей сама природа.

## Вместо «философского камня»

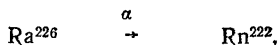
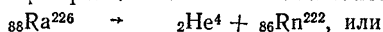
Явление естественной радиоактивности послужило первым примером превращения элементов, правда самопроизвольного, а не вызванного человеком.

Как изменятся ядра атомов элементов при испускании тех или иных частиц?

Испустив  $\alpha$ -частицу (ядро гелия, состоящее из двух протонов и двух нейтронов), ядро элемента, например радия, потеряет два протона и два нейтрона и произойдет его превращение в другой химический элемент.

Например, ядро радия Ra с массовым числом 226 и зарядом 88 превратится в ядро элемента № 86 — радона (Rn) с массовым числом 222.

Это ядерное превращение можно записать так:



Легко видеть, что всякий раз при альфа-распаде, т. е. испускании  $\alpha$ -частицы, образуется ядро элемента, отстоящего от исходного на две клетки периодической системы «назад» и с массовым числом на 4 единицы меньше.

Превращение элементов происходит и при бета-распаде, т. е. при испускании  $\beta$ -частиц — электронов. В ядре нет электронов. Они образуются лишь в самый момент испускания в результате превращения внутри ядра одного нейтрона в протон. Значит, число протонов становится на единицу больше, то есть заряд ядра увеличивается на единицу и получается изотоп элемента, стоящего на одну клетку периодической системы дальше, но с тем же массовым числом.

Испускание  $\gamma$ -лучей не связано с изменением массового числа или заряда ядра.

Так, клетки таблицы Менделеева утратили жесткость и их стенки перестали быть глухими, непроницаемыми перегородками. Теперь они стали гибкими, подвижными, а сами клетки оказались ступенями развития вещества, по которым и влево и вправо совершаются «сдвиги» и «переходы» взаимно превращающихся элементов.

Все радиоактивные изотопы, наблюдавшиеся при изучении естественной радиоактивности, разделены на три ряда, названных, по долгоживущему родоначальнику каждого ряда, рядами урана, актиния и тория. Длинные цепи альфа- и бета-превращений в этих рядах заканчиваются образованием трех

устойчивых изотопов свинца —  $^{82}\text{Pb}^{206}$ ,  $^{82}\text{Pb}^{207}$  и  $^{82}\text{Pb}^{208}$ . Так как в каждом из этих рядов происходят только альфа- или бета-превращения, то массовые числа или меняются сразу на 4 единицы, или не меняются вообще.

В ряду тория встречаются ядра только с массовыми числами, равными  $4n$  (где  $n$  — 52—58), в ряду урана — с массовыми числами  $4n+2$  и в ряду актиния — с массовыми числами, равными  $4n+3$ , причем  $n$  меняется от 51 до 59.

Из этих трех рядов, трех «древ», природного радиоактивного распада в природе сохранились лишь «ветви» изотопов с большим периодом полураспада<sup>1</sup>. Все «ветви» с малым периодом полураспада, образно выражаясь, высохли и отвалились в незапамятные времена. Кроме того, полностью погибло четвертое древо радиоактивного распада, условно названное рядом распада элемента нептуния, так как самый долгоживущий в нем изотоп, нептуний-237, живет по сравнению с возрастом Земли (5 миллиардов лет) слишком мало, чтобы дожить до наших дней, — его период полураспада всего 2,2 миллиона лет. Поэтому четвертый ряд распада изотопа нептуния с массовыми числами  $4n+1$  в природе обнаружен не был.

Возраст Земли был определен учеными с помощью так называемых радиоактивных методов, в которых либо учитывается соотношение между количеством радиоактивных элементов и количеством устойчивых продуктов их распада в изучаемой горной породе, либо изучается сравнительная распространенность изотопов радиоактивных элементов, так как количество радиоактивных изотопов с разной продолжительностью жизни неодинаково меняется со временем.

Данные науки решительно противоречат религиозным утверждениям, что мир якобы был сотворен богом за 4—6 тысяч лет до даты «рождения» Иисуса Христа. (Русская православная церковь датой сотворения мира вполне официально признавала цифру 5508 лет до рождения Христова). Эта цифра определялась церковными историками на основании содержащихся в Ветхом завете сведений о возрасте патриархов и продолжительности различных событий библейской истории.

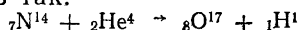
В последние годы церковники, пытаясь спастись от научной критики, вынуждены были отказаться от некоторых явных нелепостей своего учения, утверждая, что в беседах с верующими нужно подчеркивать важность внутреннего содержания библии, а не хронологические даты.

Но ухищрения и фокусы проповедников церковного учения лишний раз показывают всю тщетность попыток «подновить» нелепые и антинаучные религиозные догмы...

---

<sup>1</sup> Период полураспада — время, за которое половина атомов данного элемента претерпевает радиоактивное превращение.

В результате накопленных людьми знаний о строении атомов удалось не только определить возраст Земли, проследить естественную радиоактивность, естественные превращения элементов, но и осуществить искусственные ядерные реакции. Первую искусственную ядерную реакцию осуществил еще в 1919 году Эрнст Резерфорд. Бомбардируя азот  ${}_7\text{N}^{14}$   $\alpha$ -частицами от естественного радиоактивного препарата радия, Резерфорд получил устойчивый изотоп кислорода  ${}_8\text{O}^{17}$ . Резерфорд заметил появление протонов во время этой реакции. Уравнение этого первого искусственного превращения элементов можно записать так:



Увеличение заряда ядра азота на единицу (с 7 у азота до 8 у кислорода) произошло под действием  $\alpha$ -частицы — ядра гелия  ${}_2\text{He}^4$ , несущего двойной положительный заряд и превращающегося при этом в протон ( ${}_1\text{H}^1$ ).

Использование частиц, испускаемых естественными радиоактивными препаратами для бомбардировки атомных ядер, привело ученых к новым неожиданным открытиям.

В 1934 году знаменитые французские физики Ирен и Фредерик Жолио-Кюри бомбардируя  $\alpha$ -частицами ядра бора, алюминия и магния, открыли искусственную радиоактивность, обнаружив образование радиоактивных изотопов хорошо известных элементов азота, фосфора и кремния. Ученые высказали мысль, что все частицы, вызывающие ядерные превращения, могут быть использованы для получения искусственно радиоактивных элементов. Со временем были получены различные радиоактивные изотопы всех элементов периодической системы Менделеева. Сейчас их насчитывают более 1200.

Открытие искусственной радиоактивности супругами Ф. и И. Жолио-Кюри дало в то же время первые примеры распада ядер с испусканием позитронов<sup>1</sup>, обозначаемого обычно как  $\beta \pm$  распад. При  $\beta \pm$  распаде ядра один протон превращается в нейтрон, т. е. массовое число ядра остается без изменений, а заряд уменьшается на единицу.

Следовательно, конечное ядро отстоит на одну клетку системы Менделеева «назад» от исходного.

К тому же результату приводит открытый Л. Альваресом (США) так называемый электронный захват, во время которого ядро захватывает электрон с одной из внутренних электронных оболочек, и один ядерный протон превращается в нейтрон.

Как  $\beta \pm$  распад, так и электронный захват — это разновидности давно известного бета-распада.

Совершенно новый вид радиоактивности — спонтанное (са-

<sup>1</sup> Позитрон — частица с массой, равной массе электрона, и с единичным, подобно электрону, но положительным электрическим зарядом,

мопроизвольное) деление тяжелых ядер — был открыт в Советском Союзе в 1940 году Г. Н. Флеровым и К. А. Петржаком.

И. В. Курчатовым, Б. В. Курчатовым, Л. В. Мысовским и Л. И. Русиновым было открыто явление ядерной изомерии искусственных радиоактивных элементов, т. е. существование изотопов с одинаковым числом протонов и нейтронов, но с разными временами и механизмами радиоактивного распада. Ядра двух изомеров одинаковы по своему составу, но обладают различной внутренней энергией, обуславливающей своеобразие путей их распада.

Все перечисленные виды радиоактивных превращений встречаются и среди изотопов новых химических элементов,

Искусственные радиоактивные изотопы и изотопы новых химических элементов были получены в основном не с помощью естественных радиоактивных препаратов, так как энергия и интенсивность их излучения все же мала.

В гораздо большей степени успеху искусственного «приготовления» изотопов способствовало применение ускорителей заряженных частиц и атомных реакторов.

Помимо бомбардировки различных ядер  $\alpha$ -частицами, нейтронами, при этом применялось еще и другое «оружие» — протоны, дейтроны — ядра тяжелого изотопа водорода и еще более сложные ядра, о которых речь будет дальше.

Весь этот арсенал использовался физиками для того, чтобы разбить, расколоть ядра атомов — «орехи» необычайной прочности.

## Тигли и реторты современных алхимиков

Попробуем мысленно перенестись на несколько столетий назад и представить обстановку, в которой работал средневековый алхимик. Его лаборатория выглядела примерно так, как ее описал А. И. Куприн в фантастическом рассказе «Звезда Соломона»:

«Больше всего занимал места зияющий черной пастью горн с нависшим челом, сложенный из массивного черного кирпича. Около него сбоку на подставке помещались раздувательные двойные меха. Один круглый треногий стол был уставлен ретортами, колбами, пробками, тиглями, мензурками, термометрами, весами всяких родов и многими другими инструментами. На многих из хрустальных флакончиков, наполненных порошками и жидкостями, приклеены были этикетки с рисунком мертвой головы и надписью «venepa», т. е. яд (лат.).

Другой стол, ясеневый... был завален папирусными свитками, записными книжками, исчерченными и исписанными ли-

стами бумаги, циркулярами, линейками, а также книгами всех форматов.

Два предмета на ясеневом столе привлекали особенное внимание: небольшая, в фут длиною, черная палочка; один из концов ее обвивала несколько раз золотая змейка с рубиновыми глазами; а также шар величиной в крупное яблоко из литого стекла или из полупрозрачного камня, похожего на нефрит, опал или на сардоникс. Палочка была тяжела, как свинцовая или налитая ртутью, и чрезвычайно холодна на ощупь. Шар же поражал своей легкостью, хотя не было сомнения, что он состоял из сплошной массы. От него исходила странная, точно живая теплота, и в глубине его, в самом центре, рдел странный, густой и, в зависимости от поворотов около фонаря, то бархатно-зеленый, то темно-фиолетовый крошечный огонек...».

В лаборатории современных «алхимиков», конечно, нет волшебных палочек и шаров. Все совершается без волшебства. Но, пожалуй, несравнимо сложнее.

Какие приборы используют? Какие методы применяют при получении новых химических элементов? Как бомбардируют ядра заряженными частицами? Что из себя представляет «кухня» современных «алхимиков»?

Постараемся коротко ответить на эти вопросы. У современных «алхимиков» нет горнов с мехами, но есть ускорители и ядерные реакторы (урановые котлы). Для раскалывания ядер и проникновения в них заряженных частиц необходимо, чтобы эти частицы обладали достаточно большой энергией.

Увеличения их энергии до десятков мегаэлектрон-вольт добились с помощью специальных ускорителей, из которых лучшими и наиболее удобными оказались сконструированные американским физиком Э. Лоуренсом циклотроны.

В работах советского физика академика В. И. Векслера изложен принцип, позволяющий ускорять в несколько видоизмененных циклотронах электроны и тяжелые заряженные частицы до энергии в тысячи и десятки тысяч мегаэлектрон-вольт.

Особенно эффективными для проведения искусственных ядерных превращений являются нейтроны. Заряженные частицы из-за отталкивания положительным зарядом ядра могут проникать в него, только обладая достаточно большой энергией. Нейтроны же не имеют заряда, и поэтому, если даже их энергия очень мала, они могут проникать в ядро и вызывать при этом ядерные превращения.

Однако захват нейтрона сам по себе не ведет к изменению заряда ядра, т. е. к превращению элементов. Такое превращение наблюдается лишь в том случае, когда захватившее нейтрон ядро делится или испускает заряженные частицы (в частности,  $\beta$ -частицы).

Благодаря применению ядерных реакторов (урановых котлов), являющихся мощными источниками нейтронов, были изучены многие вызываемые ими ядерные превращения.

Циклотроны и ядерные реакторы явились настоящими фабриками по изготовлению искусственных радиоактивных изотопов, в том числе изотопов новых элементов. Однако на циклотронах эти изотопы получают в ничтожных количествах — до сотых или десятых долей миллиграмма. При помощи ядерных реакторов, правда, удается накапливать вполне весомые количества радиоактивных изотопов. Но и здесь содержание продуктов ядерных превращений в массе исходного вещества даже при длительном облучении его весьма мало и обычно не превышает десятых долей процента.

Поэтому для выделения и исследования радиоактивных изотопов оказывается необходимым химически переработать грандиозные количества исходного вещества. Приходится также иметь дело с очень малыми количествами различных радиоактивных веществ, которые нужно уметь разделить, получить в химически чистом виде и подробно исследовать прежде, чем произойдет их радиоактивный распад.

Все перечисленные задачи успешно решаются сравнительно молодой областью науки — радиохимией, начало которой положили Мария и Пьер Кюри. Развитие радиохимии, изучающей химические и физико-химические свойства радиоактивных элементов, разрабатывающей методы их выделения и концентрирования, сыграло огромную роль в развитии ядерной физики и, в частности, в работах, приведших к овладению атомной энергией и синтезу искусственных химических элементов.

Еще Мария Кюри, изучая свойства соединений урана, обнаружила, что при добавлении к водному раствору сернокислого уранила ( $\text{UO}_2\text{SO}_4$ ) раствора хлорида бария ( $\text{BaCl}_2$ ), большая часть радиоактивных свойств раствора сосредоточена в осадке, содержащем сернокислый барий ( $\text{BaSO}_4$ ).

Спектральный анализ показал, что в осадке присутствует новый элемент, названный радием. Примесь радия к урановой руде ничтожна: на 1 кг урана в руде содержится не более 0,00036 г радия.

Хотя  $\text{RaSO}_4$  и не растворим в воде, но осадить радий сам по себе в виде сернокислой соли не удавалось. Абсолютно нерастворимых веществ в природе, как известно, нет, и потому из-за ничтожности концентрации солей радия в растворе они не выпадали в осадок.

Если же добавить соли бария, то радий, родственный по своим химическим свойствам барию, осаждается вместе с сернокислым барием в виде соли  $\text{RaSO}_4$ .

В данном случае соль бария, не обладающая радиоактив-



ностью, является инертным носителем для осаждаемых радиевых соединений.

Таким образом, возник широко применяемый в радиохимии метод инертных спутников. Для каждого изотопа и для каждого нового элемента, по месту, занимаемому им в периодической системе Менделеева, заранее известно, какими химическими свойствами он должен обладать и какие элементы близки ему по химическим свойствам. Поэтому заранее известно, соединения каких элементов должны выбираться в качестве инертных спутников — соосадителей.

После открытия искусственной радиоактивности метод инертных спутников получил еще более широкое применение — в качестве инертных соосадителей начали использовать соединения устойчивых изотопов тех же элементов. С помощью осаждения происходит обогащение смеси радиоактивными изотопами, значительно повышается их концентрация.

В последнее время в радиохимии очень большое значение приобрел способ ионного обмена на специальных синтетических смолах для разделения ничтожных количеств разных элементов.

Способ этот представляет одну из разновидностей хроматографического анализа, открытого в 1903 году выдающимся русским биохимиком М. С. Цветом.

Методика, на которой основан хроматографический адсорбционный метод Цвета, по идее очень проста.

Растворенные смеси веществ пропускают через стеклянную трубку — колонку, наполненную каким-нибудь адсорбирующим веществом — измельченным мелом, порошком сахара и т. п.

Смесь веществ разделяется при этом на составные части. М. С. Цвету таким способом удалось впервые разделить растительные пигменты.

Простейший опыт по хроматографии даже без всякой стеклянной трубки может проделать сам читатель. Если в смесь нескольких разноцветных жидкостей опустить полоску фильтровальной бумаги, то на ней образуется несколько зон, окрашенных в цвета тех растворов, из которых составлена общая смесь. Таким образом, цвет смеси как бы разлагается фильтром на цвета составных частей (отчего М. С. Цвет и назвал этот метод хроматографическим анализом).

Причина этого явления состоит в том, что разные составляющие смесь вещества адсорбируются фильтровальной бумажкой (или мелом, или сахарозой) по-разному, причем вещества, которые лучше адсорбируются, остаются внизу бумажной полоски, а хуже адсорбируемые вытесняются вверх. Точно так же и раствор разных элементов, пропущенный через колонку, разделится на несколько зон по ее длине.

В радиохимии колонку заполняют специальными синтети-

ческими ионнообменными смолами. Разделившуюся смесь элементов вымывают затем растворителем и получают таким образом в определенной последовательности, один за другим, элементы или их соединения в чистом виде. С помощью этого метода удается добиться прекрасного разделения даже очень близких по своим свойствам редкоземельных элементов, несмотря на их ничтожные концентрации в исходном растворе.

Большую роль в выделении и изучении искусственных химических элементов сыграли и микрометоды, позволяющие оперировать с ничтожными количествами веществ.

Развитие микрометодов явилось важным шагом в «мир невесомо малого».

Невозможно представить, с какими мизерными количествами иногда приходится иметь дело радиохимику. Часто ученым приходится взвешивать буквально невидимые образцы на невидимых весах. В самом деле, и объемы вещества, и некоторые части весов простым глазом не видимы, их можно различить лишь с помощью микроскопа.

Еще недавно пределом точности взвешивания на самых чувствительных весах считался один микрограмм — миллионная доля грамма. Но взвешивать ничтожные порции соединений новых элементов с такой чувствительностью было бы столь же бесполезно, как, например, взвешивать человека на весах, обеспечивающих точность до десятков килограммов.

Понятно, что задача повышения в несколько десятков раз предела малости измеримого веса очень сложна. Нужно учесть хотя бы то обстоятельство, что малейшие токи воздуха — «дуновение ветерка» действуют на сверхточные весы так же, как если бы на обычные весы попеременно ставили и снимали добавочные гири.

И все же сверхчувствительные микровесы были построены. Они способны взвешивать «тяжести» до 25 мг с точностью до 0,02 мг, т. е. до двух стомиллионных долей грамма.

Еще более удивительные весы удалось соорудить для изучения магнитных свойств образцов различных заурановых элементов весом в несколько микрограмм.

В этом случае речь идет об измерениях не силы тяжести, а силы, с которой внешнее магнитное поле воздействует на магнитные моменты электронов. Магнитные весы позволяют измерять такие силы до  $10^{-9}$  г с точностью до  $10^{-11}$ . Помните, Куприн упоминает в «Звезде Соломона» весы разных родов, но уж такие весы средневековым алхимикам даже не могли и присниться.

Не только взвешивание, но и все прочие манипуляции с микродозами соединений новых элементов сопряжены с большими трудностями. Объем капли раствора при работе с обычными аналитическими пипетками составляет около 0,02 см<sup>3</sup>, а в опытах с растворами соединений новых элементов необ-

ходимо оперировать с несравнимо меньшими количествами вещества. Поэтому исследуемые растворы приготавливаются в специальных микропипетках, в которые жидкость засасывается шприцем. Объем всей рабочей части такой пипетки по крайней мере в 10 раз меньше объема обычной капли. Реакции проводятся в капиллярах диаметром от 0,1 до 1 мм, причем все операции наблюдаются через микроскоп. Даже, напрягая воображение, трудно сравнить с ретортой алхимика такое «вместилище» для реагирующих веществ.

Фильтровать столь малые количества растворов, конечно, невозможно, поэтому фильтрование заменяется центрифугированием. При быстром вращении капилляра с раствором на центрифуге осадок перемещается на край, удаленный от центра вращения, и жидкость затем отсасывается шприцем.

Выпаривание капель растворов и прокаливание осадков производится в очень своеобразном «тигле» — в кварцевой трубке с платиновым экраном.

При помощи всех таких микроустановок были впервые изучены химические свойства новых «синтетических» элементов на образцах, вес которых не превышал сотысячной доли грамма. На основании данных этих исследований была разработана, например, технология промышленного получения плутония в количествах, в миллиарды раз превосходящих использованные в первых исследованиях. Естественно, что такой колоссальный коэффициент пересчета от лабораторных к заводским условиям потребовал чрезвычайной точности микроисследований.

В связи с определенной опасностью, которую могут представлять для исследователя радиоактивные излучения, изучение химических свойств радиоактивных изотопов проводится обычно в герметически закрытых ящиках-боксах, снабженных толстыми стеклами. В стенки таких боксов вмонтированы резиновые перчатки, надевая которые, химики могут выполнять всевозможные процедуры с радиоактивными препаратами при помощи находящихся внутри бокса реактивов и оборудования. Так как пробег бета- и в особенности альфа-частиц мал, толщина перчаток уже служит достаточной защитой рук исследователя при работе с альфа- и бета-активностями. В тех случаях, когда активность особенно высока и притом имеется сильно проникающее гамма- или нейтронное излучение, используются еще более надежные способы защиты экспериментаторов. В «горячих» лабораториях, где проводятся опыты с особо активными препаратами, исследователь отделен от изучаемых веществ толстой защитной стенкой со смотровым окном из свинцового стекла толщиной до метра или с системой перископического (как у подводных лодок), или телевизионного наблюдения.

Внутри «горячей» камеры руки ученого заменяют захваты

специальных устройств — копирующих манипуляторов, в точности повторяющих движения живых рук, вдетых в «перчатку» манипулятора по другую сторону защитной стены.

## «Белые пятна» исчезают

В момент открытия Менделеевым периодического закона (1869 г.) химикам было известно о существовании всего 63 элементов, причем и среди этих элементов далеко не для всех были установлены свойства, в том числе и такое важнейшее, как атомный вес.

На основании периодического закона Менделеев исправил в полтора-два раза атомные веса девяти элементов и предсказал существование двенадцати элементов, причем для трех из них точно описал физические и химические свойства. Описывая в 1871 году свойства еще никем не виденных химических элементов, Д. И. Менделеев был твердо убежден в том, что неизвестные элементы рано или поздно откроют.

«Мы не имели до сих пор никакой возможности предвидеть отсутствие тех или других элементов, — писал Д. И. Менделеев, — потому именно, что не имели никакой строгой для них системы, а тем более не имели поводов предсказывать свойства таких элементов...

Решаюсь это сделать ради того, чтобы хотя со временем, когда будет открыто одно из этих предсказываемых мною тел, иметь возможность окончательно увериться самому и уверить других химиков в справедливости тех предположений, которые лежат в основании предлагаемой мной системы».

Спустя четыре года (в 1875 г.) французский химик Лекок де Буабодран, изучая с помощью спектрального анализа состав минерала, привезенного с Пиренейских гор, обнаружил там неизвестный элемент. Он назвал его галлием.

Еще не видя нового элемента, Менделеев написал французскому химику, что удельный вес галлия должен быть примерно в шесть раз тяжелее удельного веса воды. Через некоторое время Буабодран ответил из Парижа, что Менделеев ошибся. Удельный вес галлия равен не 6, а 4,7.

Но уверенный в своей правоте Менделеев написал в Париж новое письмо, в котором утверждал, что удельный вес галлия не может быть 4,7. Он должен быть от 5,9 до 6.

И тогда Буабодран решил еще раз проверить себя. Он поставил новый опыт и убедился, что удельный вес галлия равен 5,94! Так блестяще подтвердилось научное предвидение великого русского химика.

Позже К. А. Тимирязев писал об этом:

«Дмитрий Иванович Менделеев объявляет ученому миру, что где-то во вселенной, может быть на нашей планете, а мо-

жет быть и в иных звездных мирах, должен найтись элемент, которого не видел еще человеческий глаз; и этот элемент находится и тот, кто его находит при помощи своих чувств, видит его в первый раз хуже, чем видел своим умственным взором Менделеев, — это ли не пророчество!».

Это было действительно пророчество, но в отличие от религиозных пророчеств основанное на глубоких научных знаниях.

Религия учит, что бог не только творец природы, он управляет всеми ее явлениями, все совершается по его воле. Деятельность бога объявляется непознаваемой. «Неисповедимы пути господни. Нельзя предвидеть будущего, оно зависит от воли бога», — говорят проповедники религии.

Наука доказывает обратное. Знания, накопленные человечеством, помогают понять причины явлений и существующие в природе закономерности, дают возможность предвидеть будущее.

Замечательным примером научного предвидения является гениальное пророчество Д. И. Менделеева.

Еще при жизни химика, кроме галлия, были открыты предсказанные им скандий и германий. Все предсказания Менделеева относительно химических свойств этих элементов были полностью подтверждены опытом, что явилось полным триумфом периодического закона.

За полвека (1875—1925 гг.) химиками были обнаружены 25 элементов.

Однако и после открытия этих элементов в периодической системе Менделеева в старых ее границах — от водорода до урана — осталось четыре свободных места, четыре белых пятна, соответствовавших еще не открытым элементам.

Долгое время не было найдено в трех рядах естественного распада, о которых говорилось выше, ни одного изотопа элементов № 85 и 87. Кроме этих двух элементов, оставались необнаруженными еще два — № 43 и 61. Эти элементы стоят в середине периодической системы, соседи их хорошо изучены и вполне устойчивы, поэтому «отсутствие» элементов № 43 и 61 представлялось особенно странным.

Не удивительно, что много раз появлялись сообщения о заполнении четырех пустующих клеток периодической системы, но всякий раз оказывалось, что сообщения были ошибочными и элементы с порядковыми номерами 43, 61, 85 и 87 продолжали ускользать от исследователей.

Из числа этих четырех элементов существование трех (№ 43, 85, 87) было предсказано самим Менделеевым, давшим этим элементам название экамарганца (т. е. стоящего за марганцем), экайода (т. е. стоящего за йодом) и экацезия (т. е. стоящего за цезием). Эти названия характеризуют и химические свойства для трех указанных элементов.

Четвертый «отсутствовавший» элемент № 61 располагается в периодической системе как один из четырнадцати редкоземельных элементов — лантанидов, и по своим химическим свойствам он должен был походить на остальных членов этого семейства.

Лишь последние 25 лет принесли, наконец, успех не только в заполнении пустых мест периодической системы, но и в искусственном получении еще ряда заурановых элементов. Этот успех определился мощным развитием экспериментальных методов ядерной физики и радиохимии.

Первым из загадочной четверки был «открыт» элемент № 43 — технеций. Точнее, его уже нельзя открыть, подобно тому, как в природе раньше открывали другие химические элементы, ибо на Земле он не существует.

Систематическое изучение и сопоставление свойств всех изотопов привело к выводу, что ни один изотоп элемента 43, равно как и элемента 61, не может быть устойчив к радиоактивному распаду. Следовательно, неустойчивый элемент № 43 мог быть только «синтезирован», т. е. приготовлен искусственным путем.

Его «синтез» был впервые осуществлен итальянским ученым Э. Сегре и его сотрудником К. Перье в 1937 году при помощи бомбардировки молибдена ядрами тяжелого изотопа водорода — дейтронами, ускоренными до энергии 5 Мэв. Этот элемент был назван технецием (Tc) в ознаменование того, что он был первым элементом, полученным искусственно («технос» по-гречески — искусство).

Технеций расположен в подгруппе марганца седьмой группы периодической системы Менделеева. Его ближайшими аналогами по химическим свойствам должны являться расположенный над ним марганец (№ 25) и расположенный под ним рений (№ 75).

По своим химическим свойствам, которые исследованы довольно подробно, технеций оказался ближе к рению, чем к марганцу.

Любопытным свойством соединений технеция, определяющим большой интерес к их практическому использованию, является резкое замедление ими коррозии металлов. Достаточно ничтожного количества солей технеция, чтобы практически нацело предотвратить коррозию (ржавление) железа и малоуглеродистых сталей, причем не только при комнатной, но и при достаточно высоких — до 250°C — температурах. Интересно, что таким свойством вовсе не обладают соли рения, в том числе соли радиоактивных изотопов рения, что исключает объяснение действия солей технеция их радиоактивным излучением.

Второй элемент № 61 — прометий долгое время безуспешно разыскивали в рудах, содержащих другие редкоземельные

элементы. Несколько раз было объявлено об открытии этого элемента, причем ему даже было дано много разных названий, но всякий раз при более тщательной проверке оказывалось, что сообщения об его открытии были ошибочными.

Неудачи в поисках элемента № 61 в природе объясняются опять же, как и в случае с технецием, отсутствием его устойчивых изотопов.

Лишь в 1947 году элемент № 61 был химически выделен из осколков деления урана в виде сравнительно долгоживущего изотопа с массовым числом 147 (период полураспада 2,6 года). Впервые выделившие его американские ученые Дж. Маринский и Л. Гленденин назвали этот элемент прометием (Pm) — в честь мифологического героя Прометея, похитившего с неба огонь и передавшего его людям.

«Это название, — указывали Маринский и Гленденин, — не только символизирует драматический путь получения нового элемента в заметных количествах в результате овладения людьми энергией ядерного деления, но и предостерегает людей от грозящей опасности».

Таким образом, дав этому элементу название прометий, ученые хотели тем самым подчеркнуть важность мирного применения атомной энергии, в частности, в деле синтеза новых элементов.

В настоящее время известно 16 изотопов прометия. Один из изотопов  $Pm^{147}$  с периодом полураспада в 2,6 года применяется в качестве источника питания в атомных батарейках.

Элементы № 85 и 87 долгое время не удавалось обнаружить среди трех природных рядов распада (урана, актиния и тория), потому что периоды полураспада всех изотопов этих элементов также очень малы, к тому же разветвления в рядах распада, приводящие к образованию этих элементов, весьма редки.

Элемент № 85 — аstat расположен в периодической системе Менделеева в подгруппе галогенов седьмой группы (фтор, хлор, бром, йод). Таким образом, элемент № 85 является пятым членом группы активнейших неметаллов. Однако из закона Менделеева следует, что при переходе в пределах данной группы от более легких элементов к более тяжелым, наблюдается систематическое нарастание металлических свойств. Поэтому элемент № 85 представляет существенный интерес как промежуточный по своим химическим свойствам между типичными металлами и типичными неметаллами.

Этот элемент был впервые получен в 1940 году Э. Сегре и сотрудниками в результате бомбардировки висмута ускоренными в циклотроне  $\alpha$ -частицами с энергией 38 Мэв в виде изотопа  $85^{211}$ .

Период полураспада этого изотопа равняется всего 7,2 ча-

са. Поэтому новый элемент был назван астат (At), что по-гречески означает «неустойчивый».

Уже после искусственного получения астата были проведены новые, более тщательные поиски этого элемента среди рядов распада урана, актиния и тория, причем оказалось, что астат присутствует во всех трех радиоактивных рядах, но образуется в ничтожно малых количествах. В настоящее время известны 22 изотопа астата, причем больше остальных изотопов «живет»  $\text{At}^{210}$  — период полураспада 8,3 часа.

Много новых изотопов астата было обнаружено в результате бомбардировки висмута  $\alpha$ -частицами с энергиями до 380 Мэв и золота — ядрами углерода с энергией 120 Мэв.

Малое время жизни астата сильно затрудняет изучение его химических свойств.

Первые исследования химических свойств астата проводились с растворами ничтожной концентрации: на один атом астата приходилось более 500 миллиардов молекул растворителя. Однако химические свойства астата были изучены и оказались очень интересными и своеобразными. Действительно оказалось, что астат сочетает в себе свойства металлов и неметаллов и, таким образом, является как бы переходным элементом между металлами и неметаллами. Сочетанием металлических и неметаллических свойств астат очень хорошо характеризует стройную закономерность изменения всех элементов по группам и периодам системы Д. И. Менделеева. Названный Д. И. Менделеевым экайодом, астат сходен с йодом и в физиологическом действии на организм животных и людей. Так же, как йод, он накапливается в щитовидной железе.

Элемент 87 — франций, последний из «пропущенных» в старых границах периодической системы, находится в группе щелочных металлов. Поскольку он расположен ниже цезия, а в группе щелочных металлов металлические свойства возрастают от легких элементов к тяжелым, элемент 87 должен быть самым активным металлом.

Первый элемент № 87 был обнаружен французским ученым Маргаритой Пере в 1939 году в естественном радиоактивном ряду распада актиния. Это был изотоп  $87^{223}$  с периодом полураспада в 21 минуту. Название свое — франций (Fr) — он получил в честь родины исследовательницы. Сейчас известно уже около двадцати изотопов франция.

Так были заполнены четыре «белых пятна» в таблице Менделеева.

## Динозавры и трансураны

Старые, «классические» границы таблицы Менделеева содержали элементы от водорода, имеющего заряд ядра, равный единице, до урана с зарядом ядра 92. Можно ли «ото-



двинуть» эти границы? В начале периодической системы стоит самый легкий элемент—водород, в его ядре всего один протон, начало «отодвигать» уже некуда. Но кто может поручиться, что нет элементов, стоящих за ураном?

Долгое время оставалось неясным, заканчивается ли периодическая система ураном или в природе существуют более тяжелые, чем уран, элементы.

Все попытки открыть в природе заурановые (или, как их еще называют, трансурановые элементы) к успеху не привели.

Расширение наших представлений о строении атомных ядер, первым этапом которого явилось открытие и исследование радиоактивности, привело к выводу, что трансурановые элементы являются неустойчивыми, радиоактивными. В конце периодической системы, начиная с полония (№ 84), все элементы радиактивны. Поэтому в природе существуют лишь такие изотопы этих элементов, которые либо сами распадаются достаточно медленно, так что их период полураспада соизмерим с возрастом Земли, либо имеют «долгопериодных» предков, как члены рядов распада урана, актиния и тория. В случае трансурановых элементов не приходилось надеяться на изотопы с периодами полураспада в сотни миллионов или миллиарды лет.

Таким образом, заурановый ряд можно было получить лишь искусственно, «синтезировать» из других элементов.

Создание четырех недостающих элементов менделеевской таблицы было началом, первым шагом в деле получения искусственных элементов. За ним последовали достижения, удивившие весь мир, явившиеся подлинной победой человека над природой.

С точки зрения религии, это была дерзость, прямое посягательство человека на монополию власти господ бога.

«Все, что делает бог, — пребывает вовек, к тому нечего прибавить и от того нечего убавить, — говорится, например, в Екклесиасте, — ибо что может сделать человек после царя (небесного) сверх того, что уже сделано?».

Но, во-первых, «вовек» не пребывает и то, что якобы «создал бог».

Представим себе, что несколько миллиардов лет назад, в момент зарождения солнечной системы, на Земле появились радиоактивные элементы. Как эти элементы могли сохраниться до наших дней?

Как уже было сказано, для этого надо, чтобы либо сам элемент, либо какой-то его «предок» распадался столь медленно, чтобы продолжительность его жизни была бы соразмерима с возрастом Земли. Известны всего три изотопа, три разновидности тяжелых радиоактивных элементов, продолжительность жизни которых исчисляется миллиардами лет: уран-235, уран-238, торий-232. Поэтому на Земле существуют

только эти природные радиоактивные изотопы, а также их «потомки» — продукты распада. Все другие радиоактивные изотопы тяжелых элементов, даже если они когда-то и существовали на Земле, к нашему времени уже распались.

Эти неизвестные нам изотопы можно сравнить с давно вымершими динозаврами. И сейчас находят в земле остатки этих чудовищ. Сохранились и остатки «вымерших» элементов — устойчивые изотопы свинца или висмута.

В конце концов свинец и висмут останутся самыми тяжелыми элементами на Земле, так как более тяжелые — полоний, астат, радон, франций, радий, актиний, торий, протактиний и уран — в далеком будущем исчезнут с лица Земли.

Палеонтологам не удалось воскресить вымерших динозавров, зато физики сумели «воскресить» давно «вымершие» химические элементы.

Постепенное исчезновение с лица Земли ныне «живущих» радиоактивных элементов и их «потомков» доказывает несостоятельность религиозного взгляда о вечности и неизменности всего, что создано богом.

Более того, «воскрешение» физиками давно вымерших элементов опровергнуло и другое религиозное утверждение, что человек ничего не может создать после «царя небесного», ничего не может «прибавить».

Рассказывают, что над камином гениального создателя теории относительности Альберта Эйнштейна висело шутовское изречение: «Бог хитер, но не зловреден».

Человек оказался хитрее бога, заново создав вымершие элементы в очень короткий срок. Богу «понялось» бы на это гораздо больше времени, чем людям. Вспомните хотя бы, как долго — десятки миллионов лет — он «уничтожал» самый долгоживущий изотоп нептуний-237 из давно вымершего четвертого природного радиоактивного ряда нептуния.

В ядерных реакциях, осуществляемых человеком, элементы разрушаются и создаются несравнимо быстрее.

В настоящее время «воскрешено» — искусственно получено — одиннадцать трансурановых элементов, занимающих в периодической системе места от № 93 по 103 включительно.

Первенец из семейства трансуранов был создан в 1940 году в США Э. Макмилланом и Ф. Эйблсоном. Это был элемент № 93, названный нептунием (Np), по имени планеты Нептун, расположенной в солнечной системе за Ураном. Самый долгоживущий из изотопов нептуния, Np<sup>237</sup>, обладает, как уже упоминалось, периодом полураспада в 2,2 миллиона лет. Это серебристый металл, близкий по химическим свойствам к урану. Волей людей этот давно вымерший «динозавр» был «воскрешен к жизни».

Относительно простой задачей оказалось и получение следующих за ним трансуранов. Бомбардируя уран ядрами ге-

лия — альфа-частицами, удалось увеличить заряд ядра на две единицы и получить элемент № 94 — плутоний (Pu).

Есть и другой путь. Новые элементы — нептуний и плутоний — удалось создать, облучая уран нейтронами. В перегруженных ядрах урана происходит превращение нейтронов в протоны, которое сопровождается бета-распадом, т. е. испусканием электрона. В результате уран превращается в нептуний, а повторение бета-распада дает плутоний. Изотоп  $\text{Pu}^{239}$  является основным продуктом работы ядерных реакторов.

Полученный в 1941 году таким образом плутоний был назван впервые выделившими его американским ученым Г. Сиборгом и его сотрудниками по имени планеты Плутон, расположенной в солнечной системе за Нептуном.

Плутоний изучен сейчас даже лучше, чем многие из природных элементов. В виде изотопа  $\text{Pu}^{239}$ , обладающего периодом полураспада 24 тысячи лет, он нашел себе практическое применение — его широко используют как ядерное горючее и как ядерное взрывчатое вещество. Он обнаружен также в природе в некоторых урановых рудах в виде ничтожных примесей: атом плутония приходится примерно на 140 миллиардов атомов урана.

Присутствие в природных рудах плутония, период полураспада которого в сотни тысяч раз меньше возраста Земли, объясняется исключительно тем, что он систематически образуется из урана, находящегося в тех же рудах. Образование плутония в природных рудах происходит таким же образом, как в ядерных реакторах (в результате захвата ядрами урана-238 нейтронов). В этот природный реактор нейтроны доставляются тремя источниками: космическим излучением, реакцией спонтанного (самопроизвольного) деления ядер урана и реакциями между  $\alpha$ -частицами, испускаемыми ураном и легкими ядрами, входящими в состав руд.

Получив достаточное количество плутония и бомбардируя его в свою очередь альфа-частицами, Г. Сиборг и А. Гиорсо с сотрудниками в 1944 году получили и более тяжелые элементы: америций (Am) № 95 и кюрий (Cm) № 96. Последний был назван так в честь основателей науки о радиоактивности, Марии и Пьера Кюри.

Высокая  $\alpha$ -активность изотопа  $\text{Cm}^{242}$ , равно как и другого зауранового изотопа плутония  $\text{Pu}^{238}$ , нашла себе полезное применение. На основе этих изотопов разрабатываются источники тока для энергопитания радиоаппаратуры космических кораблей и спутников.

Излучаемые альфа-частицы поглощаются окружающим источником материалом, вызывая его разогрев. При нагреве цепи, составленной из двух разных металлов, в ней возникает ток. Такое термоэлектрическое преобразование энергии ядерных излучений позволяет получать ток с помощью устройств,

не имеющих каких-либо движущихся частей и в то же время, в отличие от обычных аккумуляторов и элементов, устойчиво и надежно работающих в течение времени до нескольких лет.

Поэтому изотопные источники тока оказываются удобными для космических полетов.

Но чем дальше продвигались физики от старой границы периодической системы в заурановую область, тем труднее оказывалось накопить достаточное количество вновь полученных элементов для их дальнейшего облучения, тем больше требовалось «вогнать» в ядро нейтронов, чтобы обеспечить цепочку бета-распадов. Двигаться вперед становилось все труднее и труднее.

Большой вклад в создание и исследование новых трансуранов сделали американские ученые во главе с Гленом Сиборгом, лауреатом Нобелевской премии, работающим в радиационной лаборатории Калифорнийского университета, в городе Беркли.

В конце 1949 — начале 1950 года Г. Сиборгом и А. Гиорсо с сотрудниками были получены еще два химических элемента — № 97 и № 98, названные ими по имени города и штата, где они были синтезированы, берклием (Bk) и калифорнием (Cf).

Химическое выделение новых элементов явилось триумфом хроматографического метода М. С. Цвета. Отделение берклия и калифорния производилось в ионнообменной колонке с последующим вымыванием растворителем — лимоннокислым аммонием.

При этом общее количество калифорния не превышало 10 тысяч атомов. Это составило несколько миллиардных долей от миллиардной доли грамма! Тем не менее удалось выделить калифорний и изучить его основные химические свойства.

Среди изотопов калифорния наибольший интерес представляют  $\text{Cf}^{254}$  и  $\text{Cf}^{252}$ .

Первый из них испытывает самопроизвольное деление с периодом полураспада 60,5 суток. Мощность  $\text{Cf}^{254}$  как источника энергии составляет 10 киловатт на грамм. Кусочек этого изотопа величиной со спичечную головку выделял бы вследствие деления такое же тепло, как печка, ежечасно сжигающая килограмм лучшего угля.

Период полураспада другого изотопа калифорния —  $\text{Cf}^{252}$  — равен 2,6 года. Препараты его находят широкое применение как нейтронные источники, а также, что особенно существенно, в опытах по исследованию различных характеристик деления тяжелых ядер.

Кроме того, они используются как мишени для бомбардировки на ускорителях и получения еще более далеких заура-

новых элементов. Так, при бомбардировке калифорния был впервые получен элемент № 103.

Следующие за берклием и калифорнием элементы № 99 и 100 были получены в виде изотопов  $99^{253}$  и  $100^{255}$  — при исследовании состава продуктов осуществленного в ноябре 1952 года термоядерного взрыва.

Над выделением новых изотопов работала большая группа ученых трех крупнейших атомных лабораторий США, включая Г. Сиборга, А. Гиорсо, С. Томпсона, П. Филдса и других специалистов.

В момент взрыва ядра урана подверглись кратковременному, но очень мощному облучению нейтронами. В результате за время взрыва ядра урана-238 успевали захватить до 15—17 нейтронов, причем возникали перегруженные нейтронами изотопы урана. Последующие цепочки бета-распада заканчивались образованием бета-стабильных изотопов типа  $99^{253}$ ,  $Cf^{254}$ ,  $100^{255}$ , которые были выделены в продуктах взрыва спустя несколько месяцев.

Элемент № 99 был назван эйнштейнием (Es) — в честь Альберта Эйнштейна, элемент № 100 фермием (Fm) — в честь итальянского физика Энрико Ферми. В настоящее время известны 11 изотопов эйнштейния и 9 изотопов фермия, причем дольше других живут  $Es^{254}$  (период полураспада 480 суток) и  $Fm^{257}$  (11 суток).

Большую роль в получении ряда изотопов этих элементов сыграли ускорители тяжелых (многозарядных) ионов — циклотроны и линейные ускорители, где разгоняются до больших энергий ионы углерода, азота, кислорода, неона и даже аргона.

Ускорение таких ионов открывает дополнительные возможности для получения новых элементов. Ведь максимальный заряд ядра, образующегося в ядерной реакции, равен сумме зарядов взаимодействующих ядер.

Поэтому, бомбардируя, например, плутоний ( $Z = 94$ )  $\alpha$ -частицами, можно получить лишь америций и кюрий, тогда как использование в качестве снарядов ионов неона (заряд ядра 10) открывает возможность получения всех элементов от амерიცия до № 104.

Однако следует отметить, что вероятность получения продукта реакции с зарядом ядра, равным сумме зарядов взаимодействующих ядер, тем больше, чем более тяжелый элемент берется в качестве мишени и, соответственно, — чем более легкое ядро служит снарядом. Поэтому при использовании многозарядных ионов для более успешного продвижения в сторону новых заурановых элементов необходимо накапливать материал как можно более тяжелых мишеней.

## Мгновение, остановись!

В начале 1955 года А. Гиорсо, Б. Харви, Г. Чоппин, С. Томпсон и Г. Сиборг получили еще один элемент № 101, названный ими менделевием (Md) — в честь Дмитрия Ивановича Менделеева. Это название явилось, по словам авторов, знаком признательности великому русскому химику, периодическая система которого в течение почти столетия служила ключом к открытию элементов — от трех элементов, предсказанных самим Менделеевым, до всех заурановых.

Получение менделевия явилось выдающимся успехом ядерной физики и радиохимии, затмившим все предыдущие достижения в синтезе новых элементов. Химические и радиоактивные свойства менделевия (изотопа  $Md^{256}$ ) удалось установить, несмотря на то, что в распоряжении исследователей было всего 17 атомов этого изотопа — количество, которое нельзя ни увидеть, ни взвесить и ничтожность которого даже трудно вообразить. Вероятно, ни одна форма вещества за все миллиарды лет существования нашей планеты не встречалась в столь малых количествах. Открытие менделевия явилось, таким образом, не только памятником создателю периодической системы, но и свидетельством безграничных возможностей человеческого разума.

В дальнейшем было накоплено несколько сотен атомов менделевия, что позволило, в частности, уточнить период его полураспада.

Если нептуний-237 «живет» несколько миллионов лет, то время известных изотопов менделевия исчисляется всего часами. Для более тяжелых элементов это время окажется еще меньшим. Поэтому даже самые быстрые химические методы исследования будущих трансуранов начинают пасовать перед неумолимой стрелкой секундомера.

Вечером 9 июля 1957 года метровые электрические буквы: «Открыт элемент 102! Он окрещен нобелием!» — пробегали среди других последних известий над зданием «Нью-Йорк таймс».

Международная англо-шведско-американская группа ученых объявила о том, что ими получен изотоп  $102^{251}$  (или  $102^{253}$ ) при бомбардировке кюрия ионами углерода. Было сообщено, что этот изотоп испускает  $\alpha$ -частицы и обладает периодом полураспада около 10 минут. Новому элементу было дано название нобелий (No) — в честь Альфреда Нобеля.

Однако тщательная проверка этого сообщения советскими и американскими учеными не подтвердила предполагаемого открытия. Вместе с тем в Москве и в Беркли были сделаны выводы об обнаружении других изотопов элемента № 102.

Советскими учеными во главе с Г. Н. Флеровым работы

по синтезу элемента № 102 были начаты осенью 1957 года. В этих опытах изотопы плутония  $Pu^{239}$  и  $Pu^{241}$  бомбардировались ионами кислорода с энергией 100 Мэв. Исключительно сложные и кропотливые исследования позволили установить, что период полураспада новооткрытого изотопа,  $102^{253}$ , видимо, лежит в пределах от 2 до 40 секунд.

В США Г. Сиборг и его сотрудники, отчаявшись повторить стокгольмские результаты, предприняли поиски элемента № 102 новыми способами. В 1958 году им тоже удалось получить ядра элемента 102, видимо, изотопа  $102^{254}$ .

Наиболее тяжелый из ныне известных изотопов элемента 102— $102^{256}$  был получен в 1963 году на циклотроне лаборатории ядерных реакций ОИЯИ в Дубне, в СССР. Период его полураспада оказался близок к 8 секундам.

8 секунд! Это значит, пока мы сосчитали до восьми, половина атомов элемента 102 перестает существовать. Мгновения эти, увы, остановить невозможно — Мефистофель ведь не участвует в эксперименте! Значит, успех работы зависит от необычайно быстрых методов исследования.

Недостаток места не позволяет нам подробно описать здесь, как удалось за эти мгновения определить свойства изотопов элемента № 102. Однако их определили в достаточной степени, чтобы убедиться, что они не совпадают с объявленными раньше для «стокгольмского незнакомца». Стало ясно, что название «нобелей» будет заменено, так как первое открытие этого элемента «не состоялось». Вопрос о новом названии элемента 102 остается открытым. Кто именно получит право дать новое имя этому элементу, станет ясно лишь после всесторонней проверки и сопоставления советских и американских результатов 1957—1958 годов.

Последний из ныне известных заурановых элементов был получен на линейном ускорителе тяжелых ионов в Беркли весной 1961 года А. Гиорсо и его сотрудниками. Элемент этот назван лоуренсием (Lw) — в память Эрнста Лоуренса, изобретателя циклотрона и основателя радиационной лаборатории в Беркли. Лоуренсий был синтезирован при бомбардировке калифорниевой мишени ионами бора. После долгих и кропотливых исследований удалось установить период полураспада изотопа  $Lw^{257}$ , приблизительно равный 8 секундам.

В настоящее время начаты эксперименты по поискам элемента № 104 в опытах по бомбардировке калифорния ионами углерода. В дальнейшем предполагается также бомбардировать калифорний ионами азота «в погоне» за элементом № 105. Получение элементов № 104 и № 105 и далее должно представить особый теоретический интерес для исследования строения седьмого периода системы Д. И. Менделеева.

## Где предел числа элементов?

Где же предел возможного числа элементов? Существует ли «последний» элемент? Сколько еще элементов может быть искусственно получено?

Для того, чтобы ответить на эти вопросы, надо прежде всего уяснить, что называется «получением» нового элемента. Попробуйте доказать, что получен новый элемент, если он распадется раньше, чем удастся каким-нибудь способом заметить, что он появился на свет!

Вопрос о пределе числа элементов становится, следовательно, в какой-то степени вопросом быстроты, с которой мы в состоянии заметить возникновение нового элемента. Для методов чисто химических возможности уже на исходе, но этого нельзя сказать о многих физических способах, позволяющих заметить появление новых изотопов даже на миллионные доли секунды.

Можно полагать, что для самых долговечных изотопов еще хотя бы пяти-шести пока не открытых элементов время жизни окажется достаточно большим, чтобы можно было узнать о том, что они... родились, прежде чем умерли. Несмотря на трудности, стоящие на пути исследователей, можно надеяться, что все они будут успешно преодолены, и мы будем свидетелями новых больших побед человеческого разума над «хитростями» природы. Основания надеяться на это дают удивительные достижения физики последней четверти века.

— А зачем, собственно, столько сил тратят ученые на исследование новых заурановых элементов, — спросит читатель, — если они так недолговечны? Мы уже привели несколько примеров практического использования наиболее долгоживущих изотопов заурановых элементов, плутония и кюрия.

Пока примеров полезного применения заурановых элементов немного. Но история науки показывает, что ни одна крупица знаний не пропадает даром. Когда Беккерель положил в ящик своего письменного стола двойную сернокислую соль урана и калия и обнаружил, что и в темноте эта соль испускает какие-то неведомые дотоле лучи и таким образом случайно открыл радиоактивность, мог ли он знать, что открыл новую эру? Знания ведь подчас находят свое применение далеко не сразу и далеко не там, где можно было бы ожидать. Беккерель и не подозревал тогда, в 1896 году, что, словно Прометей, он принес людям новый чудесный огонь, таящий в себе угрозу, но еще более сказочные надежды и невиданные возможности.

Кто знает, может быть, роль, которую новые химические элементы играют в природе, станет нам гораздо понятнее лишь после изучения свойств иных, далеких от нас миров. Может



быть, эти элементы найдут применение в таких областях науки и жизни, что и «не снилось мудрецам» ни прошлым, ни настоящим, а станет доступно лишь «мудрецам» будущим. Но и наши современные знания и достижения и достижения науки будущего находятся во власти человеческого, а не божественного гения. Человек, а не бог — творец, создатель нового. Познавая причины возникновения и развития различных явлений, изучая их внутренние, необходимые взаимные связи, человек, вооруженный знаниями, выясняет их сущность и причины, устанавливает, от чего зависит то или иное явление, чем оно вызвано. Знания, накопленные за долгий путь развития человечества, дают возможность понять, что в мире нет никаких чудес, нет ничего сверхъестественного. Все совершается закономерно и имеет свои естественные причины. Этот научный взгляд на явления природы, в отличие от религиозного, открывает людям заветные двери в будущее.

«Остерегайтесь... слепой веры, остерегайтесь этих первых и слепых впечатлений, которые вы восприняли со дня вашего рождения и при вашем воспитании, воспринимайте вещи более глубоко, — писал в свое время Жан Мелье, — взвесьте как следует основания, чтобы верить или не верить тому, чему ваша религия учит вас... Я уверен, что если вы последуете за естественным светом вашего разума, вы увидите... что все религии мира суть только измышления людей и что все, чему учит вас ваша религия и во что она заставляет вас верить как в сверхъестественное, божественное, в сущности есть только заблуждение, обман, иллюзия и лицемерие».

**О Т К Р Ы Т А   П О Д П И С К А**

на брошюры издательства «Знание»  
на 1965 год

**I. «НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ»**

По сериям «История», «Философия», «Экономика», «Техника», «Сельское хозяйство», «Литература и искусство», «Международная», «Биология и медицина», «Физика, математика, астрономия», «Молодежная» выходит по 2 брошюры в месяц средним объемом 2,5 печ. листа.

*Подписная цена на серию:*

На год	1 руб. 80 коп.
» полугодие	90 коп.
» квартал	45 коп.
» месяц	15 коп.

По сериям «Химия», «Естествознание и религия» выходит по 1 брошюре в месяц объемом 3 печ. листа.

*Подписная цена на серию:*

На год	1 руб. 08 коп.
» полугодие	54 коп.
» квартал	27 коп.
» месяц	9 коп.

**II. «НАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Выпускается по семи факультетам: естественнонаучному, технико-экономическому, сельскохозяйственному, литературы и искусства, правовых знаний, педагогическому, здоровья.

Общий объем брошюр по каждому факультету 60 печ. листов в год.

*Подписная цена на факультет*

На год	1 руб. 80 коп.
» полугодие	90 коп.
» квартал	45 коп.

В каталоге «Союзпечати» на 1965 год брошюры помещены под индексами 70057—70075.

*Не забудьте своевременно  
подписаться на интересующие вас  
серии научно-популярных брошюр!*

**Издательство «ЗНАНИЕ»**